



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**CICLO REPRODUCTIVO DEL BAGRE BOBO LISO *Ictalurus meridionalis*
EN EL RÍO SAN PEDRO, TABASCO, MÉXICO**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:
BIOL. MERITXELL SANLÚCAR GONZÁLEZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:
DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ

EN CODIRECCIÓN:
DR. ULISES HERNÁNDEZ VIDAL

VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO. A: FEBRERO DEL 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, México, el día 12 del mes febrero del año 2026, el que suscribe Meritxell Sanlúcar González alumna del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales con número de matrícula 222G25006, adscrito a la División Académica de Ciencias Biológicas, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autora es de la Tesis presentada para la obtención del grado de Maestra en Ciencias Ambientales y titulada "Ciclo reproductivo del bagre bobo liso *Ictalurus meridionalis* en el Río San Pedro, Tabasco, México" dirigida por el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez y codirigida por el Dr. Ulises Hernández Vidal.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita. Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Villahermosa, Tabasco a 12 de febrero 2026.



BIOL. MERITXELL SANLÚCAR GONZALEZ



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2020
Margarita
Maza

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

FEBRERO 16 DE 2026

**C. MERTIXELL SANLÚCAR GONZÁLEZ
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 74 al 77 del Cap. IV del Reglamento General de Estudios de Posgrado de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: "**CICLO REPRODUCTIVO DEL BAGRE BOBO LISO *Ictalurus meridionalis* EN EL RÍO SAN PEDRO, TABASCO, MÉXICO**", asesorado por el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez y Dr. Ulises Hernández Vidal, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el Dr. Nicolás Álvarez Pliego, Dra. Wendi del Carmen Arévalo Frías, Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dra. Mari Carmen Uribe Aranzábal y MCA. Kenia Laparra Torres.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA ACCIÓN EN LA FE


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



2026
año de
Margarita
Maza

División Académica de Ciencias Biológicas
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tabasco a 13 de febrero de 2026

C. MERTIXELL SANLÚCAR GONZÁLEZ

EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los trabajos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación que se desarrollan en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados registrados en el SNP de la SECIHTI.

Por este conducto, hago de su conocimiento que, con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, se realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y se emitieron las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: ***Ciclo reproductivo del bagre bobo liso *Ictalurus meridionalis* en el Río San Pedro, Tabasco, México.***

OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud general obtenido fue de 02%**, el cual se ubica dentro del estándar de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT. Se demuestra el nivel de originalidad del documento y de la investigación.
2. Aun que el índice de similitud obtenido indica coincidencias con 08 fuentes de consulta (de las cuales el 2% corresponde con fuentes de internet y el <1% con publicaciones), éstas se refieren a frases en las secciones de Introducción y Métodos. Lo anterior no demerita el documento de tesis, pero se recomienda a la sustentante y a sus directores de tesis revisar los párrafos identificados con similitud y ajustarlos a una redacción propia, en la medida de lo posible.





UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



2026
año de
Margarita
Maza

**División Académica de Ciencias Biológicas
DIRECCIÓN**

3. **Se adjunta el informe de originalidad de la tesis** obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita a la C. MERTIXELL SANLÚCAR GONZÁLEZ, integrar en la versión final de tesis, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate de acuerdo con lo señalado en los Lineamientos institucionales para la elaboración de tesis de posgrado.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.C.P. Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez. Director de tesis.
Dr. Ulises Hernández Vidal – Codirector de tesis
Archivo



KM 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
VILLAHERMOSA, CENTRO, TABASCO, MEX.

