



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**CATÁLOGO VIRTUAL DE DIGENEOS ENCONTRADOS
EN EL SISTEMA DIGESTIVO DE *Jacana spinosa*
(Charadriiformes: Jacanidae) EN VERACRUZ, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A :

KARLA FABIOLA ZEPEDA GUTIÉRREZ



**DIRECTOR DE TESIS:
BIOL. JOSÉ ÁNGEL LARA VÁZQUEZ**

**LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTALA,
ESTADO DE MEXICO, 2021.**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi tutor José Ángel Lara Vázquez, quien me impartió las mejores clases de zoología y estuvo guiándome y apoyándome con paciencia y entusiasmo, además de ser un extraordinario ser humano.

Al maestro Luis García Prieto, quien sin conocerme aceptó colaborar en este trabajo de principio a fin y brindarme toda su ayuda y conocimiento incondicionales en cada momento de este trabajo.

A mis compañeros Paco, Javier, Pepe, Alfredo e Ikbal por su apoyo y trabajo en equipo, así como la compañía en las clases y las prácticas de campo.

A Francisco González por apoyarme y motivarme, por ser testigo de el gran esfuerzo dedicado a esta carrera, por valorarme con mujer y como estudiante, por haber sido mi compañero y mi amigo... por haber ido de la mano conmigo en este maravilloso recorrido por el mundo de la Biología.

A la FESI que me recibió con calidez y a sus profesores quienes contribuyeron al conocimiento teórico y práctico que adquirí a lo largo de mi trayectoria universitaria.

Dedicatoria

A mi madre y mis hermanos, seres maravillosos y extraordinarios quienes han estado conmigo siempre impulsándome y motivándome con amor para que cumpla todos mis propósitos.

Resumen

Los helmintos constituyen el grupo de gusanos parásitos de vertebrados silvestres más numeroso de México; estos han sido registrados en 1, 014 localidades, siendo Veracruz el estado que posee la mayor riqueza específica. El término “helminto” hace referencia a un grupo polifilético que incluye al filo Platyhelminthes. En este filo, dentro de la clase Trematoda, en la subclase Digenea, se encuentran organismos endoparásitos que incluyen a dos o más hospederos intermediarios y que parasitan a toda clase de vertebrados e invertebrados.

Como hospederos de helmintos, las aves poseen comunidades de parásitos de una gran diversidad y riqueza. En México, el registro helmintológico del grupo en el país Incluye 108 especies de digeneos. El estudio de la fauna helmintológica de las aves es considerado de gran importancia, por la función que desempeñan dentro del ecosistema, ya que estas contribuyen a la dispersión de una gran variedad de especies de helmintos.

Jacana spinosa es un ave cuya distribución abarca desde el sur de Texas hasta Panamá. En México se encuentra desde Tamaulipas hasta Yucatán, y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hacia el sur. En el país, *J. spinosa* es un ave muy poco estudiada en cuanto a su fauna helminintológica se refiere; en el acervo de la Colección Nacional de Helmintos (CNHE), existen registros de tan solo tres especies de digeneos pertenecientes a tres géneros

Al momento de inventariar la fauna helmintológica de un hospedero, son importantes las nuevas herramientas tecnológicas virtuales, como lo son los modelos tridimensionales. Los reservorios virtuales tienen la finalidad de integrar, almacenar, preservar y difundir información de manera más accesible y así facilitar el autoaprendizaje y el conocimiento de la comunidad virtual.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un catálogo virtual en tercera dimensión de los digeneos encontrados en el sistema digestivo de una muestra de *J. spinosa* de Alvarado, Veracruz, con previa identificación de un total de cuatro especies pertenecientes a cuatro géneros: *Stomylotrema bijugum*, *Prosthogonimus folliculus*, *Leucochloridium sp.* y *Wardianum facioi*. Esto supone uno de los principales hallazgos de este trabajo, pues de los géneros anteriores, tres (*Stomylotrema*, *Prosthogonimus* y *Wardianum*) son nuevos para el registro de la fauna helmintológica de *J. spinosa* en México.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Helmintos	1
Generalidades de digeneos	2
Aves como hospederos de helmintos	4
<i>Jacana spinosa</i>	5
Conocimiento de la fauna helmintológica de <i>Jacana spinosa</i> en México	6
Digitalización	7
OBJETIVOS	8
MATERIALES Y MÉTODO	9
Obtención del material biológico	9
Toma de fotografías, medidas y realización de texturas	9
Determinación con claves especializadas	10
Modelos 3D y exportado	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
<i>Stomylotrema bijugum</i> Braun, 190	12
<i>Prosthogonimus folliculus</i> Reid y Freeman, 1936	16
<i>Leucochloridium</i> sp	21
<i>Wardianum facioi</i> (Brenes y Arroyo, 1962) Dronen, Gardner y Jiménez, 2006	28
Modelado tridimensional de digeneos	32
CONCLUSIONES	42
LITERATURA CITADA	43

INTRODUCCIÓN

Helmintos

Los helmintos constituyen el grupo de gusanos parásitos de vertebrados silvestres más numeroso de México. El término “helminto” hace referencia a un grupo polifilético que incluye a cuatro filos (Platyhelminthes, Nematoda, Acantocephala y Annelida). En cuanto a los grupos de vertebrados a los que parasitan en el país, los helmintos se encuentran asimétricamente representados, pues la mayor cantidad de especies se ha descrito de peces (814), seguidos por los mamíferos con 249 especies, los reptiles con 237, las aves con 223 y, por último, los anfibios con 109 (Pérez-Ponce de León *et al.*, 2011). Los Platelmintos se dividen en cuatro clases: Turbellaria, Monogenea, Cestoda y Trematoda (Campbell y Reece, 2007). Hasta la fecha, en México se han descrito 1 015 especies nominales: 544 de trematodos, 269 de monogeneos y 202 de cestodos, que en conjunto representan el 7.4% de la diversidad mundial del grupo. Estos han sido registrados en 1,249 especies de vertebrados de todos los estados de la República Mexicana, en 1, 014 localidades, siendo Veracruz el que posee la mayor riqueza específica (185) (García-Prieto *et al.*, 2014).



Generalidades de digeneos

Dentro de la clase Trematoda, en la subclase Digenea se encuentran organismos que se caracterizan por tener cuerpo de forma foliácea, lanceolada, conoide, ovoide, cilindroide o filiforme. El tegumento es sincitial, sirve como barrera de protección para llevar a cabo un intercambio entre el cuerpo y el ambiente, tanto de gases, como de desechos nitrogenados y también de algunos nutrientes. Poseen ventosas con o sin espinas como órganos de fijación, una ventosa es oral y rodea la boca, mientras que la otra (acetábulo) se encuentra en la superficie ventral del cuerpo. Generalmente estas ventosas están dotadas de células glandulares adhesivas. En la parte anterior del tubo digestivo se encuentran la boca, la faringe muscular y un esófago que conduce a los ciegos intestinales. Los adultos se alimentan de los tejidos y líquidos del hospedero mediante el bombeo muscular que realiza la faringe, pero también por absorción a través del tegumento. El sistema nervioso de los trematodos tiene una disposición en escalera y está bien desarrollado. El ganglio cerebroide tiene dos lóbulos claramente definidos, unidos por una comisura dorsal transversal. Desde estos ganglios cerebroides salen nervios que se dirigen hacia la región anterior para inervar la zona de la boca, los órganos adhesivos y los órganos sensoriales cefálicos. El aparato excretor es de tipo protonefridial con número variable de protonefridios y dos nefridioductos que desembocan en una vejiga en la que se almacenan los desechos y que desemboca en un poro excretor. Son hermafroditas, pero en algunos casos los sexos están separados como en el género *Schistosoma*. Tienen fecundación cruzada, aunque también hay excepciones en los que se produce autofecundación. Los detalles de los sistemas reproductores masculino y femenino son variables; sin embargo, todos corresponden a un modelo común. Generalmente presentan dos testículos, de los cuales salen conductos que se unen en un espermiducto común, mismo que conduce a un aparato copulador, comúnmente un cirro evaginable, presentan una vesícula seminal dentro o fuera de la bola del cirro y glándulas prostáticas. El orificio genital común conduce a un atrio en el que normalmente terminan los órganos reproductores masculinos y femeninos (figura 1). El aparato reproductor femenino



frecuentemente consta de un solo ovario que comunica mediante un oviducto con el ootipo. Son endoparásitos con ciclos de vida complejos que incluyen a dos o más hospederos intermediarios y que en su fase juvenil y/o de adulto, afectan a toda clase de vertebrados e invertebrados (Brusca y Brusca, 2005).

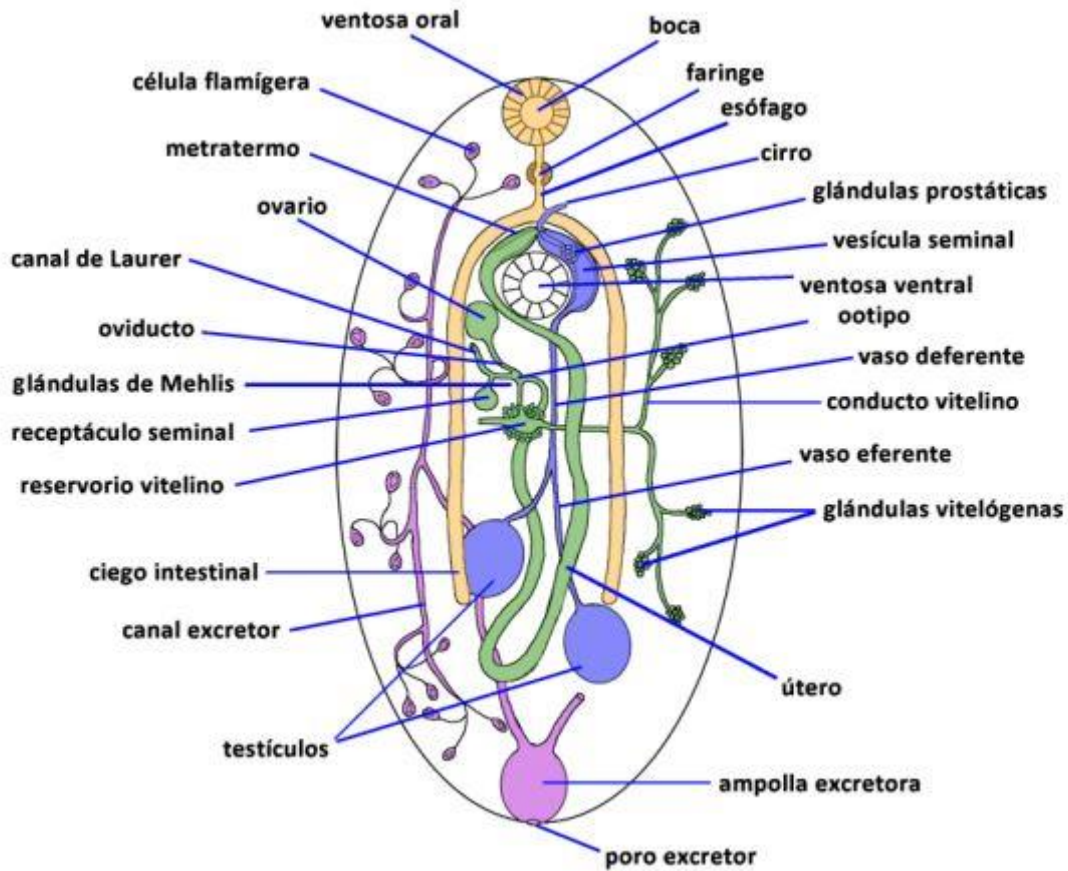


Figura 1. Esquema general de un digeneo (tomado de: García *et al.*, 2008).



