



KUXULKAB'

-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

Volumen 26

Número 54

Enero-Abril 2020

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica de Ciencias Biológicas





**RESGUARDO, PROTECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE ESPECIES ENDÉMICAS EN LAS INSTALACIONES DE LA DACBioI:
CASO DE MANATÍ (*Trichechus manatus*).**
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Rafael Sánchez Gutiérrez (Coordinación de Difusión Cultural y Extensión de la DACBioI).



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

DIRECTORIO

Dr. José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Dra. Dora María Frías Márquez
Secretaria de Servicios Académicos

M. en C. Raúl Guzmán León
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

M. en A. Rubicel Cruz Romero
Secretario de Servicios Administrativos

L.C.P. Elena Ocaña Rodríguez
Secretaria de Finanzas

Dr. Arturo Garrido Mora
Director de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez
Coordinador de Investigación y Posgrado, DACBIOL-UJAT

M. en A. Arturo Enrique Sánchez Maglioni
Coordinador Administrativo, DACBIOL-UJAT

Dr. Raúl Germán Bautista Margulis
Coordinador de Docencia, DACBIOL-UJAT

M.C.A. Yessenia Sánchez Alcudia
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBIOL-UJAT

COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina (†)
Editor fundador

M. en C. Rosa Amanda Florido Araujo
Editor en jefe

Dra. Carolina Zequeira Larios
Dra. María Elena Macías Valadez Treviño
Editores asociados

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Gestor editorial

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña
L.D.C. Rafael Sánchez Gutiérrez
Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez
Corrector de pruebas

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Lic. Ydania del Carmen Rosado López
Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez (†)
Diseñadores

Ing. Armando Hernández Triano
Soporte técnico institucional

Dra. María Elena Macías Valadez Treviño
M.Arq.; M.A.C. Marcela Zurita Macías Valadez
Traductoras

Est. Biól. Gloria Cecilia Arecha Soler
Biól. José Francisco Juárez López
Apoyo técnico

CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Julieta Norma Fierro Gossman
Instituto de Astronomía, UNAM - México

Dra. Tania Escalante Espinosa
Facultad de Ciencias, UNAM - México

Dr. Ramón Mariaca Méndez
El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR San Cristóbal, Chiapas - México

M. en C. Mirna Cecilia Villanueva Guevara
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco - México

Dr. Julián Monge Nájera
Universidad Estatal a Distancia (UNED) - Costa Rica

Dr. Jesús María San Martín Toro
Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés, así como también imágenes caricaturescas.

KUXULKAB' se encuentra disponible electrónicamente y en acceso abierto:



Revistas Universitarias (www.revistas.ujat.mx)

Portal electrónico de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



Repositorio Institucional (<http://ri.ujat.mx>)

Plataforma digital desarrollado con el aval del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se cuenta con un acervo académico, científico, tecnológico y de innovación de la UJAT.



Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (www.latindex.ppl.unam.mx)

Red de instituciones que reúnen y diseminan información sobre las publicaciones científicas seriadas producidas en Iberoamérica.



PERIÓDICA (<http://periodica.unam.mx>)

Base de datos bibliográfica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con registros bibliográficos publicados América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



Nuestra portada:

La investigación y uso de nuevas herramientas en el sureste de México.

Diseño de:

Fernando Rodríguez Quevedo; División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

Fotografías de:

Imágenes de cortesía y obtenidas de los manuscritos publicados en este número.

KUXULKAB', año 26, No. 54, enero-abril 2020; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <http://www.revistas.ujat.mx>; kuxulkab@ujat.mx. Editor responsable: Rosa Amanda Florido Araujo. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 13 de enero del 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBIOL y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Editorial

Estimados lectores:

Con mucho orgullo, nos es grato presentar este primer número del año 2020 de *Kuxulkab'* a la comunidad estudiantil universitaria y público en general. Éste se encuentra organizado con cinco aportaciones relacionadas al uso de nuevas herramientas para el estudio de flora, fauna, así como de la relación ambiente-sociedad. Por otro lado, el establecimiento de una colección biológica, requiere periódicas evaluaciones donde se puedan establecer fortalezas y debilidades, con el objetivo de contar con un adecuado manejo de información.

A continuación brindamos un corto resumen de cada una de las aportaciones que conforman esta publicación:

«**Representaciones socioambientales periurbanas**»; escrito donde se discuten los alcances y límites de los diversos enfoques que describen las diferencias entre urbes centrales y periferias rurales con relación a los recursos y servicios públicos.

«**Estado de salud de las colecciones biológicas: estudio de caso «Colección Zoológica Regional Aves», Chiapas, México**»; determinar el estado de una colección permite detectar actividades necesarias para contar con ejemplares correctamente identificados, curados y con su información completa, lo que constituye el punto de partida para diversos estudios.

«**Proyecciones de cambio climático para la zona centro de Villahermosa, Tabasco**»; aquí se muestra el resultado del análisis de proyecciones de temperatura máxima en un punto específico de Villahermosa, empleando un escenario de trayectorias de concentración representativa (RCP, por sus siglas en inglés).

«**'Eramos muchos y parió la mona': dieta de 'Alouatta pigra' en condiciones de fragmentación en Balancán, Tabasco**»; documento donde se describe la evaluación realizada sobre la adaptación y alimentación de esta especie en un hábitat fragmentado.

«**Los espermatozoides de los peces**»; el desarrollar protocolos respecto al estudio del ciclo celular en mitosis y meiosis, ayudarán a comprender aspectos del desarrollo espermático de los peces que aún continúan como incógnitos de interés en la ciencia básica y la aplicada.

Este número es un esfuerzo en conjunto con los autores, evaluadores, editores asociados, gestor editorial, diseñadores y soporte técnico institucional. Agradecemos a cada uno de ellos su valioso apoyo y el entusiasmo de colaborar para la divulgación de la ciencia con estándares de calidad en esta casa de estudios.