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Meritxell Sanlúcar González

Ciclo reproductivo del bagre bobo liso *Ictalurus meridionalis* en el Río San Pedro, Tabasco, México

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:556657394

Fecha de entrega

13 feb 2026, 12:40 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

13 feb 2026, 1:01 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Tesis de maestría Meritxell Sanlúcar González.pdf

Tamaño del archivo

3.2 MB

111 páginas

29.458 palabras

168.067 caracteres

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 14 palabras)

Exclusiones



- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
52 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
35 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">1</div> <p>Internet</p> <p>www.gob.mx</p>	1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">2</div> <p>Internet</p> <p>cibnor.repositorioinstitucional.mx</p>	<1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">3</div> <p>Internet</p> <p>www.scielo.cl</p>	<1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">4</div> <p>Internet</p> <p>watershed.ucdavis.edu</p>	<1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">5</div> <p>Publicación</p> <p>Frank Kirschbaum, Krzysztof Formicki. "The Histology of Fishes", CRC Press, 2019</p>	<1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">6</div> <p>Internet</p> <p>accedacris.ulpgc.es</p>	<1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">7</div> <p>Publicación</p> <p>Barrie G M Jamieson. "Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans ...</p>	<1%
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">8</div> <p>Publicación</p> <p>Mari Carmen Uribe, Harry J. Grier, Adriana García-Alarcón, Lynne R. Parenti. " Oo...</p>	<1%

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Villahermosa, Tabasco a ___12 de febrero del 2026___.

Por medio de la presente, manifestamos haber colaborado como AUTORES en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "Ciclo reproductivo del bagre bobo liso *Ictalurus meridionalis* en el Río San Pedro, Tabasco, México".

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES

Merixell Sanlúcar González

ALUMNO(A) O EGRESADA(O)

Wilfrido Miguel Contreras Sánchez

DIRECTOR

Ulises Hernández Vidal

CODIRECTOR

TESTIGOS

Dra. María de Jesús Contreras

García

Dr. Leonardo Cruz Rosado

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a la mujer más luchadora y fuerte que he conocido en mi vida, mi madre... Mi gran amor eterno, Rocío González Román+, por haber sido siempre la persona que me enseñó a nunca olvidar y a luchar siempre por mis sueños y, sobre todo, ser siempre mi fuente de inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por el financiamiento otorgado para la elaboración de la Maestría en Ciencias Ambientales y a mi alma máter, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, y particularmente a la División Académica de Ciencias Biológicas, por siempre llenarme de sabiduría en sus aulas y demostrarme siempre que la ciencia jamás nos dejará de enseñar.

Agradezco grandemente al Laboratorio de Acuicultura Tropical (LAT) por permitirme, una vez más, desarrollar mi investigación en sus laboratorios, especialmente a cada uno de sus investigadores, que siempre estuvieron en mi formación en este posgrado, por su gran apoyo en cada duda y aprendizaje. De alguna manera, formaron parte de este posgrado.

Deseo expresar mi mayor gratitud a mis directores, el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez y Ulises Hernández Vidal, por siempre brindarme su gran apoyo en mi investigación y formación académica, por sus grandes enseñanzas, pero sobre todo por tenerme siempre una gran paciencia, especialmente por enseñarme, una vez más, el camino, la pasión y el gran amor por la ciencia, y, sobre todo, por no dudar nunca de mis capacidades.

Deseo expresar un sincero agradecimiento al Laboratorio de Biología de la Reproducción, de la Facultad de Ciencias, de la UNAM, por abrirme las puertas de su laboratorio para hacer realidad mi estancia y parte de mi investigación con ustedes, pero especialmente agradezco grandemente a la Dra. Mari Carmen Uribe Aranzábal por contribuir en esta investigación y ser esencial en este trabajo, agradeciendo igual a su equipo de trabajo y amigos (Gabino, Adriana y Juan Carlos), por compartirme siempre sus conocimientos, siendo fundamentales para hacer esta investigación.

A mis amigos y compañeros del laboratorio y de la Dacbiol, que siempre buscaron la forma de levantarme los ánimos y de hacer realidad este posgrado.

Un agradecimiento muy especial y el más importante, a mi familia: mis padres, mis hermanos, mis tíos: Cristóbal, Rodemar, Mariana, Abel, Luis, Javier, Elizabeth y Paula, mis primos Andrés y Mercy, y mi amor Ricardo, por el apoyo en todo momento, sus palabras de ánimo y aliento, y por no dudar de mis capacidades para que pudiera culminar esta gran meta.