Aves como hospederos de helmintos

Como hospederos de helmintos, las aves poseen comunidades de parásitos de una gran diversidad y riqueza, debido a una serie de factores como son: 1) estar estrechamente relacionados con cuerpos de agua en donde se alimentan principalmente de peces, los cuales funcionan como hospederos intermediarios de un gran número de helmintos; 2) ser organismos homeotermos que requieren de gran cantidad de alimento para poder realizar sus funciones, lo que favorece una dieta variada y la posibilidad de adquirir nuevas especies de helmintos; 3) la complejidad y especialización de su aparato digestivo brinda a los parásitos la posibilidad de establecerse en diferentes hábitats en donde pueden desarrollarse y 4) la capacidad de desplazamiento les permite alimentarse de diferentes presas durante sus rutas de migración, lo que potencia la obtención de diversas especies de helmintos (Violante-González *et al.*, 2015). En México, han sido registradas aproximadamente 1,150 especies de aves terrestres, acuáticas y semi-acuáticas; sin embargo, sólo el 9,2% de las especies de aves han sido reportadas como hospederos de al menos una especie de helminto. Hasta 2018 la fauna helmintológica asociada a aves se encontraba constituida por 254 especies nominales y 53 taxones, parasitando 138 especies de aves pertenecientes a 39 familias, distribuidas en 29 de los 32 estados de la República Mexicana. El registro helmintológico del grupo en el país Incluye 108 especies de digeneos (+ 15 taxones), 68 de cestodos (+ 17 taxones), 61 de nematodos (+ 18 taxones) y 17 de acantocéfalos (+ 3 taxones) [Base de datos “México” de la Colección Nacional de Helmintos, 2020].

El estudio de la fauna helmintológica de las aves es considerado de gran importancia, por la función que desempeñan dentro del ecosistema, ya que estas contribuyen a la dispersión de una gran variedad de especies de helmintos facilitando que éstos conquisten nuevos hábitats debido a que actúan como hospederos definitivos de muchas especies (Violante-González *et al.*, 2015).



Jacana spinosa

El “gallito de agua mexicano” *Jacana spinosa* (*J. spinosa*) es un ave cuya distribución va desde el sur de Texas hasta Panamá. En México se encuentra en la vertiente del Golfo desde Tamaulipas hasta Yucatán, y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hacia el sur. Mide de 21.5 a 24 cm; los machos y las hembras difieren en tamaño y peso, (machos 95 g: hembras 130 g). tienen una placa amarilla en forma de escudo en la frente y su cuerpo es castaño oscuro. Cabeza, cuello y pecho negruzcos y alas redondeadas. Manchas de color amarillo verdoso en las alas. Patas grisáceas. (Schulenberg, 2018, ver figura 2).

Tanto los adultos como los juveniles de esta ave, pueden caminar sobre la vegetación flotante. En *J. spinosa* es conocido que los papeles de los sexos están considerablemente invertidos, siendo las hembras las que se exhiben agresivamente ante los machos (Guido, 2008), y estos los que se encargan de la incubación de los huevos y del cuidado de los pichones, estableciendo pequeños territorios que defienden de la incursión de otros individuos. Los miembros de esta especie son gregarios y territoriales, los machos defienden un área de aproximadamente 1600 m² y las hembras tienen territorios de aproximadamente 3650 m² donde pueden estar entre 1 y 4 machos. Los territorios de las hembras varían entre años más que los de los machos. Esta especie habita zanjas, pantanos, lechos de ríos y lagunas, especialmente aquellos con vegetación acuática. Se encuentra desde el nivel del mar hasta 1200 msnm. Se alimenta de materia vegetal, semillas, peces pequeños, caracoles e invertebrados (Schulenberg, 2018).





Figura 2. *Jacana spinosa* en su ambiente. Tomado de: www.naturalista.mx

Conocimiento de la fauna helmintológica de *Jacana spinosa* en México

En el país, *J. spinosa* es hasta ahora una especie de ave muy poco estudiada en cuanto a su fauna helmintológica se refiere; en el acervo de la (CNHE), existen registros de tan solo tres especies de digeneos pertenecientes a tres géneros (*Cyclocoelum*, *Leucochloridium* y *Neohaematotrephus*), los cuales han sido realizados en aves recolectadas en distintas localidades de Veracruz, Tabasco y México.

Digitalización

Al momento de inventariar la fauna helmintológica de un hospedero, es importante que la información sea resguardada de manera segura, no solo en las colecciones científicas tradicionales, sino también con ayuda de las nuevas herramientas tecnológicas virtuales, como lo son los modelos tridimensionales, los cuales permiten manipular y conocer a los organismos sin el riesgo de dañarlos.

La digitalización de este patrimonio hace posible que estudiantes y especialistas tengan disponibles las bases de datos con la información más importante de los ejemplares, como la fecha y lugar exactos de colecta, datos ecológicos como hábitat y la época climática, datos de fijación, características morfológicas, así como imágenes en alta resolución y/o tridimensionales (Simmons y Muñoz-Saba, 2005).

Un reservorio virtual es aquel conjunto de portales y páginas Web que contienen información con la finalidad de dar a conocer diferentes asuntos, productos, servicios, música, imágenes y conocimientos. Estos reservorios facilitan la comunicación e interacción con los individuos o el colectivo y es por esto que diversas organizaciones privadas, públicas, gubernamentales y sociales los utilizan. Existen diversos tipos de reservorios, entre estos, los de tipo gubernamental, laboral, financiero, ecológico, bibliográfico, jurídico, comercial, de salud, de entretenimiento, de música, e intercambio de ideas (blogs) y educativo. Los reservorios virtuales educativos son instrumentos básicos creados por empresas e instituciones educativas con la finalidad de integrar, almacenar, preservar y difundir información de manera más accesible y así facilitar el autoaprendizaje y el conocimiento de la comunidad virtual (Quintanilla, 2007).



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo general elaborar un catálogo virtual en tercera dimensión de los digeneos encontrados en el sistema digestivo de una muestra de *J. spinosa* de Alvarado, Veracruz.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Caracterizar morfológicamente el material helmintológico colectado.
- Realizar esquemas tradicionales del material y obtener imágenes digitales del mismo.
- Identificar con claves morfológicas a los digeneos encontrados en aparato digestivo de *J. spinosa*, discutiendo de manera comparada los rasgos diagnósticos del material colectado en Veracruz, con los respectivos miembros del género al que pertenezcan.
- Elaborar modelos tridimensionales de las especies identificadas
- Construir una interfaz digital donde se depositará el catálogo.



MATERIALES Y MÉTODO

Obtención del material biológico

Sesenta y seis digeneos que se obtuvieron de 25 ejemplares de *J. spinosa* recolectados entre 1990 y 1992, en los humedales de Alvarado, Veracruz (18°43'28" latitud norte y 96°43'30" longitud oeste). Fueron donados por parte de la Colección de Helmintos de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, en la cual se encuentran depositados solo ejemplares con fines docentes y carecen de algún número de registro oficial. El material se estaba determinado tentativamente hasta nivel genérico pero sujeto a identificación definitiva y se encontraba previamente pricesado con paracarmín de Mayer y montado en preparaciones permanentes con bálsamo de Canadá, con la técnica referida por Lamothe- Argumedo (1977).

Toma de fotografías, medidas y realización de texturas

El material se observó a través de microscopio óptico invertido Olympus Ix8, este último junto con el programa S-Viewer también se utilizaron para la medición de los ejemplares y sus estructuras; también para la toma de algunas fotografías, mientras que el resto se obtuvieron con una cámara de 13 megapíxeles de un celular marca Lenovo, modelo K6.

Las fotografías obtenidas sirvieron para dar textura y mapearla en el modelo 3D de cada especie identificada con ayuda del programa Photoshop CS2®. Así como para realización de esquemas de algunos de los organismos.



Determinación con claves especializadas

Los ejemplares se determinaron hasta el máximo nivel taxonómico posible identificando sus características diagnósticas y con ayuda de claves y artículos especializados (Amaya, 1990; Brasil *et al.*, 1991; Brenes y Arroyo, 1962; Dronen y Blend, 2015; Fernández, 1970; Macko *et al.*, 1999; Macy, 1934; McIntosh, 1932; Larios, 1943 y Travassos, 1922).

Modelos 3D y exportado

Con base en las fotos se realizó un estudio virtual para la elaboración de los modelos 3D de cada especie de digeneo, empleándose el programa Autodesk 3D Max 2012®. Una vez terminados los modelos, fueron exportados a formato VRML (Virtual Reality Modeling Language), los cuales se anclaron en una página web, que fue elaborada con el programa Antenna® versión 2.1.

El catálogo incluyó los modelos tridimensionales, esquemas, datos del hospedero y de los parásitos con sus respectivas características diagnósticas y una breve discusión acerca de las características que permitieron su identificación. El catálogo incluye accesos directos, vía código URL (Uniform Resource Locator) a los modelos desde cualquier dispositivo móvil y permitirá realizar una visualización en capas a través de la aplicación 3dpdf.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron un total de cuatro especies de digeneos pertenecientes a cuatro géneros: *Stomylotrema bijugum*, *Prosthogonimus folliculus*, *Leucochloridium sp.* y *Wardianum facioi*. Este resultado supone uno de los hallazgos del presente trabajo, pues de los géneros anteriores, tres (*Stomylotrema*, *Prosthogonimus* y *Wardianum*) son nuevos para el registro de la fauna helmintológica de *J. spinosa*, ya que en México hasta la fecha esta ave solo se había reportado como hospedero de *Neohaematotrepus arayae* Zamparo, Brooks, Causey y Rodríguez, 2003, *Cyclocoelum mutabile* (Zeder, 1800) Brandes, 1892 y *Leucochloridium variaie* McIntosh, 1932 (Caballero y Flores-Barroeta, 1952; Amaya-Huerta, 1990; López-Jiménez *et al.*, 2018).

A continuación, se presentan las caracterizaciones morfométricas de las 4 especies, así como la representación del modelo 3D de las mismas, junto con una microfotografía de los ejemplares estudiados, el esquema de su descripción original y en la mayoría de los casos, una tabla comparativa con las especies más similares. Todas las medidas se reportan en micras.



Stomylotrema bijugum Braun, 1901

Phylum: Platyhelminthes Gegenbaur, 1859

Clase: Trematoda Rudolphi, 1808

Subclase: Digenea Carus, 1863

Orden: Plagiorchiida La Rue, 1957

Familia: Stomylotrematidae Poche, 1926

Género: *Stomylotrema* Looss, 1900

Caracterización basada en un ejemplar: cuerpo ovalado 1509x876; ventosa oral subterminal 427x413. Ventosa ventral post ecuatorial ligeramente más grande que la ventosa ventral, 441x471. Faringe musculosa y subglobular, 135x116. Ciegos que se extienden más allá de la ventosa ventral, casi tocándose entre sí, completamente sobrelapados con los testículos. Testículos en posición ecuatorial y pre-acetabular, que van de 206-209 de largo a 197-214 de ancho. Bolsa del cirro 492, recta y estrecha, anterior al testículo derecho. Ovario redondeado, 146x153; antiporal y próximo a la faringe. Glándulas vitelógenas con forma de riñón, 7 folículos porales y 9 antiporales que terminan más allá de la ventosa ventral. Las 7 porales comienzan pre acetabulares y las porales comienzan a la altura del ovario (figura 3, tabla1).

Sitio de infección: Cloaca.