Arturo Garrido Mora
DIRECTOR DE LA DACBIOL-UJAT

Rosa Amanda Florido Arayo
EDITOR EN JEFE DE KUXULKAB'

Contenido

REPRESENTACIONES SOCIOAMBIENTALES PERIURBANAS 05-12

PERI-URBAN SOCIO-ENVIRONMENTAL REPRESENTATIONS

Héctor Daniel Molina Ruíz, Enrique Martínez Muñoz, José Marcos Bustos Aguayo, Margarita Juárez Nájera & Cruz García Lirios

ESTADO DE SALUD DE LAS COLECCIONES BIOLÓGICAS: ESTUDIO DE CASO «COLECCIÓN ZOOLOGICA REGIONAL AVES», CHIAPAS, MÉXICO 13-20

HEALTH STATUS OF BIOLOGICAL COLLECTIONS: CASE OF STUDY «COLECCIÓN ZOOLOGICA REGIONAL AVES», CHIAPAS, MEXICO

Marco Antonio Altamirano-González Ortega & Alejandra Riechers Pérez

PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA ZONA CENTRO DE VILLAHERMOSA, TABASCO 21-26

CLIMATE CHANGE PROJECTIONS FOR THE CENTER AREA IN VILLAHERMOSA, TABASCO

Cesar Manuel Zapata Aguilar, Mercedes Andrade Velázquez & Arturo Valdés Manzanilla

«ÉRAMOS MUCHOS Y PARIÓ LA MONA»: DIETA DE *Alouatta pigra* EN CONDICIONES DE FRAGMENTACIÓN EN BALANCÁN, TABASCO 27-39

«WE WERE TOO MANY AND THE MONKEY GAVE BIRTH»: *Alouatta pigra* DIET IN FRAGMENTATION CONDITIONS IN BALANCÁN, TABASCO

Dolores Hernández Rodríguez & Juan Carlos Serio Silva

LOS ESPERMATOZOIDES DE LOS PECES 41-49

FISH SPERM

Adriana Osorio Pérez & Lenin Arias Rodríguez



LOS ESPERMATOZOIDES DE LOS PECES

FISH SPERM

Adriana Osorio Pérez^{1✉} & Lenin Arias Rodríguez²

¹Bióloga por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); actualmente estudiante de la Maestría en Ciencias Ambientales en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología-UJAT). Sus temas de interés son la fisiología reproductiva, así como el profundo desarrollo embrionario de los peces nativos, principalmente, el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). ²Biólogo por la UJAT; Maestro en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD); Doctor en Biociencias Marinas por la Universidad de Hokkaido, Japón. Profesor-investigador de la DACBiología-UJAT, con interés en la investigación de aspectos de genética básica, fisiología, comportamiento y reproducción de organismos acuáticos y terrestres de Tabasco en México.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86039; Villahermosa, Tabasco; México.

✉ adrianaosorioperez@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-8025-5569

Como referenciar:

Osorio Pérez, A. & Arias Rodríguez, L. (2020). Los espermatozoides de los peces. *Kuxulkab'*, 26(54): 41-49, enero-abril. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a26n54.2942>

Disponible en:

<http://www.revistas.ujat.mx>

<http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a26n54.2942>

Resumen

El conocimiento sobre los espermatozoides en peces sigue siendo un tema de amplio interés para varias áreas de ciencia básica y aplicada, en la que está implicado el desarrollo de las células espermáticas desde la espermatogonia hasta el espermatozoide maduro. Los estadios del desarrollo, que experimentan las espermatogonias hasta diferenciarse en espermatozoides maduros, también implican durante la meiosis I y meiosis II, aspectos de tipo genético que están vinculados a la recombinación y la diversidad genética de las poblaciones naturales. El origen de poblaciones de células espermáticas poliploides, están ligadas a disfunciones durante la meiosis. Es por ello que es importante conocer detalladamente todas las etapas del ciclo celular en mitosis y meiosis que conllevan a desarrollar gametos normales o anormales. El desarrollo de protocolos novedosos, ayudaran en un futuro cercano a comprender varios aspectos del desarrollo espermático de los peces que aún continúan como una incógnita de interés en ciencia básica y aplicada.

Palabras clave: Espermatozoides; Peces; Desarrollo; Meiosis.

Abstract

Knowledge on sperm in fish remains a topic of wide interest for several areas of basic and applied science, in which the development of sperm cells from spermatogonium to mature sperm is involved. The development stages which spermatogonias experience until differentiated into mature sperm cells, also involve during meiosis I and meiosis II, aspects of a genetic type that are linked to the recombination and genetic diversity of natural populations. The origin of populations of polyploid sperm cells, are linked to dysfunctions during meiosis. It is therefore important to know in detail all the stages of the cell cycle in mitosis and meiosis that lead to the development of normal or abnormal gametes. The development of novel protocols will help in the near future to understand several aspects of the sperm development of fish that still continue as an unknown topic of interest in basic and applied science.

Keywords: Sperm; Fish; Development; Meiosis.

Los peces, organismos acuáticos de orígenes diversos como son los dulceacuícolas, marinos, estuarinos, de aguas sulfurosas, cavernícolas, etcétera, suman una gran cantidad de especies (Nelson, Grande & Wilson, 2006), con componentes y estructuras reproductivas únicas; en algunos casos compartidos entre especies y entre grupos taxonómicos cercanos como los anfibios y reptiles (Jamieson, 1991).