INDICE DE CONTENIDO

Resumen.....	15
1.Capítulo I. Protocolo de tesis.....	17
Introducción.....	18
Marco teorico	20
Antecedentes	23
Pregunta de investigación.....	26
Hipótesis	27
Objetivo general	27
Objetivos específicos	27
Metodología	27
Cronograma de actividades	30
Referencias citadas.....	31
2. Capítulo II.....	37
Histological characterization of oogenesis in <i>Ictalurus meridionalis</i> (Ictaluridae) from the San Pedro River, Balancán, Tabasco, Mexico.....	38
3.Capítulo III.....	65
Descripción morfológica del testículo de <i>Ictalurus meridionalis</i>	66
Materiales y metodos	69
Resultados	70
Discusión.....	71
Conclusión	72
Referencias	73
Tablas	77
Figuras	78
4.Capítulo IV	81
Ciclo reproductor de <i>Ictalurus meridionalis</i> en el río San Pedro, Tabasco, México.....	82

Resumen.....	82
Introducción.....	83
Materiales y métodos	84
Resultados	87
Discusión.....	92
Conclusión	99
Referencias	100
Tablas	105
Figuras	106
5.Capítulo v	111
Conclusiones y consideraciones generales de la tesis.	112
Anexos	113

INDICE DE TABLAS

Capitulo II

Table 1. Stages and Stages of oogenesis observed in <i>I. meridionalis</i> throughout the study (based on Grier <i>et al</i> , 2009).	54
Tabla 1.	77
Tabla 1.	105

INDICE DE FIGURAS

Capitulo II

Figure 1. Morphological structure of the <i>I. meridionalis</i> ovary	55
Figure 2. The ovarian lumen (OL) is surrounded by germinal epithelium (GE).	56
Figure 3. Frequency of the stages of the annual reproductive cycle	57
Figure 4. Oocytes at different stages during folliculogenesis and primary growth	58
Figure 5. Oocytes in primary growth during oogenesis	59
Figure 6. Oocytes in the secondary growth stage (SG) (Vitellogenesis)	61

Figure 7. Maturing oocytes.....	63
Figure 8. Atretic oocytes.....	64
Capitulo III	
Figura 1. Anatomía del testículo.....	78
Figura 2. Ubicación anatómica de los testículos	78
Figura 3. Testículo lobular con espermatogonias no restringidas en la periferia.....	79
Figura 4. Testículo en desarrollo temprano.....	80
Capitulo IV	
Figura 1. Proporción sexual	106
Figura 2. Factor de condición (K).....	106
Figura 3. Ubicación anatómica de las gónadas.....	107
Figura 4. Anatomía de las gónadas de hembra y macho	107
Figura 5. Descripciones del desarrollo ovárico.....	108
Figura 6. Descripción del desarrollo de la espermatogénesis	109
Figura 7. Valores de medianas del IGS \pm DAM de hembras y machos.....	110

RESUMEN

El bobo liso es una especie de interés comercial y de consumo local en la cuenca de los ríos Usumacinta y Grijalva, especialmente en los estados del sureste de México (Tabasco y Chiapas). El conocimiento del ciclo reproductor en especies silvestres contribuye como herramienta para el desarrollo de protocolos de manejo en cautiverio con fines de conservación y de producción masiva. Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar las temporalidades del ciclo reproductor de *Ictalurus meridionalis* y contribuir al conocimiento de su biología reproductiva. Los muestreos mensuales se realizaron en el río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México, durante un año. Cada mes se capturaron al menos 10 organismos adultos mediante la pesca artesanal, con la ayuda de pescadores locales. A cada organismo se le tomaron medidas morfométricas; se sacrificó y se extrajeron las gónadas. Se registraron parámetros ambientales (oxígeno disuelto, temperatura y profundidad). Se realizaron observaciones macroscópicas y técnicas histológicas para describir el ciclo reproductivo. En total se obtuvieron 58 hembras y 59 machos. Las hembras presentan ovarios de tipo cistovárico, con maduración sincrónica. Los machos presentan testículos digitiformes, emparejados y pareados, constituidos por varios lóbulos. Presentan una espermatogénesis de tipo quística y estacional. La especie presenta reproducción iterópara, con un desove único al año. Para este estudio, la temporalidad del desove se extendió entre junio y julio. Los registros del índice gonadosomático en las hembras mostraron un incremento en mayo (7.05 ± 6.97) y en julio (7.24 ± 3.96), mientras que en los machos se registró un índice elevado en febrero (0.38 ± 0.37) y en julio (0.22 ± 0.07). Los huevos en hidratación se observaron entre junio y julio. Los machos presentaron testículos maduros dos meses antes del desove, coincidiendo con los de las hembras. La etapa de reproducción ocurre en el verano, con un pico breve que dura dos meses.