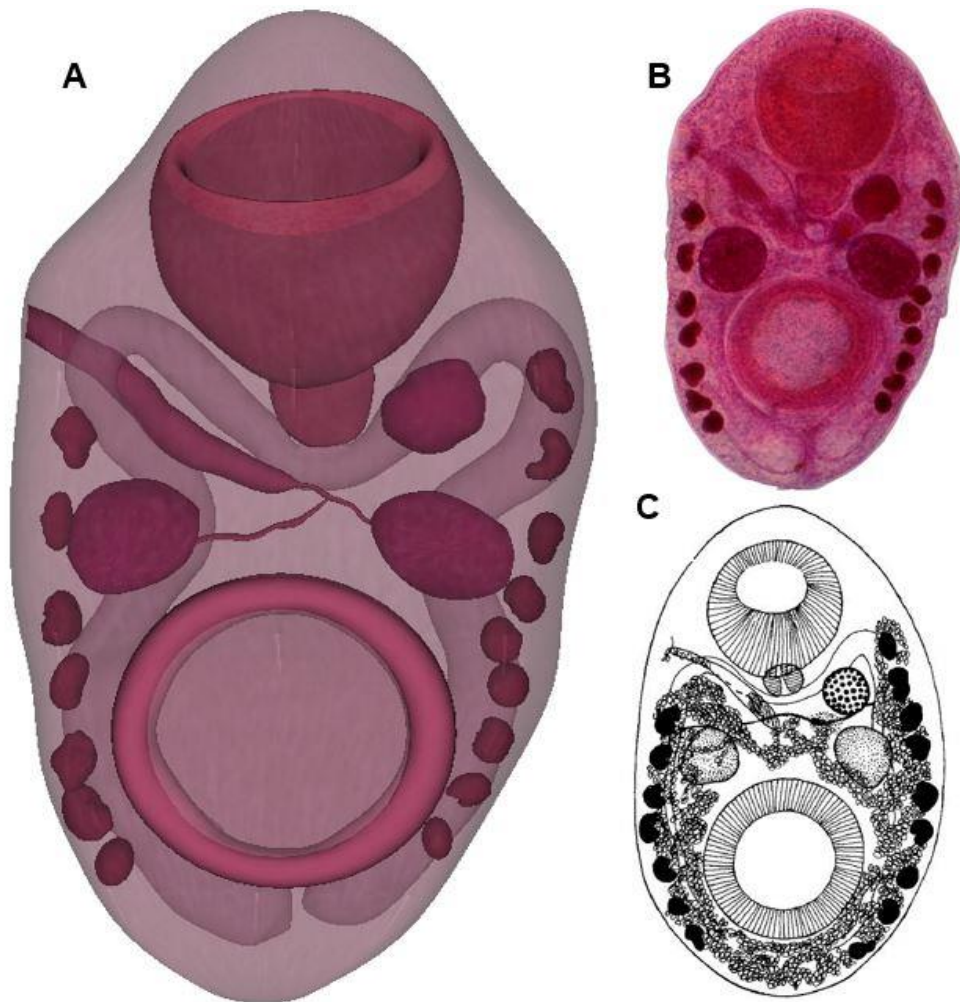


Figura 3. *Stomylotrema bijugum*.
(A) render del modelo tridimensional.
(B) fotografía de preparación permanente a 4x.
(C) esquema de *Stomylotrema bijugum* (tomado de: Macko *et al.* 1999).

Tabla 1. Medidas de *Stomylotrema bujugum* de Macko *et al.* (1999) y de este ejemplar.

Autor	<i>S. bujugum</i> Macko <i>et al.</i> , 1999	Presente estudio
Longitud de bolsa del cirro	593-1027	492
Ventosa ventral	806-1,027x 930-1,081	441-471
Faringe	197-221x260-292	135-166
Ovario	158-324	146-154
Ventosa oral	679-869x805-890	413x428
Cuerpo	1105-3213x1708-2049	1510x876
Testículos	324-466x371-454	206-210x297-214

Discusión. Este material se incorporó al género *Stomylotrema* debido a que presenta tegumento sin espinas, ventosas oral y ventral grandes, siendo esta última postecuatorial; ciegos que se extienden hasta el extremo posterior del cuerpo; testículos y bolsa del cirro anteriores a la ventosa ventral; poro genital que abre en el margen anterolateral del cuerpo, al nivel de la ventosa oral; ovario pretesticular, casi al nivel de la faringe y por presentar la vitelaria en dos grupos laterales, compuestos por filas individuales de folículos (Lotz y Font, 2008).

El género *Stomylotrema* contiene 17 especies nominales que parasitan aves principalmente de América, con registros en África y Eurasia (Pinto *et al.*, 2015). El ejemplar colectado en Alvarado se determinó como *S. bujugum*, de acuerdo con Macko y colaboradores, (1999), debido a la posición y forma de órganos tales como el ovario, los testículos, los ciegos, la bolsa del cirro (Figura 3 B y C), siendo diagnósticos la forma y posición de los folículos vitelinos y la terminación de los campos. En la Tabla 1, se puede observar que las dimensiones de este material son menores respecto a las reportadas por estos autores; sin embargo, ellos también sugieren que, las dimensiones de las ventosas, faringe, ovario, testículos y cirro (aunque en diferente grado), dependen del tamaño del cuerpo del organismo, pues se ha observado una notable variación en los caracteres métricos. Con base en lo anterior, se considera que la diferencia en las medidas podría atribuirse a la



incipiente madurez sexual del organismo. En la Figura 3B, se aprecia claramente la forma y ubicación de los ciegos, no así del útero, mientras que en la Figura 3C, el esquema muestra la forma del útero lleno de huevos. *Stomylotrema bijugum* fue descrito en *Ibis coerulescens* de Brazil (Braun, 1901). El presente, representa el primer registro de esta especie en México, donde únicamente se conoce el registro accidental de *Stomylotrema vicarium* Braun, 1901 en el aparato digestivo del marsupial *Philander oposum*, en el estado de Chiapas (Ramírez-Cañas *et al.*, 2019).



Prosthogonimus folliculus Reid y Freeman, 1936

Phylum: Platyhelminthes Gegenbaur, 1859

Clase: Trematoda Rudolphi, 1808

Subclase: Digenea Carus, 1863

Orden: Plagiorchiida La Rue, 1957

Familia: Prosthogonimidae Lühe, 1909

Género: Prosthogonimus Lühe, 1899

Caracterización: Cuerpo ovalado 4124x1760; tegumento con espinas dispuestas irregularmente, más numerosas en la parte anterior; miden 11.3–13.2 de largo; ventosa oral 1158x210; faringe de 1000x176; Acetábulo de 510x590. Distancia entre la bifurcación intestinal al acetábulo (660). Testículos: longitud 450x210–250; localizados a la mitad del cuerpo, posteriores al acetábulo; bolsa del cirro de 60 de longitud, asciende paralelamente al esófago y la faringe para desembocar lateralmente a la ventosa oral. Ovario multilobulado, 710x860, situado a la derecha de la línea media, un tercio sobrelapado con el acetábulo. Vitelaria dispuesta en grupos foliculares, anteriores al acetábulo y se extienden posteriormente a los testículos; sin folículos vitelinos intercecales. Folículos de 40 de diámetro. Útero muy distendido; sin asas uterinas preacetabulares, la parte distendida alcanza más allá de la ventosa ventral hasta el nivel de la bolsa del cirro. Huevos ovoides de 10 de diámetro (figura 4, tabla 2).

Sitio de infección: yeyuno y cloaca.



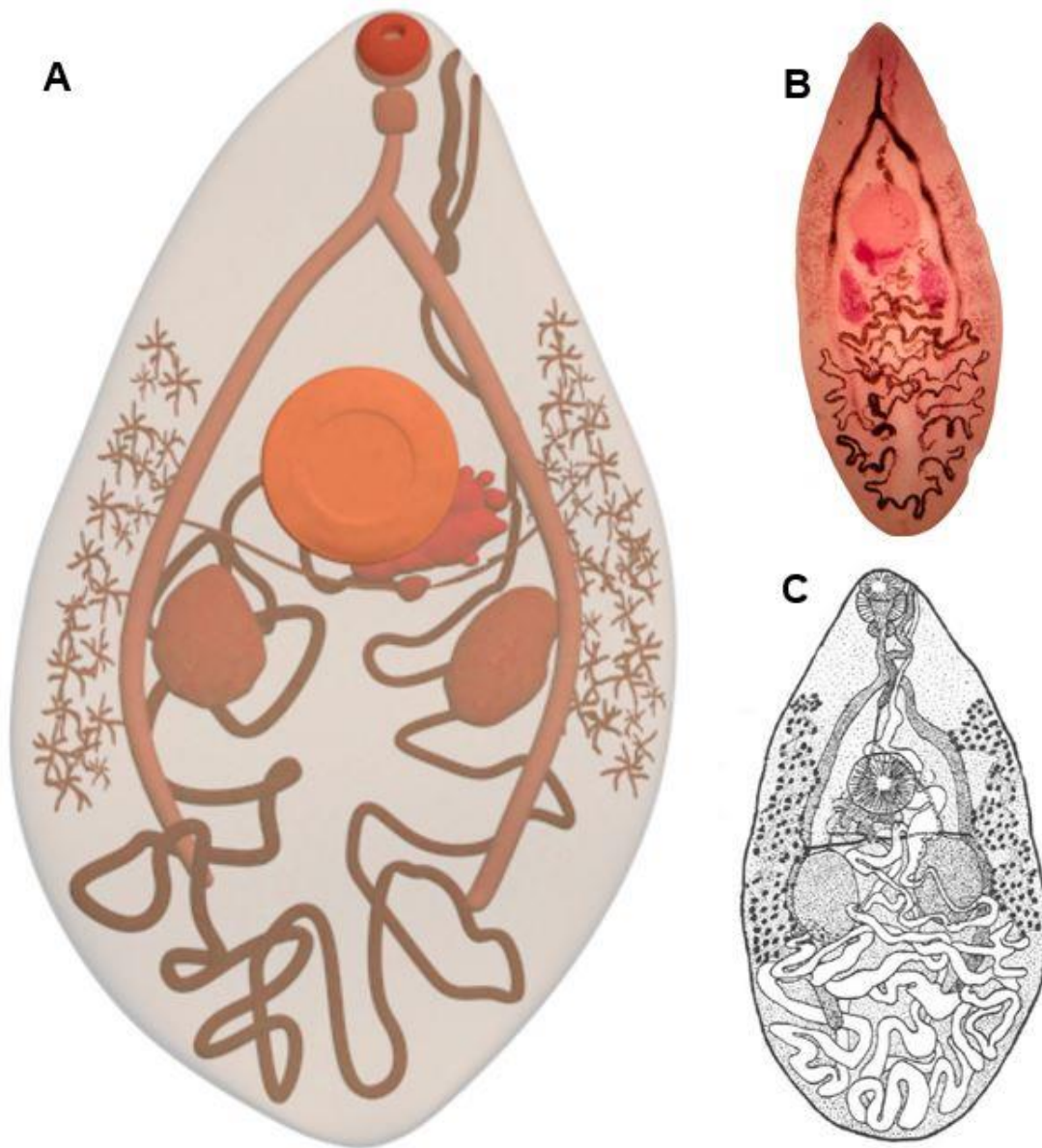


Figura 4. *Prosthogonimus folliculus*.

(A) render de modelo tridimensional.

(B) fotografía de preparación a 4x.

(C) esquema de *Prosthogonimus folliculus* [tomado de: Reid y Freeman (1936)].

Tabla 2. Comparación de este material con la descripción de *Prosthogonimus folliculus* de Reid y Freeman (1936).

Criterios de diferenciación de <i>Prosthogonimus</i>	<i>P. folliculus</i> Reid y Freeman 1936	Este trabajo
Longitud de bolsa del cirro	70-90	60
Longitud de las espinas	11.6 – 13.2	11.3 – 13.2
Extensión y ubicación de glándulas vitelógenas	Desde la bifurcación intestinal hasta la zona posterior de los testículos	Desde la bifurcación intestinal hasta la zona posterior de los testículos
Localización de glándulas vitelógenas	Desde la bifurcación intestinal hasta el margen posterior de los testículos	Desde la bifurcación intestinal hasta el margen posterior de los testículos
Asas uterinas anteriores al acetábulo	Ausentes	Ausentes
Distancia entre la bifurcación intestinal y el acetábulo	750	660
Posición relativa del ovario y los testículos	Intertesticular	Intertesticular
Posición relativa del ovario y el acetábulo	Cubre 1/3 del acetábulo	Cubre 1/3 del acetábulo

Discusión. Se incorporó este material al género *Prosthogonimus*, debido a la presencia de cuerpo periforme, ventosa oral y faringe pequeñas; prefaringe presente, ventosa ventral más pequeña que la ventosa oral. La bifurcación intestinal en el cuarto anterior del cuerpo; los ciegos terminan cerca del extremo posterior. Los testículos son simétricos, localizados en la región media posterior; bolsa del cirro delgada y alargada; poros genitales masculino y femenino abren cerca de la ventosa oral. Ovario multilobulado en la región submedia y parcialmente dorsal a la ventosa ventral y anterior a los testículos; el útero tiene asas ascendentes y descendentes que llegan a invadir el campo de los ciegos y ocupan el espacio postesticular; folículos vitelinos extracecales ligeramente sobrepuestos a los ciegos en la región media del cuerpo (Jones *et al.*, 2008). Las especies de este género



parasitan el oviducto, bolsa de fabricio o cloaca de aves y tienen distribución cosmopolita (Heneberg *et al.*, 2015).