La reproducción, es un mecanismo de propagación que confiere la capacidad de reclutamiento y en consecuencia la perpetuidad de las especies a lo largo del tiempo y espacio. Además de que, mediante ella, es posible evidenciar la formación de nuevas especies, por hibridación y aislamiento reproductivo (Arias-Rodríguez, 2007; Arias-Rodríguez, Yasui & Arai, 2009a; Arias-Rodríguez, Morishima & Arai, 2009b; Arias-Rodríguez, Yasui, Kusuda & Arai, 2010). En los peces, la reproducción se puede dar de modo interno y externo, en el primer modo se requiere de un órgano accesorio llamado gonopodio, que está presente solo en un reducido grupo de especies como son los poecilidos (López-Hernández, Osorio-Pérez, Jiménez-Félix, Páramo-Delgadillo, Márquez-Couturier, Yasui & Arias-Rodríguez, 2018); y en el caso de la reproducción externa la región papilar forma parte, no solo del aparato urinario pero además del reproductivo; separados ambos por orificios independientes que evitan la mezcla de la orina con el líquido seminal, lo que favorece mayores porcentajes de fertilización (López-Hernández *et al.*, 2018).

Los gametos de las hembras u óvulos y los espermatozoides de los machos, juegan un papel importante para que la reproducción pueda concretarse en un fenómeno llamado fecundación, con lo cual se logra la formación de un individuo que, a través de una serie de estadios del desarrollo embrionario, logra emerger en forma de larva con todas las características para desarrollarse hasta adulto en el entorno y hábitat que le concedieron los progenitores (Arias-Rodríguez, 2007).

En dicho sentido, en este documento se refiere exclusivamente a todo aquello concerniente a las células espermáticas de los peces, su origen, estructura, función, tipos, así como a todas aquellas particularidades y aplicaciones que actualmente se practican sobre los espermatozoides de los peces.

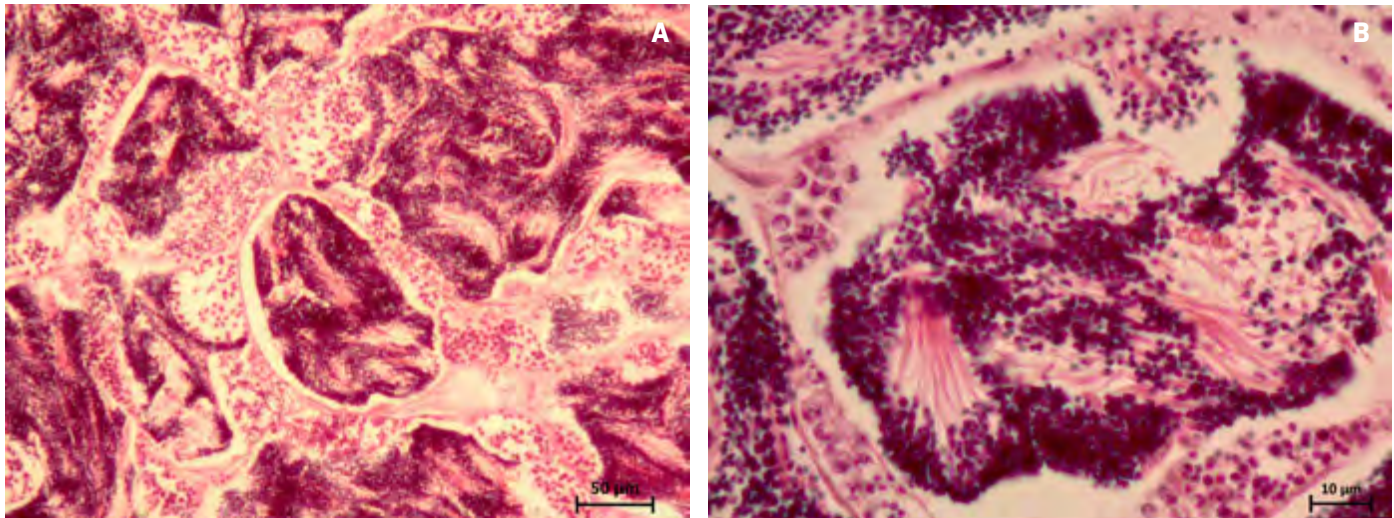
Los espermatozoides

En los peces, como en la mayoría de los organismos de reproducción sexual, los espermatozoides se desarrollan en los testículos o gónada del macho (fotografía 1). Las células espermáticas, poseen dos funciones importantes como es activar el ovocito y transmitir el complemento haploide del material genético (Kunz-Ramsay, 2004; Prakash, Prithiviraj, Suresh, Lakshmi, Ganesh, Anuradha, Ganesh & Dinesh, 2014) que es requerido durante la fecundación.

Entre los tipos de células, en el reino animal, los espermatozoides son las células más diversas, morfológica, fisiológica y funcionalmente, pues están diseñados de acuerdo a la estrategia reproductiva de cada especie, asimismo, también están correlacionados con la morfología y fisiología del huevo (Byrne, Simmons & Roberts, 2003).

«El mejoramiento genético de los peces a través de la fertilización artificial (selección de cruza y manejo cromosómico), ha permitido comprender los mecanismos de entrecruzamiento y recombinación genética durante la meiosis y de sus implicaciones para el fijado de genes de interés en acuicultura»

Arias-Rodríguez & Paramo-Delgadillo (2000, 2001)
Yoshikawa *et al.* (2008)



Fotografía 1. Corte histológico de uno de los testículos de un macho adulto del pejelagarto tropical (*A. tropicus*), mostrando la diversidad celular del panorama del desarrollo gonádico durante la espermatogénesis a 12.5X (A) y 50X (B).

La formación del espermatozoide consta de un proceso altamente organizado, denominado espermatogénesis, que se da a través de una serie de divisiones celulares de tipo meiótico, donde se reduce el número cromosómico a condición haploide. También, se citodiferencian y capacitan para llevar a cabo la activación y consecuentemente la fecundación del ovocito (Jamieson, 1991; Tabares, Tarazona & Olivera, 2005).

En los testículos, las divisiones celulares en meiosis, constan de cuatro fases (figura 1), en la primera fase proliferativa o espermatogónica, las células primordiales o germinales, se dividen constantemente por mitosis, dando como resultado células germinales diploides (espermatogonias tipo A). En esta fase, las células germinales o espermatogonias tipo A, continuarán con el ciclo celular mitótico típico que dará origen a espermatogonias tipo A y B.