Palabras clave: ciclo reproductor, maduración, reproducción, ovario, testículo.

ABSTRACT

The smooth catfish is a species of commercial importance and local consumption in the Grijalva River basin, particularly in the southeastern states of Mexico (Tabasco and Chiapas). Knowledge of the reproductive cycle in wild species serves as a tool for developing captive management protocols for conservation and large-scale production. This research was conducted to determine the timing of the reproductive cycle of *Ictalurus meridionalis* and to contribute to the understanding of its reproductive biology. Monthly sampling was conducted in the San Pedro River in Balancán, Tabasco, Mexico, over one year. Each month, at least 10 adult individuals were captured through artisanal fishing with the assistance of local fishermen. Morphometric measurements were recorded for each organism; they were subsequently sacrificed, and their gonads were removed for analysis. Environmental parameters, dissolved oxygen, temperature, and depth, were also documented. Macroscopic observations and histological techniques were employed to describe the reproductive cycle. A total of 58 females and 59 males were collected. Females exhibited cystic ovaries with synchronous maturation, while males had paired digitiform testes composed of several lobes. Males displayed cystic and seasonal spermatogenesis. *I. meridionalis* reproduces iteroparously, with a single spawning event per year, which in this study occurred between June and July. Gonadosomatic index values for females increased in May (7.05 ± 6.97) and July (7.24 ± 3.96). In contrast, males exhibited higher index values in February (0.38 ± 0.37) and July (0.22 ± 0.07). Hydrated oocytes were observed in June and July. Males presented mature testes approximately two months prior to the spawning period, coinciding with the females' reproductive timing. The breeding season occurs in the summer, with a brief peak of reproduction lasting two months.

Keywords: Reproductive cycle, maturation, reproduction, ovary, testis.

Capítulo I. Protocolo de tesis



INTRODUCCIÓN

La reproducción en los peces exhibe una notable diversidad de estrategias, incluidas la bisexualidad, el hermafroditismo y la partenogénesis (Lagler et al., 1977). Estas estrategias se asocian con una considerable variabilidad en la organización morfológica y el desarrollo gonadal, así como en los patrones temporales de la gametogénesis. En la mayoría de las especies, el comportamiento reproductivo es cíclico; sin embargo, algunas especies se reproducen una sola vez en su vida, mientras que otras presentan intervalos reproductivos prolongados, que pueden extenderse desde varios años hasta más de una década (Lagler et al., 1977). Aunque existen numerosos estudios sobre estas variaciones, la caracterización detallada del ciclo reproductivo anual y la morfofuncionalidad de las gónadas de muchas especies, incluida *Ictalurus meridionalis*, sigue siendo desconocida. El análisis en condiciones naturales, especialmente a través del estudio macroscópico e histológico de las gónadas, es fundamental para comprender la dinámica reproductiva de las especies, identificar fases gametogénicas y establecer bases anatómicas sólidas para el diseño de estrategias de manejo y reproducción en cautiverio.