El material de este trabajo procedente de Alvarado, Veracruz, se identificó como *P. folliculus* de acuerdo con Reid y Freeman (1936), quienes realizaron la descripción original de la especie en *Botaurus lentiginosus* de Manhattan, Kansas. Estos autores se basaron en los criterios de diferenciación de especies de *Prosthogonimus* propuestos por Macy (1934) los cuales se presentan en la Tabla 2. En la descripción original, los ejemplares tienen medidas más grandes en la mayoría de los órganos, con relación a este material; sin embargo, son similares en todos los criterios de diferenciación, los cuales se enfocan en la posición y forma de los órganos, más que en la métrica. En la Figura 4 B y C, se aprecian algunos de los caracteres importantes para su diferenciación, tales como posición y longitud de los ciegos intestinales, las glándulas vitelógenas, las usas uterinas, la bolsa del cirro, los testículos y el ovario.

En México se tienen registros de cuatro especies del género *Prosthogonimus*, entre las que se encuentran *P. rudolphii* y *P. karausaki*, registradas por Larios (1942), de los oviductos de *Querquedula cyanoptera* del Lago de Texcoco. Estas dos especies difieren del material de este trabajo ya que presentan proporciones más grandes, tanto en cuerpo, acetábulo y bolsa del cirro; otro de los caracteres por los que difieren de estos ejemplares es la extensión de las glándulas vitelógenas; en el caso de *P. rudolphii*, estas llegan hasta el extremo posterior de los ciegos y en *P. karausiaki* solo alcanzan el margen posterior de los testículos, mientras que en este material, si bien, los folículos también comienzan desde el margen anterior del acetábulo, se extienden más allá del margen posterior de los testículos pero sin llegar al extremo posterior de los ciegos (figura 4). En 1986, Farias y Canaris, registraron a *P. cuneatus* en el sistema gastrointestinal de *Anas platyrhynchos* del norte y centro de México, la especie anterior difiere de estos ejemplares debido principalmente a la posición del ovario, ya que, si bien llega a tocar el margen del acetábulo, no se sobrelapa (Macy, 1965), mientras que en este material si llegan a encimarse parte de los folículos vitelinos con el ovario. La última



especie registrada en México es *P. macrorchis* en la cloaca de *Anas discors* de La Esperanza, Toluca, Estado de México (Orozco-Flores, 2000). Esta especie tiene el cuerpo periforme más pronunciado que en las especies anteriores mencionadas, incluso más que en los ejemplares de este trabajo; también tiene la bolsa del cirro considerablemente más larga que este material material y la extensión de las vitelógenas comienza por debajo del nivel medio del acétabulo y llega al margen posterior de los testículos, mientras que como se puede ver en estos ejemplares (Figura 4), las vitelógenas comienzan anteriores al acetábulo.

Este trabajo, suma el segundo registro de *P. folliculus* para México; el primero fue realizado por Hernández-Rodríguez (1995), en vejiga urinaria de *Egretta thula* de Tecolutla, Veracruz. Aunque las localidades son diferentes, el estado en que se colectó al hospedero es el mismo, Veracruz.



Leucochloridium sp.

Phylum: Platyhelminthes Gegenbaur, 1859

Clase: Trematoda Rudolphi, 1808

Subclase: Digenea Carus, 1863

Orden: Strigeatoidea La Rue, 1926

Familia: Leucochloridiidae Poche, 1907

Género: Leucochloridium Carus, 1835

Caracterización. Cuerpo ovalado, de 2425x1000 y tegumento con espinas; ventosa oral bien desarrollada y subterminal, 623x688; faringe musculosa de 162x207; acetábulo pre cuatorial de 597x649. Aparato reproductor masculino constituido por dos testículos; el anterior mide 185, se ubica adyacente a la rama derecha del ciego intestinal y posterior a la zona del acetábulo; el posterior mide 179 de largo y se localiza en la porción posterior de cuerpo, anterior a la bolsa del cirro; bolsa del cirro ovalada, 296 de largo, situada en el extremo posterior de los ciegos. Ovario casi esférico (132), en la porción izquierda del cuerpo y, anterior al testículo posterior. Útero confinado al área intercecal, con excepción de dos asas a los lados de la faringe; se extiende posteriormente hasta la porción anterior de la bolsa del cirro. Vitelógenas desde el último cuarto posterior de la ventosa oral hasta la bolsa del cirro; conductos vitelinos unidos por debajo del ovario y por arriba del testículo posterior. Poro genital dorsal y subterminal, huevos de 16-25 de largo (figura 5, tabla 3).

Sitio de infección: yeyuno y cloaca



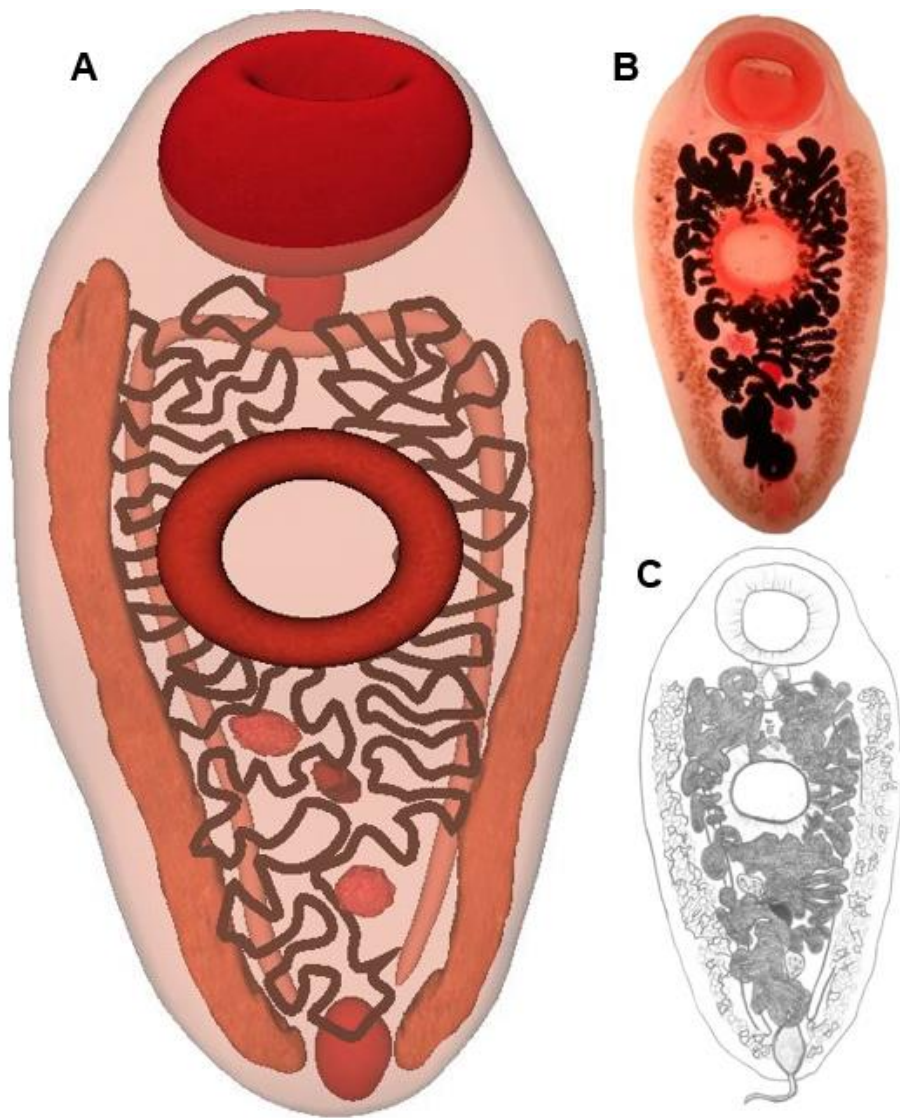


Figura 5. *Leucochloridium sp.*
 (A) render de modelo tridimensional.
 (B) fotografía de preparación a 4x.
 (C) esquema de *Leucochloridium sp.*

Tabla 3. Medidas de especies neárticas y neotropicales del género *Leucochloridium*.

Distribución Geográfica	Especies neárticas			Especies neotropicales				
	México	E. U. A	México	Brasil	Brasil	Brasil	Costa Rica	México
Criterios de diferenciación	<i>L. insigne</i> Loss 1899	<i>L. variaie</i> Mcltosh 1932	<i>L. variaie</i> Mcltosh 1932	<i>L. pulchrum</i> Fernández 1970	<i>L. parcum</i> Travassos 1922	<i>L. flavum</i> Travassos 1922	<i>L. costaricense</i> Brenes y Arroyo 1962	<i>Leucochloridium</i> sp.
Cuerpo LxA	3839- 3872x1611- 1691	1680	2000x1000	1100- 1500x2460-3240	970x1730	2500x3500	2336x1033	2425x1000
VO LxA	821-945x900- 927	430x520	690x770	760-940x740- 1000	410x469	1300	399-413x537- 531	623x688
Faringe LxA	316-418x164- 316	140x190	140x210	160- 220x200- 290	169x258	410x340	147x152	162x207
AC LxA	927- 1027x1000- 1106	430x450	640x690	600-860x580- 840	390x442	1300	444-482x482- 509	597x649
Ovario LxA	Cordiforme 126-170x221- 224	100x120	140x130	160-200x80-140	147x158	No reporta	129-147x156- 170	132
TA LxA	173-374x348- 632	100x135	150x190	330-450x540- 640	143x154	400-500x600	147-179x177- 184	185
TP LxA	253-400x363- 527	100x115	200x190	360-430x460- 680	154x151	400-500x600	138-140x142- 150	180
Útero	Intercecal	Intercecal con excepción de dos asas a cada lado de la parte posterior de la V.O.	Intercecal con excepción de dos asas a cada lado de la parte anterior de la V.O.	Intercecal y no va más allá de la bifurcación intestinal, llega hasta la zona del poro genital.	Extracecal anteriormente, desde la faringe hasta la bolsa del cirro	No reporta	Desde el borde inferior de la V.O. hasta el extremo posterior	Intercecal con excepción de dos asas a cada lado de la faringe
BC LxA	Grande y musculoso 332-335x200- 205	150x100	230 x 220	140-280x280- 340	161x151	Grande	No reporta	296
Poros genital	No reporta	Posterior subterminal	Dorsal subterminal	En el extremo posterior del cuerpo	No reporta	No reporta	No reporta	Posterior subterminal



Tabla 3. Medidas de especies neárticas y neotropicales del género *Leucochloridium*. (Continuación)

Distribución Geográfica	Especies neárticas		Especies neotropicales					
	México	E. U. A	México	Brasil	Brasil	Brasil	Costa Rica	México
Criterios de diferenciación	<i>L. insigne</i> Loss 1899	<i>L. variae</i> McIntosh 1932	<i>L. variae</i> McIntosh 1932	<i>L. pulchrum</i> Fernández 1970	<i>L. parcum</i> Travassos 1922	<i>L. flavum</i> Travassos 1922	<i>L. costaricense</i> Brenes y Arroyo 1962	<i>Leucochloridium</i> sp.
PC	Se arquean a los costados de la faringe para llegar hasta el extremo posterior	Se extienden hasta la zona de la bolsa del cirro. Distancia entre las puntas de los ciegos: 200	Terminan casi a la mitad de la bolsa del cirro	Hasta el extremo posterior del cuerpo	Se extienden al límite de la zona del testículo posterior	No reporta	No reporta	Desde la zona de la faringe hasta la zona posterior de la bolsa del cirro
PV	Desde el nivel de la faringe hasta poco antes de la terminación de los ciegos intestinales	Desde el último cuarto posterior de la V.O hasta el nivel posterior de la bolsa del cirro	Desde la mitad de la V.O hasta el margen posterior de la bolsa del cirro	Desde la zona de la faringe hasta la zona posterior de los ciegos intestinales	Desde la faringe hasta el testículo posterior	No reporta	No reporta	Desde el último cuarto posterior de la V.O hasta la parte posterior de la bolsa del cirro
Huevo	16-24	16 - 25	16 - 24	15 – 20x20 - 25	15- 23	17- 23	18-25	16 – 25
RV	No reporta	1:1 1: 0.86	1: 0.93 1: 0.83	1: 0.78 1: 0.95	1: 1.11	1:1	No reporta	1: 0.95 1: 0.94
Tegumento	No reporta	No reporta	Con espinas	Liso	Con espinas	No reporta	No reporta	Con espinas en la parte media del cuerpo
Hospedero	<i>Querquedula discors</i>	<i>Mniotilta varia</i>	<i>Jacana spinosa</i>	<i>Jacana spinosa jacana</i>	<i>Passer domesticus</i>	<i>Gallinula galeata</i>	<i>Gymnostinops montezuma</i>	<i>Jacana spinosa</i>
Referencia	Larios (1943)	McIntosh (1932)	Amaya (1990)	Fernández (1970)	Brasil et al. (1991)	Travassos (1922)	Brenes y Arroyo (1962)	Este trabajo

*VO: ventosa oral. *AC: acetábulo. *TA: testículo anterior. *TP: testículo posterior. *BC: bolsa del cirro. *PG: poro genital. *PC: posición de los ciegos. *PV: posición de la vitelaria. *RV: relación de las ventosas.