Posteriormente, en la segunda fase de espermatocitogénesis o meiótica (o fase de maduración), las espermatogonias tipo B, tendrán la facultad de crecer y transfigurarse en espermatocitos diploides de primer orden, que podrán migrar a los compartimentos adluminales de los túbulos seminíferos antes de iniciar la primera división meiótica. Durante la meiosis I, los espermatocitos diploides de primer orden (espermatocitos primarios I), estarán sujetos en la profase I a un lapso de recombinación genética, entre cromátidas no hermanas, que dará origen al final del ciclo a dos espermatocitos secundarios (espermatocitos II) haploides, constituidos por dos células con contenido haploide de cromosomas bivalentes (o con dos cromátidas hermanas), siendo una de tales cromátidas recombinante y otra no recombinante resultado de la profase I (Arias-Rodríguez, 2007; Arias-Rodríguez *et al.*, 2009a, 2009b).

Posteriormente, durante la tercera fase correspondiente a la meiosis II, los dos espermatocitos secundarios, continuarán con el ciclo celular, sin replicación del ácido desoxirribonucleico (ADN) durante la interfase, dando origen al final del ciclo a cuatro espermátidas (dos por cada espermatocito secundario) haploides con cromátidas univalentes; de tales espermátidas dos tendrán cromátidas recombinantes y dos serán no recombinantes (figura 2).

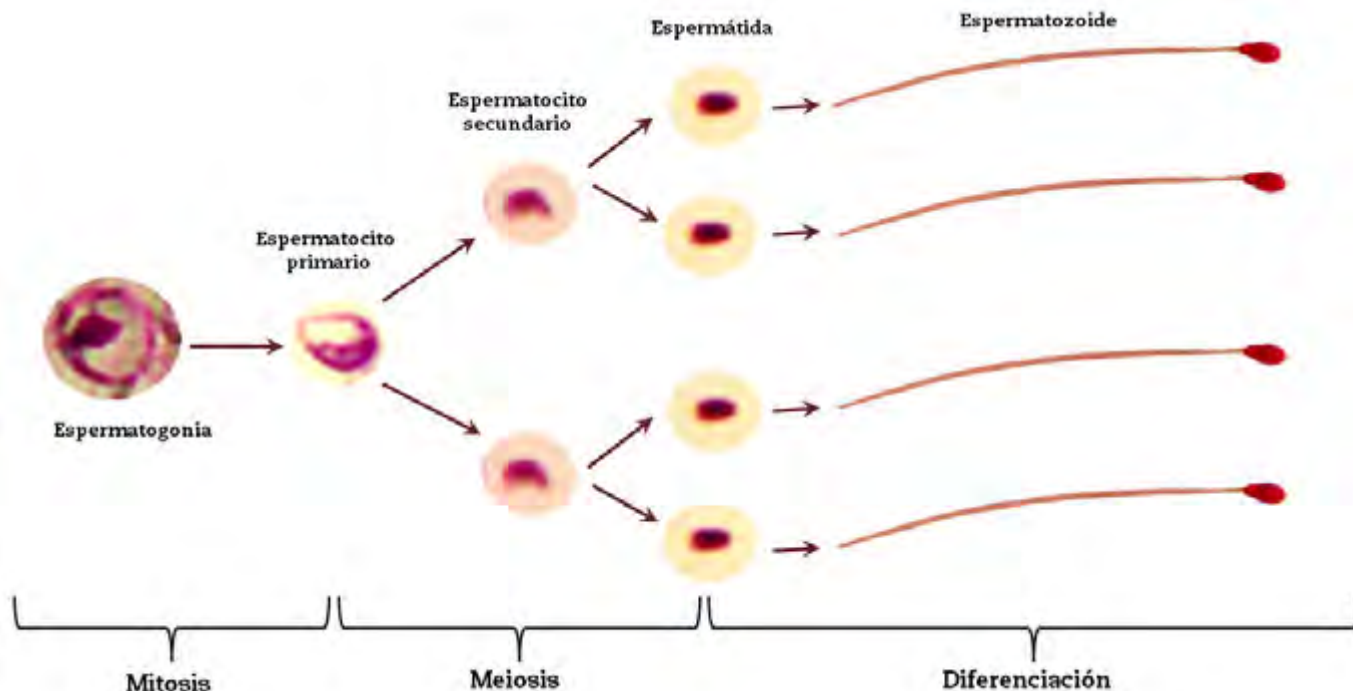


Figura 1. Microfotografías por microscopía óptica que describen los estadios básicos de la espermatogénesis del pejelagarto tropical (*A. tropicus*).