En este contexto, los ictalúridos han sido ampliamente estudiados en relación con su biología reproductiva, identificándose patrones relativamente conservados en la organización gonadal y la temporalidad del ciclo reproductivo. Brooks et al. (2019) indican que las especies de esta familia suelen presentar una temporada reproductiva bien definida, generalmente entre junio y agosto, aunque en algunas regiones la actividad puede comenzar en mayo y extenderse hasta septiembre. Sin embargo, estas generalizaciones se basan principalmente en estudios de un número limitado de especies, lo que puede conducir a interpretaciones erróneas si se extrapolan a otras especies como *Ictalurus meridionalis*, cuyos rasgos reproductivos pueden diferir considerablemente debido a su distribución geográfica particular y hábitos ecológicos específicos. Persiste una notable disparidad en el conocimiento morfológico y reproductivo entre los diferentes miembros del grupo, especialmente en especies nativas de distribución restringida o de interés regional. *Ictalurus meridionalis* se distribuye en los sistemas fluviales del este de México, desde la cuenca del río Pánuco en Veracruz hasta las cuencas de los ríos Usumacinta y Hondo, abarcando territorios de México, Guatemala

y Belice (Rodiles-Hernández et al., 2010). En la cuenca del río Grijalva, esta especie tiene una alta relevancia pesquera y constituye un recurso de consumo local en Tabasco, con volúmenes significativos de captura provenientes de la pesca artesanal (Rivera-Velázquez et al., 2015; González-Díaz et al., 2017). Asimismo, Chiapas ocupa el segundo lugar en la captura comercial registrada por las cooperativas de la comunidad de Malpaso en la misma cuenca hidrográfica (Rivera-Velázquez et al., 2020). A pesar de su importancia ecológica y socioeconómica, el conocimiento sobre la biología reproductiva de *I. meridionalis* sigue estando fragmentado, especialmente en lo que respecta a la caracterización morfológica de sus gónadas a lo largo del ciclo anual.

Actualmente, la información sobre la reproducción de esta especie se limita a estudios aislados. Medina-Sánchez (2013) documentó ciertos aspectos reproductivos de la especie en la cuenca del río Usumacinta, cerca del municipio de Tenosique, Tabasco, a partir de muestreos realizados en 2011 y 2012. Este estudio reportó un crecimiento isométrico y describió variaciones temporales en el índice gonadosomático mensual, con valores máximos en hembras durante marzo y abril. Sin embargo, no se abordó en detalle la organización histológica de las gónadas ni la secuencia completa de las fases gametogénicas a lo largo del ciclo reproductivo anual, lo que limita la interpretación morfofuncional del proceso reproductivo en la especie.

La acuicultura es una de las técnicas más eficientes para el aprovechamiento de los recursos acuáticos y la producción de alimentos (Manzo, 2000). En este contexto, el conocimiento morfológico y reproductivo es fundamental para la domesticación y el manejo de nuevas especies. Aunque varias especies de bagres han sido incorporadas exitosamente a sistemas de producción acuícola a nivel internacional, *I. meridionalis* no ha sido utilizada con este fin, a pesar de su importancia pesquera y su notable dominancia en biomasa entre los bagres grandes y medianos, así como su alta relevancia en número y peso. Además, la especie presenta un considerable potencial acuícola en las presas del estado de Chiapas, México (Pérez-Castañeda, 2013). En este sentido, el presente estudio plantea preguntas de investigación específicas para superar los principales obstáculos en la cría de esta especie, como la identificación de los tiempos óptimos para la maduración final y las señales que inducen el desove a partir de descripciones gonadales. Abordar estas cuestiones permitirá vincular los fundamentos

morfológicos con los objetivos prácticos de cultivo y manejo de *I. meridionalis*. En contraste, el bagre de canal, *I. punctatus*, es la especie de ictalúrido con mayor información disponible sobre su biología reproductiva, ontogenia gonadal y técnicas de inducción al desove, respaldadas por descripciones morfológicas e histológicas detalladas (Soo-Kim et al., 1990; Liu et al., 1997; Silverstein et al., 1999; Lang y Tiersch, 2007; Chatakondi et al., 2011; Chatakondi y Kelly, 2013).