Discusión. Debido a que las especies del género *Leucochloridium* parasitan el aparato digestivo de aves, muchas de las cuales llevan a cabo un proceso de migración, estos trematodos no están restringidos a un área geográfica específica, motivo por el cual se encuentran descritas en prácticamente todo el mundo. En este trabajo, para la identificación de los ejemplares de *Leucochloridium* obtenidos de *Jacana spinosa*, se realizó una comparación considerando las especies de las cuales se tiene registro en América, tanto en la zona neártica, (*L. variae* y *L. insigne*), como en la zona neotropical, donde se han descrito: *L. costaricense*, *L. flavum*, *L. parcum* y *L. pulchrum* (Tabla 3), poniendo particular atención en las especies que se han reportado como parásitas de aves del género *Jacana*, el cual se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Brasil.

Al comparar el material de Veracruz con las especies registradas en México se encontró que, *Leucochloridium variae*, descrito originalmente por McIntosh (1932) como parásito de *Mniotilta varia* en Michigan, E. U. A., difiere de este material, pues los ejemplares tipo presentan medidas mucho más pequeñas con relación a éstos, además de que la extensión de los ciegos intestinales y las glándulas vitelógenas es distinta (Figura 5 B y C, Tabla 3). En el caso del material descrito por Amaya (1990), registrado en el intestino de *J. spinosa* de Tabasco, observamos que a pesar de que la autora realizó su identificación basada en McIntosh (1932), las medidas de sus ejemplares son mucho más grandes que las reportadas en la descripción original y más semejantes a las que encontramos en el material de los humedales de Alvarado. La segunda especie conocida para el país, *L. insigne*, fue registrada por Larios (1943), como parásito del recto y la cloaca de *Anas discors* en el lago de Texcoco, Estado de México. El material de Alvarado, presenta diferencias significativas respecto a *L. insigne*, puesto que es considerablemente más grande, además de que el útero no sobrepasa la bifurcación intestinal, mientras que estos ejemplares, presentan dos asas uterinas a los costados de la faringe (Figura 5, Tabla 3).

Entre las especies registradas en la zona Neotropical, *L. costaricense* fue descrita en Costa Rica en el intestino de *Psarocolius montezuma* por Brenes y Arroyo (1962). Esta especie se caracteriza principalmente por la extensión de las



glándulas vitelógenas, las cuales únicamente alcanzan el borde superior del testículo anterior; también cabe destacar que, de las especies comparadas con este material, esta es la única cuya posición de la ventosa oral es terminal. Además, como se puede observar en la Tabla 3, en el material de Tabasco, las glándulas vitelógenas, se extienden hasta la parte posterior de la bolsa del cirro. Basados en ambas diferencias, los ejemplares del presente estudio no fueron asignados a *L. costarricense*.

La identificación del material de Veracruz como *L. flavum* se descartó debido a que de acuerdo con Travassos (1922), esta especie presenta medidas mayores en todos sus órganos y proporciones entre éstos, además de que su hospedero (*Gallinula galeata*), colectado en Brasil, pertenece al orden Gruiformes, mientras que el material de alvarado se colectó de *J. spinosa* del orden Charadriiformes. De la misma forma, las medidas de *L. pulchrum* (digeneo que también parasita a una especie de *Jacana* de Brasil) son mayores que las de los ejemplares de este estudio; las principales características por las cuales se consideró que no pertenecen a ésta, fueron que el útero no va más allá de la bifurcación intestinal y porque las glándulas vitelógenas comienzan donde ésta se origina Fernández (1970), mientras que en los ejemplares encontrados en este trabajo, el intestino tiene dos asas uterinas a los costados de la faringe y las glándulas vitelógenas inician anteriormente a nivel del último cuarto de la ventosa oral y la faringe (Figura 5).

De las especies comparadas en este trabajo, la que posee las medidas más pequeñas es *L. parcum*, descrita en *Passer domesticus* por Brasil *et al.* (1991) en Río de Janeiro. Las principales diferencias con el material de Veracruz están en relación con el largo del cuerpo, tamaño de las ventosas, de los testículos y de la bolsa del cirro (Tabla 3). Otra característica de esta especie es que los ciegos se extienden hasta el nivel del testículo posterior y no así en el resto de las especies (incluida la encontrada en este estudio), cuya extensión de los ciegos intestinales alcanza la zona de la bolsa del cirro.

Con base en lo anterior, la especie con más relación a la encontrada en este trabajo en cuanto a medidas, posición y forma de los órganos, así como hospedero, es la descrita por Amaya (1990), cuyos ejemplares se encuentran depositados en



la Colección Nacional de Helmintos en el Instituto de Biología de la UNAM, con número de catálogo 1460. Al comparar estos ejemplares con los del presente estudio, podría decirse que se trata de la misma especie (*L. variae*); sin embargo, se observan discordancias entre las medidas dadas por Amaya (1990) y la descripción original de la especie (McIntosh, 1932). Por esta razón, se considera que la identificación del material de Tabasco es incorrecta, lo cual se puede atribuir a las técnicas empleadas para el procesamiento de los ejemplares, como puede ser el aplanamiento de los organismos. De este modo, al no poder asignar los ejemplares de Alvarado a alguna de las especies señaladas anteriormente, se decidió identificarlos exclusivamente a nivel de género como: *Leucochloridium* sp.



Wardianun facioi (Brenes y Arroyo, 1962) Dronen, Gardner y Jiménez, 2006

Phylum: Platyhelminthes Gegenbaur, 1859

Clase: Trematoda Rudolphi, 1808

Subclase: Digenea Carus, 1863

Orden: Plagiorchiida La Rue, 1957

Familia: Cyclocoelidae Stossich, 1902

Género: Wardianum Witenberg, 1926

Caracterización. Cuerpo alargado de 8000x2300, ventosa oral poco desarrollada y en posición terminal; faringe casi esférica y bien desarrollada de 260x270, acetábulo ausente y esófago corto; ciegos intestinales que se anastomosan en la parte posterior del cuerpo, igual que las glándulas vitelógenas, cuyos folículos miden de 10-15. Órganos reproductivos localizados en el extremo posterior. Testículos situados lado a lado, ovalados, de 280-410, formando un triángulo con el ovario el cual es esférico de 250-260. El útero abarca casi todo el espacio intercecal y se sobrelapa lateralmente con los ciegos. Poro genital posfaríngeo. Huevos ovoides de 130x80 (figura 6).

Sitio de infección: yeyuno y cloaca.



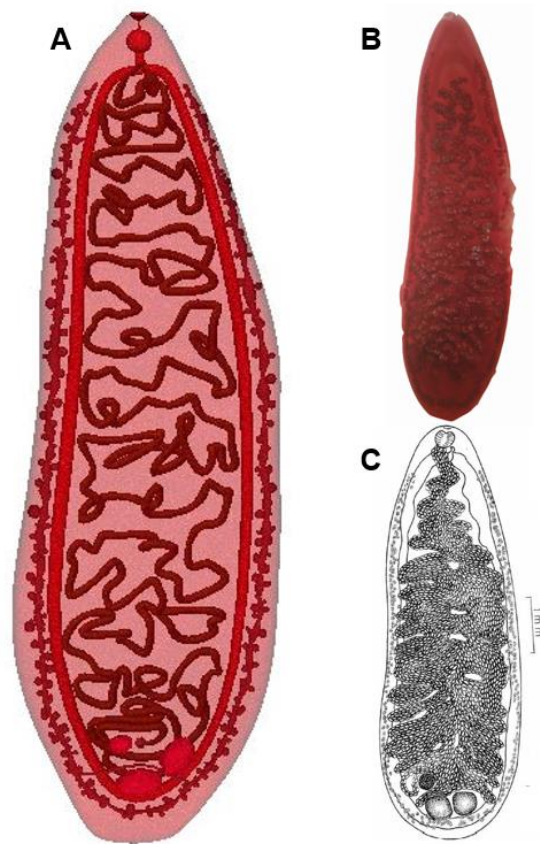


Figura 6. *Wardianum facioi*.
(A) render de modelo tridimensional.
(B) fotografía de una preparación a 4x.
(C) esquema de *Wardianum facioi* (tomado de: Brenes y Arroyo, 1962).

Discusión. Esta especie fue originalmente descrita como *Cyclocoelum* (*Haematotrephus*) *facioi* por Brenes y Arroyo (1962) en *Jacana spinosa spinosa* de la Provincia de Puntarenas, Costa Rica. Su designación como nueva, se debió principalmente a la distribución de los folículos vitelinos, los cuales se anastomosan en la región posterior del cuerpo, a diferencia de las especies afines. En 1971, Yamaguti, elevó el subgénero *Haematotrephus* a género, quedando así la especie como *Haematotrephus facioi*. Posteriormente, con base en la posición de los testículos uno al lado del otro fue transferida al género *Wardianum* por Dronen *et al.* (2006).

En este trabajo, el material se identificó como *Wardianum facioi* siguiendo la clave de Dronen y Blend (2015) y también a partir de la descripción original de la especie (Brenes y Arroyo, 1962); de acuerdo con los autores, *W. facioi* se caracteriza por la presencia de poro genital posfaríngeo, testículos contiguos en la región posterior del cuerpo; ovario pretesticular y asas uterinas intra y extracecales, mismos caracteres que se observan en los ejemplares mexicanos. Por otra parte, esta especie ha sido registrada en la zona Neotropical y en la misma ave hospedero en la que se colectó el material de este trabajo.

Siguiendo la clave elaborada por Dronen y Blend (2015), para los géneros y especies incluidos en las subfamilias de Cyclocoelidae, esta especie se ubica en el género *Wardianum*; no obstante, los autores argumentan que, en el esquema de la especie presentado en la descripción original, las vitelógenas no aparecen confluyendo posteriormente, a pesar de que así son descritas por Brenes y Arroyo (1962). Al seguir esta clave, se ubica en la subfamilia *Haematotrophinae*, por la presencia de los testículos que forman un triángulo con el ovario y del poro genital posfaríngeo. Para realizar la identificación a nivel de género, inicialmente hay que determinar si las vitelógenas confluyen o no posteriormente; en caso de hacerlo, el género es *Uvitellina*, de lo contrario, el género es *Wardianum*.