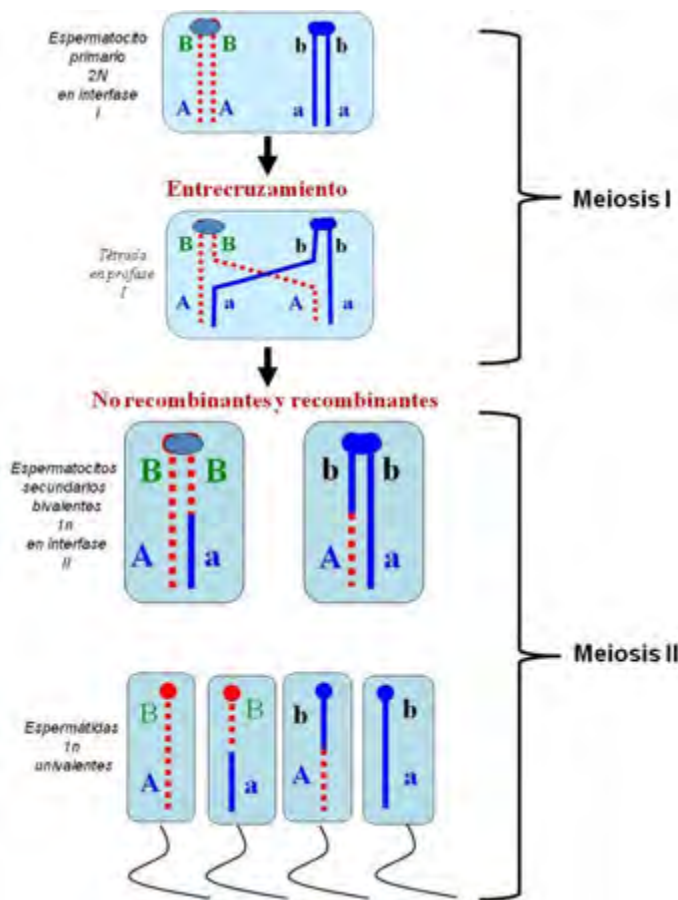


Figura 2. Fases trascendentes del ciclo celular en meiosis I y II, durante la espermatogénesis en peces y sus implicaciones en la recombinación y diversidad genética (modelo basado en Arias-Rodríguez *et al.*, 2009a).

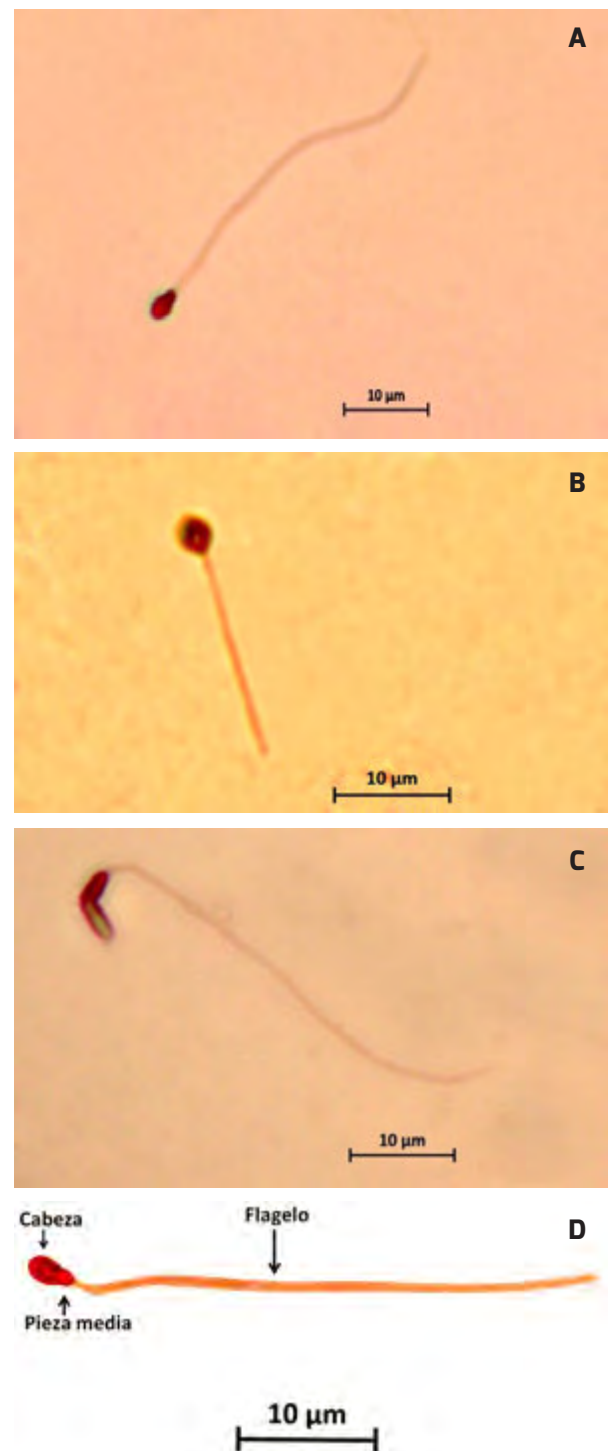
La última y cuarta fase en la formación de los espermatozoides es la espermiogénesis o también llamada espermiogénesis, en ella las espermátidas haploides se citodiferencian, es decir, obtienen la forma típica de los espermatozoides de cada especie (Tabares *et al.*, 2005; Mañanós, Duncan & Mylonas, 2008). Para que la citodiferenciación se lleve a cabo, el núcleo de las espermátidas se organiza y compacta (se hace pequeño) por acción de protaminas que empaquetan el ADN en dependencia del tipo de especie, en simple (núcleo ovoide y electrodens) o complejo (núcleo no ovoide y a veces con cromátina en forma de vesículas) y este puede estar en posición central o distal (Jamieson, 1991).

En algunas especies de peces, como los esturiones, se ha reportado la presencia de una estructura formada por un lisosoma que es llamada acrosoma, esta se posiciona sobre el extremo apical de la cabeza espermática, generalmente su función es favorecer la entrada intracitoplasmática del pronúcleo espermático mediante la acción de una enzima (hialuronidasa) que degrada la membrana del ovocito, en varias especies de peces esta función es innecesaria debido a la presencia del canal micropilar que favorece la entrada del pronúcleo espermático (Jamieson, 1991).

Por otro lado, el flagelo se origina del centriolo distal que se organiza en un cilindro constituido por nueve microtúbulos que rodean dos microtúbulos centrales (9+2) y este durante la rotación se ubica en la base de la cabeza espermática. Como en la mayoría de los vertebrados, en los peces también, el flagelo está constituido por la pieza media, la pieza principal y la pieza final en forma de gancho (Jamieson, 1991; Mañanós *et al.*, 2008).

Finalmente, los espermatozoides maduros y capacitados para la fertilización, se caracterizan por una cabeza que tiene el núcleo (ADN), la pieza media (mitocondrias) y el flagelo (microtúbulos para la motilidad), dichos espermatozoides están completamente formados y contenidos en los testículos, listos para ser eyaculados, de los túbulos seminíferos durante la espermiación (Jamieson, 1991). En los túbulos seminíferos, los espermatozoides obtienen la capacidad fertilizante, que consiste en la preparación del espermatozoide para responder al choque osmótico del medio externo (maduración), (Miura & Miura, 2003).