A pesar del extenso conocimiento morfológico y reproductivo disponible para otras especies del género *Ictalurus* y la familia *Ictaluridae*, en *I. meridionalis* aún no se ha realizado una caracterización integral del ciclo reproductivo anual basada en la descripción anatómica e histológica de las gónadas. Esta carencia limita la comprensión de su dinámica reproductiva y restringe el desarrollo de estrategias para su manejo, conservación e incorporación a sistemas de cultivo. Además, la falta de información sobre la diversidad genética y la posible amenaza de la sobrepesca resaltan la necesidad de enfoques integrados que consideren tanto la conservación como la acuicultura de la especie.

En este contexto, el objetivo de este estudio es describir el ciclo reproductivo anual de *Ictalurus meridionalis* mediante el análisis morfológico de sus gónadas, con énfasis en la identificación de las fases gametogénicas a lo largo del año. Esta información básica servirá como fundamento para futuros estudios de inducción del desove y manejo reproductivo en condiciones de cautiverio.

MARCO TEORICO

MARCO CONCEPTUAL

Biología: En *Ictalurus meridionalis* se han realizado diversos estudios sobre su biología y ecología. Entre ellos destacan los estudios de Miller *et al.* (2005), quienes describen que los integrantes del género *Ictalurus* habitan en aguas dulces y se encuentran principalmente en ríos grandes, con tramos de corriente rápida y remansos profundos. La mayoría de estos bagres son organismos crepusculares, aunque algunas especies presentan hábitos nocturnos. Los peces de la familia *Ictaluridae* son reconocidos por su importancia en la pesca deportiva y por su valor como recurso para el consumo humano (Arce *et al.*, 2016). *I. meridionalis* se distribuye en la cuenca del río Pánuco, en el estado

de Veracruz, así como en los cuerpos hidrológicos del río Usumacinta y del río Hondo, y abarca regiones de México, Guatemala y Belice (Rodiles-Hernández *et al.*, 2010). Localmente es conocido como “bobo liso” y presenta cuatro pares de barbillones: dos mentonianos, uno originado en los orificios nasales, otro en los maxilares y el último, que se extiende hasta la base de las aletas pectorales. Posee una aleta caudal escotada, una aleta dorsal adiposa y otra dorsal provista de una gran espina aserrada; las aletas pectorales también presentan una espina similar, con 5 a 6 dientes. Esta especie carece de escamas y presenta un margen distal recto en la aleta anal. Su vejiga gaseosa es tricameral y presenta 28-38 radios anales. La mandíbula superior es más larga que la inferior y su coloración varía de gris pálido a gris oscuro, o bien de café oscuro con tonalidades plateadas (Anzueto-Calvo *et al.*, 2013).

La determinación taxonómica del bobo liso ha presentado históricamente cierto grado de confusión debido a la escasez de datos precisos sobre la especie. Miller *et al.* (2005) consideraban que *I. meridionalis* e *I. furcatus* correspondían a la misma especie; sin embargo, estudios más recientes de Rodiles-Hernández *et al.* (2010) han demostrado que *I. meridionalis* es una especie distinta de *I. furcatus* e *I. balsanus*. Esta conclusión se sustentó en el análisis del ADN mitocondrial (12s y 16s), así como en comparaciones anatómicas y morfológicas, incluyendo diferencias en el número de vértebras y en la cantidad de radios presentes en la aleta anal (80 y 81).

Hábitos alimentarios: Los ictalúridos presentan una dieta variada que incluye peces, insectos acuáticos y mejillones de agua dulce (Anzueto-Calvo *et al.*, 2013). Trejo-González *et al.* (2019) reportaron que *I. meridionalis* es herbívora en tallas inferiores a 25 cm, aunque con un consumo elevado de insectos. A partir de 40 cm de longitud, la especie mantiene una dieta omnívora con tendencia piscívora, además de presentar un incremento en su nivel trófico a medida que aumenta el tamaño corporal.