En las especies del género *Uvitellina*, las asas uterinas en algunas ocasiones invaden el espacio posttesticular; además, las vitelógenas confluyen posteriormente formando una extensión dirigida hacia atrás, muy parecida a una cauda. *Wardianum*



difieren de *Uvitellina* debido a que sus testículos se disponen uno al lado del otro y las vitelógenas no confluyen posteriormente. Sin embargo, Brenes y Arroyo (1962) refieren que las vitelógenas si convergen, rasgo que también se puede observar en el material de Alvarado, solo que sin que los folículos vitelinos se extiendan hacia la región posterior como en *Uvitellina*.

De acuerdo con Dronen y Blend (2015), las características diagnósticas del género *Wardianum* son: cuerpo lanceolado, ventosa oral rudimentaria presente; ventosa ventral ausente. Poro genital posfaríngeo. Ovario pretesticular formando un triángulo con los testículos, los cuales se encuentran uno muy cerca del otro, cerca del arco posterior del ciclocele. Asas uterinas que se sobrelapan lateralmente con los ciegos y folículos vitelinos que no confluyen posteriormente. El material del presente estudio cumple con todas las características señaladas previamente, con excepción de la no confluencia de las vitelógenas ya que en los ejemplares que se estudiaron si confluyen. Al respecto, Dronen y Blend (2015) comentaron que, de confirmarse la unión posterior de los campos vitelinos (tal como describieron originalmente Brenes y Arroyo, 1962) sería necesaria la erección de un nuevo género dentro de la subfamilia para ubicar a esta especie. Por esta razón, de acuerdo a las publicaciones existentes hasta la actualidad revisadas en este trabajo, se identificó tentativamente al material de Veracruz como *W. facioi*, mientras se define la conveniencia de crear un nuevo género disponiendo exclusivamente de evidencias morfológicas.



Modelado tridimensional de digeneos

En este trabajo se realizaron cuatro modelos tridimensionales digitales de las especies de digeneos antes descritas, para lo cual se utilizó el programa Autodesk 3ds Max (versión 2012).

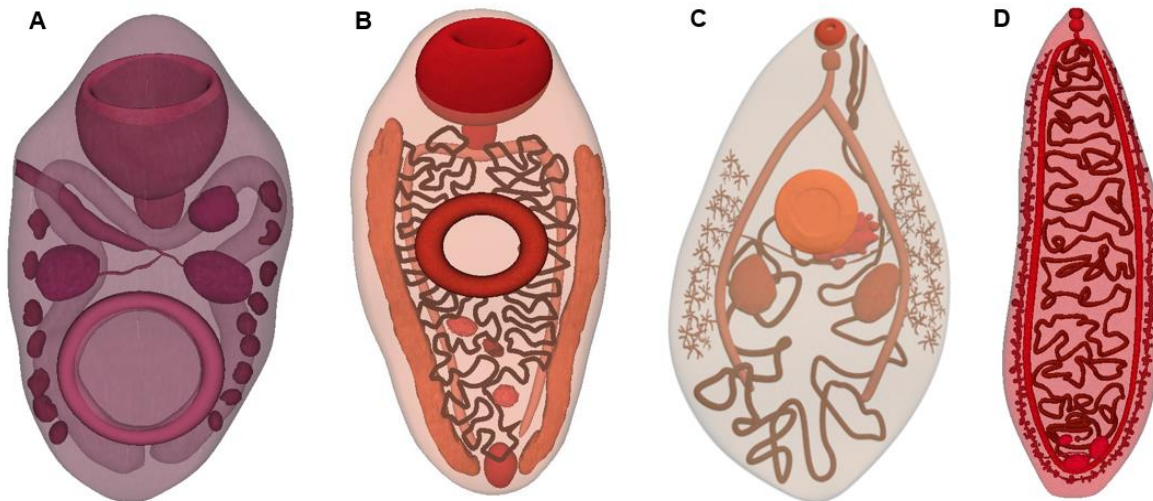


Figura 7. Renders de modelos tridimensionales de cuatro especies de digeneos de aparato digestivo de *Jacana spinosa*:

(A) *Stomylotrema bijugum*, (B) *Leucochloridium* sp., (C) *Prosthogonimus folliculus* y (D) *Wardiamun facioi*.

Para la elaboración de los modelos tridimensionales de este trabajo, se usaron principalmente fotos y descripciones de los ejemplares, y en menor medida los esquemas. Debido a que algunos de los trabajos que se utilizaron para la identificación son muy antiguos, llagan a ser imprecisos tanto en lenguaje, como en la representación gráfica de las especies, lo que podría deberse a los microscopios y técnicas que se utilizaban para la realización de los esquemas y también a la percepción del organismo y sus estructuras por parte de quien los realizó. En algunos de los artículos y claves consultadas para la identificación, al leer la descripción de las especies y observar su esquema, estos no coincidían por completo. Esto sucedió particularmente con *Leucochloridium*, pues al consultar distintas fuentes para su identificación, en algunas de estas, como es el caso de Amaya (1999), la autora reportó que los folículos vitelinos de *L. variae* se extienden anteriormente hasta casi la mitad de la ventosa oral, siendo que en su esquema se

observan solo hasta la altura de la mitad de la faringe. Por otro lado, Larios (1943), hizo referencia en su descripción de *L. insigne* al ovario con forma “acorazonada” y en su esquema es muy difícil distinguir siquiera esta estructura, aún menos la forma de la misma.

Respecto a lo anterior, Melón y Miranda (2011) comentan un aspecto a tener en cuenta, y es que los modelos virtuales son complejos y heterogéneos ya que por lo general se componen a partir de diferentes fuentes de información (medidas, fotografías, grabados, descripciones textuales, etc.) donde se mezclan diferentes precisiones geométricas, grados de verosimilitud y fechas.

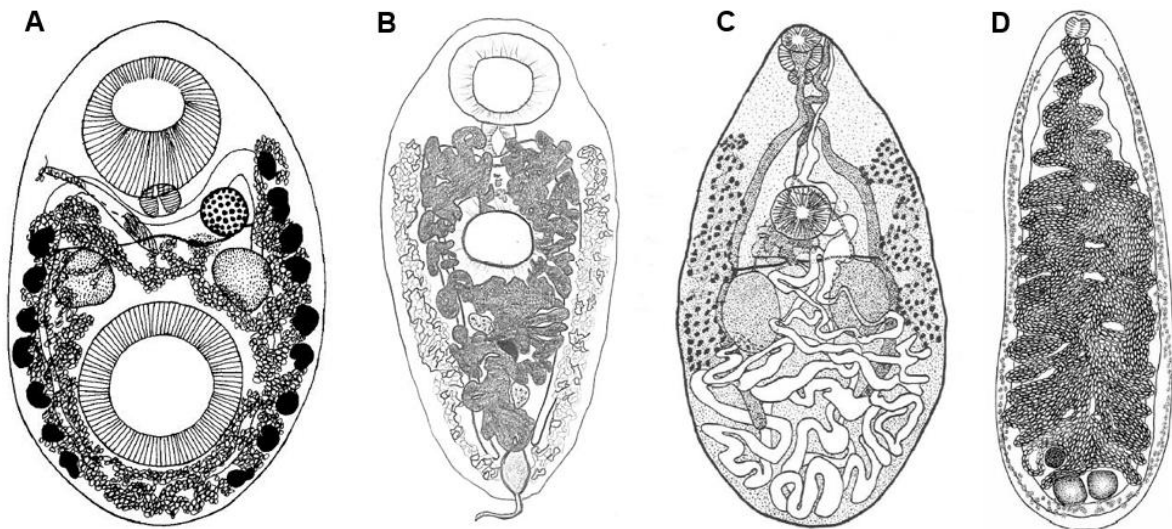


Figura 8. Esquemas de cuatro especies de digeneos de aparato digestivo de *J. spinosa*. (A). *Stomylotrema bijugum* (Macko et al., 1999). (B). *Leucochloridium* sp. (este estudio). (C). *Prosthogonimus folliculus* (Macy, 1934) y (D) *Wardiamun facioi* (Brenes y Arrollo, 1962).

En las figuras 7 y 8, se observan algunas diferencias entre los diagramas y los modelos tridimensionales del material biológico estudiado. En la figura 8A, se puede ver el útero de *Stomylotrema bijugum*, mientras que en el modelo tridimensional no (figura 7A), debido a que el ejemplar biológico de este estudio no estaba grávido (figura 3B). Por el contrario, tanto en este ejemplar como en el modelo tridimensional, se distingue claramente como confluyen los ciegos intestinales en el extremo posterior del cuerpo (figuras 3B y 7), y aunque en el

esquema de la especie esta característica no es visible, en la descripción de la misma este es un carácter diagnóstico (Macko, 1999).

De los cuatro modelos tridimensionales realizados, solo uno guarda un poco menos de semejanza con el organismo original (figuras 7B y 8B) y es precisamente el material que solo se identificó hasta nivel de género (*Leucochloridium* sp). Para este modelo en particular se utilizaron las diferentes fotos de los ejemplares y las características diagnosticas del género, pues no se obtuvo un esquema preciso del organismo de las fuentes consultadas para su identificación, por lo que el esquema se realizó durante este estudio con las características que se observaron al microscopio, las cuales no siempre eran claramente visibles en las preparaciones permanentes (figura 8B).

Por su parte, el modelo tridimensional de *Prosthogonimus folliculus* (figura 7C), muestra un útero delgado, muy similar al que se observa en la foto del organismo (figura 4B) difiriendo ambos del que se aprecia en el esquema, el cual es más grueso (figura 8C). Lo anterior probablemente se deba al nivel de gravidez de los ejemplares que se estudiaron con respecto a los descritos por Macy (1934a), los cuales probablemente se encontraban en una etapa de desarrollo más avanzada.

Del material biológico estudiado en el presente trabajo, una de las especies cuyos ejemplares se encontraban más dañados, fue *Wardianum facioi* (figura 9D), por lo que las fotos que se emplearon para la elaboración de su modelo tridimensional no tuvieron la calidad necesaria. Uno de los órganos que estaba más afectado era el útero (Figura 6B), pues el organismo al parecer había sufrido un aplanamiento excesivo y por lo mismo los huevos estaban dispersos en casi la totalidad del cuerpo. Por esta razón, en la elaboración del modelo el útero se hizo más delgado (considerando la situación del daño del material biológico) (figura 8D).

Si bien los modelos tridimensionales se asemejan lo más posible al material biológico, además de las discrepancias entre las descripciones y los esquemas, también hay que considerar que se realizaron modelos de digeneos basados en las fotos tomadas de las preparaciones permanentes de dichos organismos; en ese



proceso se pueden cometer ciertos errores técnicos que provocan que no sean visibles todas sus estructuras internas y externas, o bien que estos se dañen al manipularlos (figura 9), de manera que no es posible realizar un modelo tridimensional del organismo con todo el detalle y exactitud que se desea.

Un problema común en este tipo de modelado es que, si durante la colecta el material no se fija rápida y adecuadamente, estos tienden a autolizarse casi de inmediato; además debe considerarse el grosor del organismo, ya que de esto depende el aplanamiento que se ejerce sobre él. Si los ejemplares se aplanan de más pueden dañarse, lo que provoca que muchas de las estructuras no sean visibles o simplemente cambien de forma o posición y esto puede conllevar a una mala identificación. Por otra parte, la técnica de tinción que se elija es muy importante, pues cada tipo de colorante es para resaltar distintas estructuras, además algunos de estos no se pueden usar en cuanto se preparan, pues necesitan algún tiempo de maduración antes de usarlos y algunos son económicamente hablando, más accesibles.

Por lo anterior, se recomienda que la preparación de los organismos se haga inmediatamente después de la colecta, que el aplanamiento (si se requiere) sea mínimo y que se elija el colorante que más convenga considerando las cuestiones antes mencionadas y por último, que el personal encargado de realizar desde la colecta hasta la preparación del material tenga experiencia y habilidad con la técnica, ya que en gran medida de esto depende que el material conserve sus características y pueda ser identificado con facilidad.





Figura 9. Fotos de digeneos en los que no se aprecian bien las estructuras o están dañados. (A). *Lucochloridium* sp. (B). *Prosthogonimus folliculus*. (C). *Prosthogonimus folliculus* y (D). *Wardianum facioi*. Aumento 4x. Fotografías tomadas por Fabiola Gutiérrez.