Dependiendo de la estrategia reproductiva de cada especie, los espermatozoides se enfrentan a tres tipos de medio: dulceacuícola, salobre (fertilización externa) o fluido ovárico (fertilización interna), cuando los espermatozoides son expuestos a dicho medio, se activan y cuentan con un periodo relativamente corto de vida, por lo tanto, la agilidad motil en conjunto con la integridad estructural de la célula, son fundamentales para el éxito fecundativo (Osorio, 2017).



Fotografía 2. Microfotografías por microscopía óptica a 500 aumentos de los acuaespermatozoides anacrosomales uniflagelados del pejelagarto tropical (*Atractosteus tropicus*) (A) y de la mojarra del Nilo (*Oreochromis niloticus*) (B). El intraespermatozoide anacrosomal uniflagelado del guppy (*Poecilia reticulata*) (C) y un espermatozoide de '*A. tropicus*', mostrando la cabeza, pieza media y el flagelo (D).

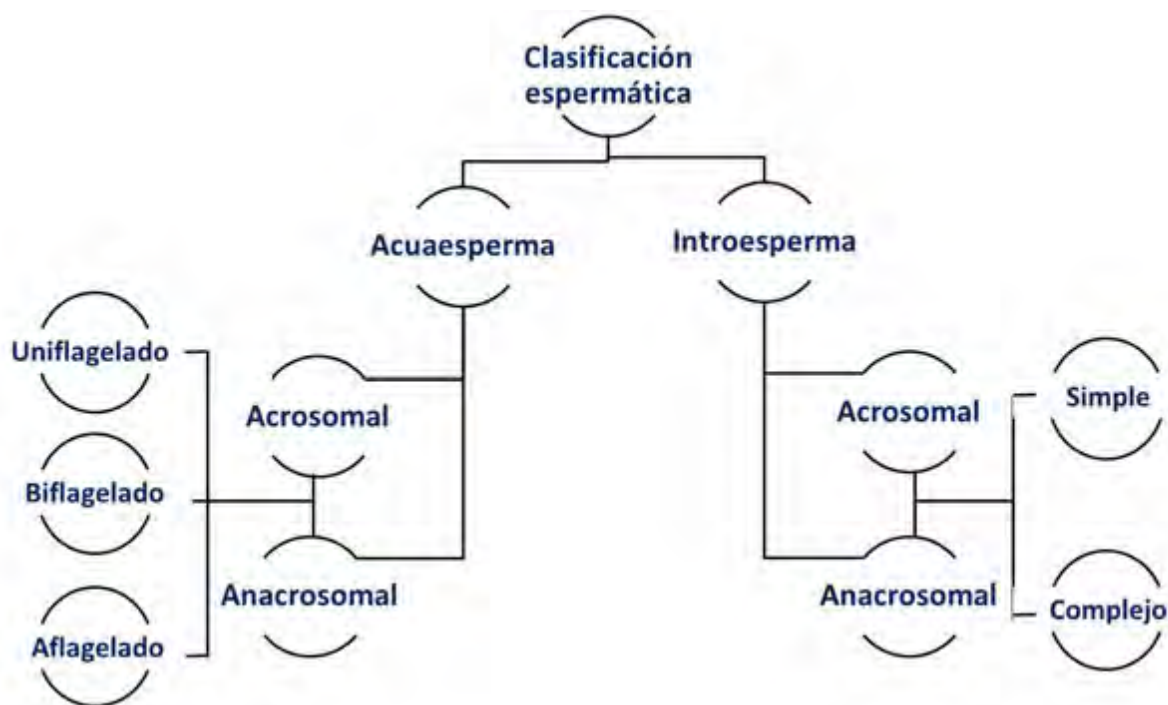


Figura 3. Clasificación de los espermatozoides en peces de acuerdo al tipo de fecundación y composición estructural de la célula espermática; (adaptado del texto original de Jamieson, 1991).

Morfología espermática

Existen alrededor de 54,711 especies de peces (Nelson *et al.*, 2016), cada una con un tipo espermático único, a diferencia de los mamíferos; por ello es complicado elaborar un modelo espermático representativo, incluso en especies estrechamente relacionadas (Islam & Akhter, 2011) y aunque pondrían compartir similitudes estructurales, estas siempre varían en forma, tamaño y posición.

Es posible que la gran diversidad morfológica y fisiológica, de los gametos se deba a la presión que ejerce la selección natural, pero las presiones que impulsan la evolución de los espermatozoides permanecen desconocidas (Byrne *et al.*, 2003). Cada una de las características de la célula gamética, obedece a un estímulo externo; una de las particularidades que ha promovido la diversidad de los espermatozoides, es la adaptación a los diversos ambientes donde se lleva a cabo la fecundación y la competencia espermática (Prakash *et al.*, 2014).

La estructura típica de los espermatozoides, consiste de una cabeza, una pieza media y un flagelo (fotografía 2); siendo la cabeza la responsable de resguardar el material genético del macho en condición haploide, de activar el ovocito para desencadenar el desarrollo del embrión de acuerdo a la especie; esta varía en forma/tamaño.

En la mayoría de los teleósteos el espermatozoide es ausente de acrosoma debido a la presencia del micrópilo en el huevo (Jamieson, 1991; Zohar & Mylonas, 2001; Islam & Akhter, 2011). La pieza media constituida principalmente de mitocondrias, es la maquinaria encargada de suministrar la energía en forma de adenosín trifosfato (ATP) para el movimiento flagelar, a diferencia de otros vertebrados, la pieza media está provista de un canal citoplasmático, del cual su función es poco precisa (Jamieson, 1991).