La identificación de las especies biológicas se ha venido realizando mayormente de manera tradicional, es decir, con el empleo de las descripciones o redescrpciones de las mismas y sus ilustraciones, ya que muchas veces resulta difícil la obtención del material biológico en su forma física o bien no existe depósito del mismo en las colecciones científicas. Este método a pesar de ser eficiente, en la mayoría de los casos no permite a estudiantes y científicos familiarizarse con el arreglo espacial y estructural de los ejemplares ya que este tipo en particular de organismos son muy pequeños y resulta complicado su visualización en 3 dimensiones. En el caso específico de las especies endoparásitas, como es el caso de los digeneos, esta limitante se vuelve aún más evidente, pues para lograr su observación y estudio es necesario la disección de del animal hospedero y posteriormente, el procesamiento del parásito.

Teo y colaboradores (2010) en su trabajo construyeron un modelo 3D de un monogeneo a partir de ilustraciones 2D; en los esquemas de su trabajo se pueden observar algunas diferencias respecto a los presentados en este estudio, pues si bien, en ambos trabajos se utilizó el mismo programa de modelado (Autodesk 3Ds Max) ellos utilizaron la versión 2009, mientras que en este trabajo se utilizó la versión 2012. Los autores del estudio antes mencionado discuten una limitante del

modelado tridimensional y es que, en ninguna de las fuentes consultadas, tanto en las imágenes 2D como en las descripciones y redesccripciones se da a conocer la medida del grosor de los organismos. Esta medida es un dato difícil obtener de los gusanos planos como los que se utilizaron en ambos trabajos. Por lo que también para este trabajo se considera una limitante el no contar con todas y cada una de las medidas de las dimensiones de los ejemplares modelados, por lo que sería recomendable su inclusión en los trabajos que describan una especie de este grupo de parásitos.

Si bien el modelaje tridimensional es útil para el estudio y conservación de las especies biológicas, también lo es actualmente para el conocimiento y experimentación de sistemas y procesos biológicos. Jackson y Lu (2016), en su trabajo sobre modelos tridimensionales para estudiar el desarrollo y las enfermedades, mencionan que los investigadores recurren al modelaje 3D debido a una falta de accesibilidad experimental a los sistemas *in vivo* y a la naturaleza compleja de los procesos biológicos. Además, los modelos tridimensionales son más manejables experimentalmente y pueden imitar bien la fisiología *in vivo*. Sin embargo, estos modelos se enfrentan al reto de captar con precisión toda la complejidad de los tejidos.

Otra situación con el modelaje tridimensional es que es una labor ardua, ya que todos y cada uno de los objetos que se deseen modelar conllevan un proceso el cual requiere tiempo y esfuerzo. Actualmente algunos autores han estado trabajando en eficientizar y optimizar las técnicas de modelado tridimensional digital, como es el caso de Teo y Sarinder (2019) quienes realizaron una línea de modelado 3D automatizada para la construcción de modelos 3D de monogeneo utilizando técnicas de aprendizaje automático, con la cual se logró automatizar la generación de 8 modelos 3D objetivo que representaban ocho especies de ancla monogénica a partir de las respectivas ilustraciones 2D de entrada. El trabajo tuvo como objetivo evitar la repetición del laborioso procedimiento de modelado para cada modelo 3D objetivo desde cero.



A pesar de las limitantes antes mencionadas, el modelado tridimensional digital de especies tiene grandes ventajas, entre las que se encuentran un bajo costo y el poder realizar modelos sin necesidad de contar con el organismo en su forma física, ya que se pueden hacer solo a partir de fotos o imágenes detalladas, así como de su descripción. También es importante mencionar que, a diferencia de material biológico físico, los modelos tridimensionales digitales se pueden manipular tanto como se necesite o desee, pudiendo observarlos interna y externamente desde cualquier perspectiva (figuras 10 y 11) y sin tener que preocuparse por dañarlos.

Biológicamente hablando, las nuevas tecnologías de la información como la digitalización de la biodiversidad mediante el modelado 3D de especies permite que las colecciones biológicas sean de amplio y fácil acceso teniendo un mayor impacto en la comunidad académica y científica. Pese a esto, en algunas instituciones donde se resguardan especímenes biológicos como es el caso del Museo Nacional de Historia Natural de EUA., el acceso a estos es muy limitado; por ejemplo, Page *et al*, (2015), señalan que apenas el diez por ciento de la información que contiene este acervo esta digitalizada y aun menos está disponible en línea.



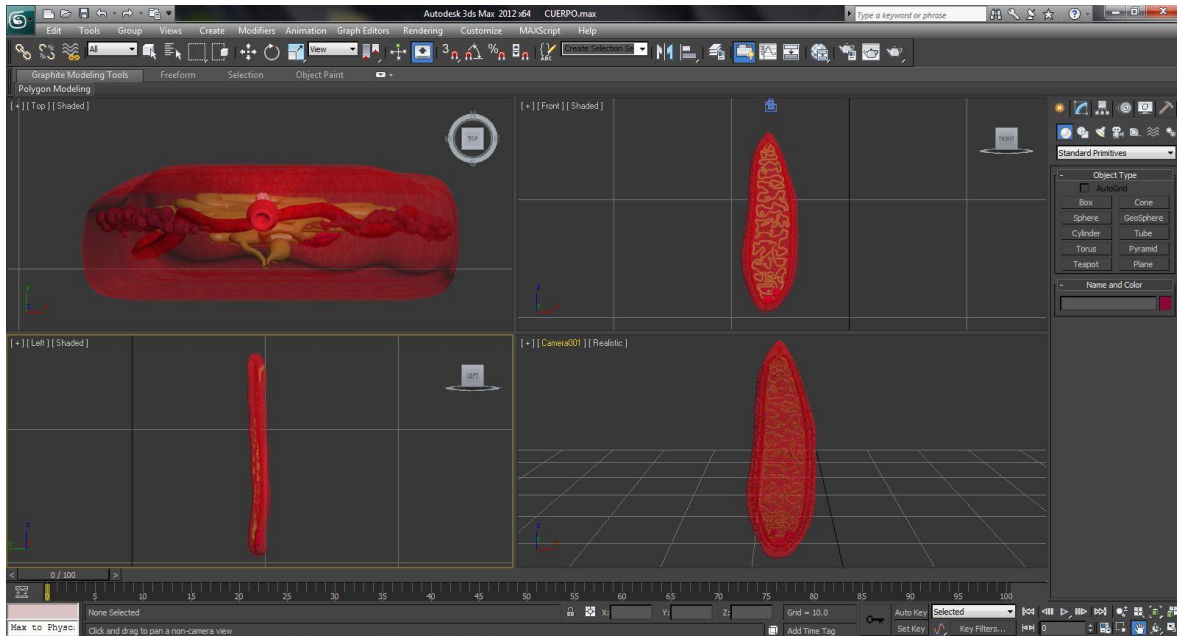


Figura 10. Modelo tridimensional digital de *Wardianum facioi* en visto desde diferentes perspectivas (superior, izquierda, frontal y trasera) en programa Autodesk 3D Max

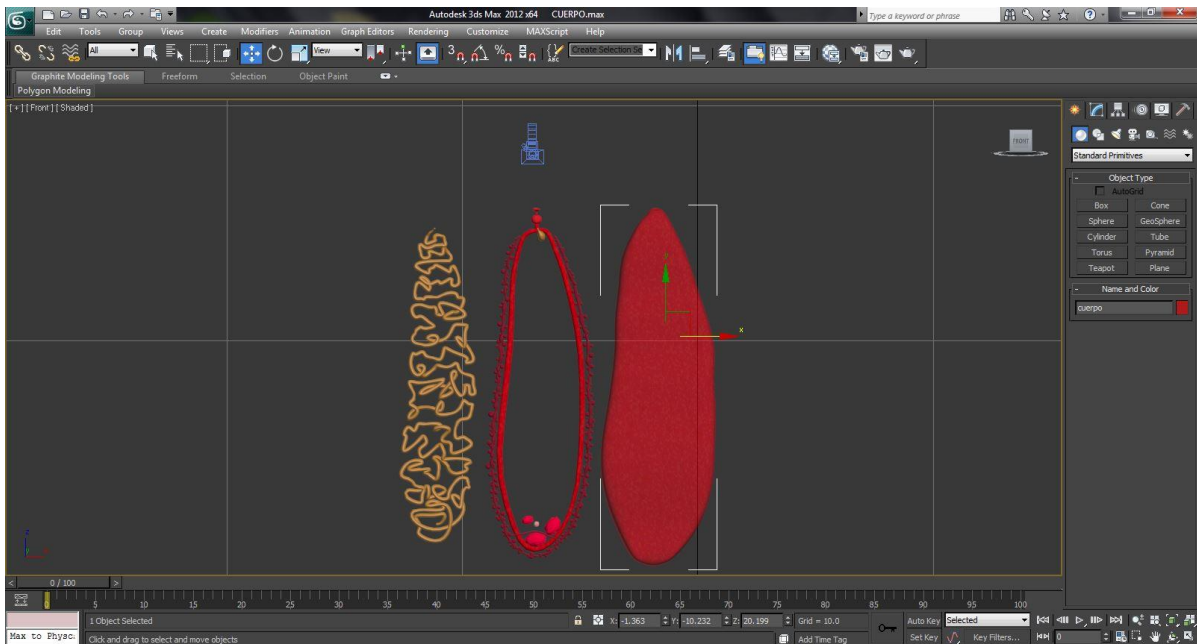


Figura 11. Modelo tridimensional digital de *Wardianum facioi*. Se observan diferentes órganos (visualización en capas) en programa Autodesk 3D Max.

Los modelos tridimensionales realizados en este trabajo se exportaron a formato VRML, para permitir ser visualizados y posteriormente anclados a la página web donde se elaboró el catálogo de las especies. Este catálogo virtual contiene información general sobre el ave hospedero, así como el estado actual de su fauna helmintológica en México, descripciones, fotografías y esquemas de los organismos y los modelos tridimensionales (figuras 12 y 13).

DIGENEOS DE *Jacana spinosa*

DIGENEOS



INTRODUCCION

Los helmintos constituyen el grupo de gusanos parásitos de vertebrados silvestres más numeroso de México. El término "helminto" hace referencia a un grupo polifilético artificial que incluye a cuatro filos (Platyhelminthes, Nematoda, Acantocephala y Annelida). Los Platyhelminthes se dividen en cuatro clases: Turbellaria, Monogenea, Cestoda y Trematoda. En cuanto a los grupos de vertebrados a los que parasitan, los helmintos se encuentran asimétricamente representados, pues la mayor cantidad de especies se ha descrito de peces (814), seguidos por los mamíferos con 249 especies, los reptiles con 237, las aves con 223 y, por último, los anfibios con 109.

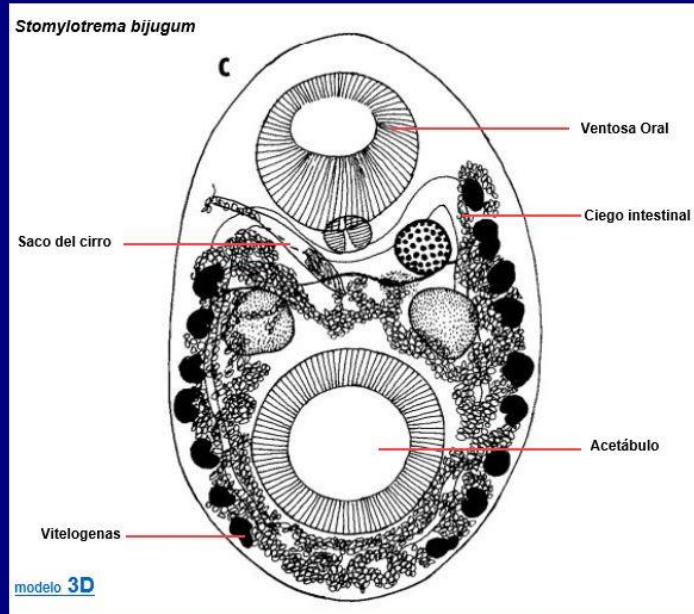
Como hospederos de helmintos, las aves poseen comunidades de parásitos de gran diversidad y riqueza, tal es el caso debido a una gran diversidad de factores, tal es el caso de *Jacana spinosa*.