El flagelo es el aparato motil de la célula, responsable de alcanzar el huevo y de impulsar la cabeza a través del canal micropilar (Jamieson, 1991).

En algunas especies, el flagelo de los espermatozoides, se caracterizan por poseer aletas flagelares, que son dos estructuras membranosas que recubren el flagelo confiriéndole vista encintada, que de acuerdo a Tabares y colaboradores (2005) es una adaptación evolutiva que les permite desplazarse con facilidad en el medio acuoso. En otros casos, como los espermatozoides de los peces elefantes, pertenecientes a la familia Mormyroidei, los espermatozoides no presentan flagelo y su única forma de locomoción en el medio acuático posiblemente sea de tipo ameboideo (Jamieson, 1991).

Basado en la descripción morfológica de los espermatozoides de numerosas especies y por el tipo de fertilización, estos se han clasificado en varias categorías en acuerdo con Jamieson, (1991). Por lo que es posible encontrar acuespermas e introespermas, en el primer caso, la reproducción es de tipo externa y en el segundo interna mediante un órgano accesorio como es el gonopodio de los poecilidos (figura 3).

Conclusiones y perspectivas

El conocimiento de la fisiología, morfología y genética de todos los eventos a lo largo del ciclo celular en meiosis, que conducen al desarrollo, formación y diferenciación de los espermatozoides en peces, mediante el empleo de equipos y herramientas de alta resolución (López-Hernandez *et al.*, 2018), han permitido comprender a través de experimentos de hibridación por ejemplo en el dojo (*Misgurnus anguillicaudatus*), que hay mecanismos atípicos durante la meiosis que conducen a la formación de gametos aneuploides y poliploides (2n, 4n, etcétera) y que están dando respuesta al origen de poblaciones naturales de peces ginogenéticos, triploides y tetraploides (Arias- Rodríguez *et al.*, 2009a, 2009b, 2010); además por evaluación de peces silvestres como en el caso del bagre tropical (*Rhamdia laticauda*) nativo de Tabasco, en México, la presencia de espermatozoides con contenido atípico como son 2n y 4n (López, 2017) podrían estar dando cabida a suponer la presencia de poblaciones poliploides de la especie o bien de hibridación natural.

El empleo de los espermatozoides, para la producción masiva de larvas de peces nativos, es una realidad gracias al conocimiento profundo de la fisiología reproductiva y de la microestructura espermática (López, 2017; Osorio, 2017). Con el desarrollo de Soluciones Reguladoras de la Actividad Espermática (SRVE), ha sido posible el empleo del semen para experimentos '*in vitro*' con el fin de desarrollar protocolos de conservación temporal (Jiménez, 2019), criopreservación del esperma (Yasui, Arias-Rodríguez, Fujimoto & Arai, 2009) y sobre el conocimiento de los efectos de la osmolaridad sobre la sobrevivencia espermática (Jiménez, 2016) con vistas a esquematizar los efectos del cambio climático por la salinización de los cuerpos de agua dulceacuícolas.

El mejoramiento genético de los peces mediante fertilización artificial por cruza selectivas y de manipulación cromosómica, ha permitido comprender los mecanismos de entrecruzamiento y recombinación genética durante la meiosis en peces y de sus implicaciones para el fijado de genes de interés en acuicultura y ciencia básica (Arias-Rodríguez & Paramo-Delgadillo, 2000, 2001; Yoshikawa, Morishima, Fujimoto, Arias-Rodríguez, Yamaha & Arai, 2008).

Con el desarrollo de técnicas de micromanipulación espermática y de los ovocitos, junto con el empleo de tinciones especiales y herramientas de biología molecular, será posible dar seguimiento real y detallado sobre las implicaciones del pronúcleo espermático sobre el desarrollo y la regulación genética durante los primeros estadios del desarrollo embrionario de los peces. Asimismo, la de incentivar experimentos de microtransferencia de núcleos haploides en células somáticas y de sus implicaciones sobre el desarrollo celular a nivel mitótico.

El origen de varias de las microestructuras básicas, durante el desarrollo de las células espermáticas y de aquellas vinculadas con los ovocitos durante la fertilización en los peces, siguen siendo hasta la fecha una incógnita que se espera en el futuro cercano se logren dilucidar con el desarrollo de protocolos de cultivo de células gaméticas "*in vitro*".