Figura 12. Pantalla inicial de página web del catálogo de digeneos del aparato digestivo de *J. spinosa*.

DIGENEOS DE *Jacana spinosa*

DIGENEOS



Jacana

Inicio

Stomylotrema bijugum Braun, 1901.

Hospedero: *Jacana spinosa*

Localidad: Alvarado, Veracruz

Sitio de infección: Cloaca

Descripción: cuerpo ovalado 1509x876 μ de largo por ancho; ventosa oral subterminal 427 x 413 μ , respectivamente. Ventosa ventral post ecuatorial, ligeramente más grande que la ventosa ventral (441x471 μ). Faringe subglobular, 135x116 μ . Ciegos que se extienden más allá de la ventosa ventral, casi tocándose entre sí, ligeramente sobrelapados lateralmente con los testículos. Testículos en posición ecuatorial y pre-acetabular, 206-209x 197-214 μ . Bolsa del cirro 492 μ , recta y estrecha, anterior al testículo derecho. Ovario redondeado, 146x153 μ ; antiporal y próximo a la faringe. Glándulas vitelógenas con forma de riñón, 7 folículos porales y 9 antiporales que terminan más allá de la ventosa ventral. Las 7 porales comienzan pre acetabulares y las porales comienzan a la altura del ovario.

Esquema

Figura 13. Página web del catálogo virtual de digeneos de aparato digestivo de *J. spinosa*, mostrando la descripción, esquema y link al modelo tridimensional de *Stomylotrema bijugum*.



CONCLUSIONES

- Con la elaboración del catálogo tridimensional de especies de digeneos de *Jacana spinosa* se confirma la facilidad de acceso y manipulación segura de material biológico.
- Los modelos virtuales anclados a la página web elaborada junto con sus respectivas fichas informativas, se pretende funjan como una fuente información y consulta para estudiantes y científicos.
- El modelado virtual tridimensional de especies contribuye a salvaguardar el material depositado en colecciones científicas que integra la diversidad biológica.
- La diversidad de fuentes que se requieren para la elaboración del modelo y las condiciones del material físico, las cuales están estrechamente relacionadas con las técnicas para su recolección, tinción y montaje, fueron las principales limitantes encontradas en este trabajo para la realización modelos de gran precisión.
- *Stomylotrema bijugum* y *Wardianum facioi* se registran por primera vez parasitando aves de México.
- *Jacana spinosa* representa un nuevo hospedero para *Prosthogonimus folliculus*.
- El reestudio del material de *Leucochloridium varie* depositado en la CHNE nos permitió descartar la presencia de esta especie de la fauna helmintológica del país.
- Las características morfológicas del material citado anteriormente y el colectado para este estudio, no coinciden con las descritas para alguna de las especies registradas en la región neotropical, por lo que podrían representar una nueva especie.
- Se caracterizaron e identificaron nuevas especies de digeneos de *Jacana spinosa* de Alvarado, Veracruz.



LITERATURA CITADA

Amaya, H. (1990). *Estudio taxonómico de algunos trematodos y nematodos parásitos de aves de Teapa, Tabasco, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Brasil, M. de C., S. B. Amato & J. F. R. Amato. (1991). Revisão das espécies brasileiras do gênero *Leucochloridium* Carus, 1835, (Digenea, Leucochloridiidae). *Revista Brasileira de Biologia* 51: 537–543.

Braun, M. (1901). Ueber einige Trematoden der Creplin's schen helminthensammlung. *Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde. Abt. I, XXIX*, 258-260.

Brenes, R. & Arroyo, G. (1962). Helminths de la República de Costa Rica XX. *Revista de Biología Tropical*, 10, 205–227.

Brusca, R. C. & Brusca, G. J. (2005). Capítulo 10: Filo Platelminths. En *Invertebrados*. Brusca, R. C. y Brusca, G. J. (Eds.) España: McGraw-Hill. 309-345.

Caballero y Caballero, E. & Flores-Barroeta, L. (1952). Presencia de *Cyclocoelum mutabile* (zöder, 1800) Stossich, 1902 en las aves acuáticas de México. *Revista Ibérica de Parasitología*. 12. 297-300.

Campbell, N. & Reece, J. (2007). *Biología*. México: Médica Panamericana.

Dronen, N. O. & Blend, C. K. (2015). Updated keys to the genera in the subfamilies of Cyclocoelidae Stossich, 1902, including a reconsideration of species assignments, species keys and the proposal of a new genus in Szidatitreminae Dronen, 2007. *Zootaxa*, 4053. 1–100.

Dronen, N.O., Gardner, S.L., & Jiménez, F.A. (2006). *Haematotrephus limnodromi* n. sp. (Digenea: Cyclocoelidae) from the Long-billed dowitcher,



Limnodromus scolopaceus (Scolopacidae) from the central flyway of North America. *Zootaxa*, 1153, 51–61.

Farias, D. J. & Canaris, A. G. (1986). Gastrointestinal helminths of the Mexican duck *Anas platyrhynchos diazi* Ridgway, from North Central Mexico and Southwestern United States. *Journal of Wildlife Diseases*. 22. 51–54 pp.

Fernández, B. (1970). Nova espécie do gênero *Leucochloridium* Carus, 1835 (Trematoda, Leucochloridiidae). *Atas Sociedade de Biologia do Rio de Janeiro.*, 14, 7-8.

García-Más, I., Muñoz Araujo, B., Aguirre Inchaurre, A., Polo Roldán, I., García Moreno, A., & Refoyo Román, P. (2008). Reduca (Biología). Serie Parasitología. 1 (1):67-93. Manual de laboratorio de Parasitología 8. Introducción a los Helminths. Trematodos.

García-Prieto, L., Mendoza-Garfias, B., & Pérez-Ponce de León, G. (2014). Biodiversidad de Platyhelminthes parásitos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 164–170.

Guido, I. (2008). Observaciones del cuidado parental de *Jacana spinosa* (Aves: Jacanidae), en El Laguito, San Ramón, Alajuela. *Zeledonia* 12. 3641 pp.

Heneberg, H., Sitko, J & Bizo, J. (2015). Integrative taxonomy of central European parasitic flatworms of the family Prosthogonimidae Lühe, 1909 (Trematoda: Plagiorchiida). *Parasitology International* 64, 264–273.

Hernández-Rodríguez, A. (1995). *Taxonomía de tremátodos de aves en tres localidades del Estado de Veracruz, México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Jackson, E. L., & Lu, H. (2016). Three-dimensional models for studying development and disease: Moving on from organisms to organs-on-a-chip and organoids. *Integrative Biology*. 8. 672–683.



Jones, A. (2008). Family Prosthogonimidae Lühe, (1909). En *Keys to the Trematoda, Vol 3* (pp. 577-590). R. A. Bray, D. I. Gibson and A. Jones (Eds.). Londres: CAB International, Wallingford and The Natural History Museum. London.

Larios, I. (1943). Dos especies de trematodos encontrados en el aparato digestivo de aves acuáticas migratorias (1). *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.* 14, 499–506.

Lamothe-Argumedo, R. (1997). *Manual de técnicas para preparar y estudiar los parásitos de animales silvestres*. AGT Editores, Distrito Federal, México.

Larios-Rodríguez, I. (1942). Dos especies del género *Prosthogonimus* encontradas en los oviductos de aves anseriformes de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México,* 13, 111–121.

López-Jiménez, A., García-Varela, M. & Hernández-Orts, J. S. (2018). Review of five species of cyclocoelids (Digenea: Cyclocoelidae) from aquatic birds in Mexico with notes on their interspecific variation. *Systematic Parasitology,* 95, 921–942.

Lotz, J. M. & Font. W. F. (2008). Family Stomylotrematidae Poche, 1926. En *Keys to the Trematoda, Vol 3* (pp. 599–601). R. A. Bray, D. I. Gibson, and A. Jones (eds.). Londres: CAB International and Natural History Museum. London.

Macko, J. Špakulová, M. & Casanova, J. (1999). Morphology and taxonomy of *Stomylotrema* (Digenea: Stomylotrematidae) representatives from ciconiiform and podicipediform birds in Cuba. *Folia Parasitologica.* 46. 185–190.

Macy, R. W. (1934). *Prosthogonimus macrorchis* n. sp., the common oviduct fluke of domestic fowls in the northern United States. *Transactions of the American Microscopical Society.* 53, 30–34.

Macy, R. W. (1965). On the life cycle of the trematode *Prosthogonimus cuneatus* (Rudolphi, 1809) (Plagiorchiidae) in Egypt. *Transactions of the American Microscopical Society.* 84,577–580.



McIntosh, A. (1932). Some new species of trematode worms of the genus *Leucochloridium* Carus, parasitic in birds from northern Michigan, with a key and notes on other species of the genus. *Journal of Parasitology*, 19. 32–53.

Melón, J. M. V., & Miranda, Á. R. (2011). Características básicas de los modelos tridimensionales de elementos históricos. *Revista. Ph*, 77, 145–148.

Orozco-Flores, A. (2000). *Algunos tremátodos y céstodos de tres especies de cercetas en dos localidades del Estado de México*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.

Page, L. M., MacFadden, B. J., Fortes, J. A., Soltis, P. S. & Riccardi, G. (2015). Digitization of biodiversity collections reveals biggest data on biodiversity. *BioScience*, 65. 841–842.

Pérez-Ponce, G., García-Prieto, L. & Mendoza-Garfias, B. (2011). Describing parasite biodiversity: the case of the helminth fauna of wildlife vertebrates in Mexico. En Grillo, O. y Venora, G. (Eds.) *Changing diversity in changing environment* (pp. 33-54). Londres: InTechOpen.

Pinto, H. A., S. P. D. Cantanhede, S. C. Thiengo, A. L. de Melo & M. A. Fernández. (2015). The apple snail *Pomacea maculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae) as the intermediate host of *Stomylotrema gratiosus* (Trematoda: Stomylotrematidae) in Brazil: the first report of a mollusc host of a stomylotrematid trematode. *Journal of Parasitology*, 101. 134–139.

Quintanilla, G. (2007). Reservorios electrónicos en la e-educación. *Revista Digital Universitaria*. Recuperado de <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num8/art66/int66.htm>

Ramírez-Cañas, S. A., M. George-Nascimento, García-Prieto, L & R. Mata-López. (2019). Helminth community structure of the Gray four-eyed opossum *Philander opossum* (Mammalia: Didelphidae) in the Neotropical portion of Mexico. *Journal of Parasitology*. 104. 624–629.



Reid, W. & Freeman, A. (1936). A New Fluke *Prosthogonimus folliculus* n. sp. (Trematoda) from the American Bittern. Transactions of the American Microscopical Society. 55. 366–368.

Schulenberg, T. S. (2018). Northern Jacana (*Jacana spinosa*), In Neotropical Birds Online. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. Recuperado el 27 de agosto, 2019 de: <https://neotropical.birds.cornell.edu/Species-Account/nb/species/norjac>

Simmons, J. & Muñoz-Saba, Y., (2005). Tipos de Colecciones. Ed. Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Teo, B Sarinder, K & Lim, L. (2010). A novel alternative method for 3D visualization in parasitology: the construction of a 3D model of a parasite from 2D illustrations. Tropical Biomedicine. 27, 254–64.

Teo, B. & Dhillon, S. (2019). An automated 3D modeling pipeline for constructing 3D models of MONOGENEAN HARDPART using machine learning techniques. BMC Bioinformatics, 20, 1–658.

Travassos, L. (1922). Notas helminthológicas. Brazil Médico. 36. 256-257.

Violante-González, J., Pulido-Flores, G., Monks, S., Rojas-Herrera, A., Melo-García, M.A., García-Ibáñez, S., Esparza-Ibarra, E., Larumbe-Morán, E. & Carbajal-Violante, J. (2015). Importancia de las aves ictiófagas como hospederos finales de helmintos, en dos lagunas costeras del estado de Guerrero, México. *Estudios en Biodiversidad*. 1. 104–119 pp.