Referencias

- Arias-Rodriguez, L. & Páramo-Delgadillo, S.** (2000). Biotecnología cromosómica en peces: producción de peces triploides. *Kuxulkab' revista de divulgación*, 5(11): 8-11. Recuperado de «<https://leninariasrodriguez.webs.com/PUBLICACIONES/Biotecnologia%20I.pdf>»
- Arias-Rodriguez, L. & Páramo-Delgadillo, S.** (2001). Biotecnología cromosómica en peces: producción de peces ginogenéticos, androgenéticos y clones. *Kuxulkab' revista de divulgación*, 6(12): 1-11. Recuperado de «<https://leninariasrodriguez.webs.com/PUBLICACIONES/BIOTECNOLOGIA%20CROMOSOMICA%20EN%20PECES-II.pdf>»
- Arias-Rodriguez, L.** (2007). *Genetic differentiation of Japanese 'Misgurnus' loach inferred from microsatellite variation, marker-centromere map and reproduction of hybrids between two populations*; (PhD tesis). Hokkaido, Japan: Hokkaido University.
- Arias-Rodriguez, L.; Yasui, G.S. & Arai, K.** (2009a). Disruption of normal meiosis in artificial inter-populational hybrid females of '*Misgurnus loach*'. *Genetica*, 136(1): 49-56. DOI «<https://doi.org/10.1007/s10709-008-9299-x>»
- Arias-Rodriguez, L.; Yasui, G.S.; Kusuda, S. & Arai, K.** (2010). Reproductive and genetic capacity of spermatozoa of inter-populational hybrid males in the loach, '*Misgurnus anguillicaudatus*'. *Journal Applied Ichthyology*, 26(5): 653-658. DOI «<https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01534.x>»
- Arias-Rodriguez, L.; Morishima, K. & Arai, K.** (2009b). Inter-populational difference in microsatellite-centromere map distances in the loach, '*Misgurnus anguillicaudatus*'. *Ichthyological Research*, 56(2): 126-132. DOI «<https://doi.org/10.1007/s10228-008-0077-7>»
- Byrne, P.G.; Simmons, L.W. & Roberts, J.D.** (2003). Sperm competition and the evolution of gamete morphology in frogs. *Proceedings of the Royal Society*, 270(1528): 2079-2086. DOI «<https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2433>»
- Islam, M.S. & Akhter, T.** (2011). Tale of fish sperm and factors affecting sperm motility: a review. *Advances in Life Sciences*, 1(1): 11-19. DOI «<https://doi.org/10.5923/j.als.20110101.03>»
- Jamieson, B.G.M.** (1991). Fish evolution and systematics: evidence from spermatozoa. With a survey of lophophorate, echinoderm and protochordate sperm and an account of gamete cryopreservation. Cambridge University Press (Book review by Gerhard Haszprunar). *Journal of Evolutionary Biology*, 5(4): 721-723. DOI «<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1420-9101.1992.5040721.x>»
- Jiménez Félix, S.A.** (2019). *Conservación temporal del esperma del juil tropical 'Rhamdia laticauda' (Pisces: Heptapteridae)*; (Tesis de Licenciatura en Biología). Villahermosa, Tabasco; México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
- Jiménez Trinidad, A.** (2016). *La osmolaridad y sus efectos en la vitalidad espermática del bagre tropical 'Rhamdia laticauda' (Pisces: Heptapteridae)*; (Tesis de Licenciatura en Biología). Villahermosa, Tabasco; México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
- Kunz-Ramsay, Y.** (2004). *Developmental biology of teleost fishes*; (Fish & Fisheries Series; Vol. 28; p. 636). Netherlands; USA: Springer Science & Business Media.
- López Hernández, J.C.** (2017). *Biología, fisiología espermática básica y efecto de la radiación ultravioleta sobre la fisiología e integridad de las células espermáticas del bagre tropical 'Rhamdia laticauda'*; (Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales). Villahermosa, Tabasco; México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
- López-Hernández, J.C.; Osorio-Pérez, A.; Jiménez-Félix, S.A.; Páramo-Delgadillo, S.; Márquez-Couturier, G.; Yasui, G.S. & Arias-Rodriguez, L.** (2018). Artículo de revisión: la calidad espermática en peces y los métodos de evaluación. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 10(1): 67-96. DOI «<http://dx.doi.org/10.15359/revmar.10-1.5>»
- Mañanós, E.; Duncan, N. & Mylonas, C.** (2008). Reproduction and control of ovulation, spermiation and spawning in cultured fish. In: Cabrita, E.; Robles, V. & Herráez, P. (eds.); *Methods in reproductive aquaculture: marine and freshwater species*; (pp. 3-80). Boca Raton, FL; USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Miura, T. & Miura, C.I.** (2003). Molecular control mechanisms of fish spermatogenesis. *Fish Physiology and Biochemistry*, 28: 181-186. DOI «<https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000030522.71779.47>»
- Nelson, J. S.; Grande, T.C. & Wilson, M.V.H.** (2016). *Fishes of the world*; (Fifth edition; p. 707). Hoboken, New Jersey; USA and Canada: John Wiley & Sons Inc. Recovered from «https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Nelson_ea_2016_Fishes%20of%20the%20World.pdf»
- Osorio Pérez, A.** (2017). *Fisiología y microestructura espermática del pejelagarto tropical 'Atractosteus tropicus'*; (Tesis de Licenciatura en Biología). Villahermosa, Tabasco; México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
- Prakash, S.; Prithviraj, E.; Suresh, S.; Lakshmi, N.V.; Ganesh, M.K.; Anuradha, M.; Ganesh, L. & Dinesh, P.** (2014). Morphological diversity of sperm: a mini review. *Iranian Journal of Reproductive Medicine*, 12(4): 239-242. Recovered from «<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4071627/pdf/ijrm-12-239.pdf>»
- Tabares, C.J.; Tarazona, A.M. & Olivera Ángel, M.** (2005). Fisiología de la activación del espermatozoide en peces de agua dulce. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(2): 149-161. Recuperado de «<https://www.redalyc.org/pdf/2950/295022959006.pdf>»

Yasui, G.S.; Arias-Rodriguez, L.; Fujimoto, T., & Arai, K. (2009). A sperm cryopreservation protocol for the loach '*Misgurnus anguillicaudatus*' and its applicability for other related species. *Animal Reproduction Science*, 116(3-4): 335-345. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.02.021>»

Yoshikawa, H.; Morishima, K.; Fujimoto, T.; Arias-Rodriguez, L.; Yamaha, E. & Arai, K. (2008). Ploidy manipulation using diploid sperm in the loach, '*Misgurnus anguillicaudatus*': a review. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(4): 410-414. DOI «<https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01129.x>»

Zohar, Y. & Mylonas, C.C. (2001). Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture*, 197(1-4): 99-136. DOI «[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00584-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00584-1)»



**RESGUARDO, PROTECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE ESPECIES ENDÉMICAS EN LAS INSTALACIONES DE LA DACBioI:
UMA DE PSITÁCIDOS.**

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Rafael Sánchez Gutiérrez (Coordinación de Difusión Cultural y Extensión de la DACBioI).

«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBIOL



FACHADA PRINCIPAL DE LAS OFICINAS ADMINISTRATIVAS E INGRESO PRINCIPAL AL «CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE ESPECIES AMENAZADAS (CICEA)»

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Rafael Sánchez Gutiérrez.



KUXULKAB'

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

+52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415

kuxulkab@ujat.mx • kuxulkab@outlook.com

www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039.
Villahermosa, Tabasco. México.