Importancia económica: *Ictalurus meridionalis* presenta una alta frecuencia de autoconsumo en el río La Venta y una amplia distribución en la parte alta del río Cacahuanó, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México (González-Díaz *et al.*, 2017). Asimismo, ocupa el segundo lugar en la captura comercial de las cooperativas de

Malpaso, Chiapas (Rivera-Velázquez *et al.*, 2020). El bobo liso representa una alternativa prometedora para su incorporación a sistemas de cultivo destinados a la venta y el aprovechamiento, ya que es ampliamente aceptado para el autoconsumo, tiene alta demanda en el mercado y posee valor en la pesca deportiva (González-Díaz *et al.*, 2017; Arce *et al.*, 2016; y Anzueto-Calvo *et al.*, 2016).

Reproducción: Los peces presentan distintos modelos reproductivos: la mayoría de las especies es gonocórica (con sexos separados), mientras que algunas presentan hermafroditismo. Asimismo, pueden exhibir estrategias como el oviparismo y el viviparismo, así como mecanismos de fertilización interna, y presentar una amplia diversidad en la morfología de sus órganos reproductores (Saborido-Rey, 2008). El desarrollo de las gónadas y de los gametos depende de las hormonas reproductivas, cuya acción marca el inicio de la fase reproductiva y conduce a la madurez sexual. Este proceso se vuelve evidente cuando los ovocitos y/o los espermatoцитos primarios están totalmente diferenciados. Una vez que los peces alcanzan la madurez sexual, inician su ciclo reproductor, el cual implica el desarrollo y crecimiento de las gónadas hasta su preparación para el desove, caracterizado por la producción de óvulos en las hembras y de espermatozoides funcionales en los machos, capaces de llevar a cabo la fertilización (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Reproducción en Ictaluridae: Brooks *et al.* (2019) describieron las generalidades de la reproducción en los ictalúridos, señalando que estas especies presentan una temporada de reproducción de junio a agosto y que, en algunas regiones, puede iniciarse en mayo y finalizar en septiembre. Los ictalúridos construyen sus nidos en cavidades y suelen presentar poligamia e incubación oral. Sus crías son relativamente grandes y precociales. Este grupo también se caracteriza por el cuidado biparental y, en ciertos casos, por el canibalismo filial, manteniendo a las crías resguardadas en bancos cerrados. Los ictalúridos han mostrado un buen desempeño en la reproducción inducida, una condición que ha sido aprovechada en diversos países, como los Estados Unidos, donde se han utilizado ampliamente y se han generado hibridaciones con el fin de aumentar la producción comercial (Dunham y Elasmwad, 2018).

ANTECEDENTES

Los aspectos reproductivos de *Ictalurus meridionalis* han sido poco estudiados. En este sentido, Medina-Sánchez (2013), en un estudio realizado en la cuenca del río Usumacinta entre 2011 y 2012, señaló que la especie presenta crecimiento isométrico. En las hembras, el índice gonadosomático mensual presentó valores máximos en abril de 2011 (2.47) y en marzo de 2012 (2.76). El factor de condición alcanzó su nivel más alto en mayo de 2011, con un valor de 4.02, mientras que el índice hepatosomático registró su máximo en agosto de 2011, con un valor de 1.5. En los machos, el índice gonadosomático mostró un patrón diferente al de las hembras; sus valores máximos se registraron en marzo de 2011 (2.06). Durante los demás meses muestreados, los valores fueron bajos y no superaron 1.3. El factor de condición presentó un valor de 4.5 en diciembre de 2011, mientras que el índice hepatosomático alcanzó su máximo de 4.72 en noviembre del mismo año. La talla estimada en la que el 50% de las hembras alcanzó la madurez sexual fue de 38 cm de longitud furcal. A partir de los 55 cm, prácticamente la mayoría de estas están listas para participar activamente en la reproducción. En contraste, para los machos no fue posible realizar esta estimación debido a la escasez de datos.

En otras especies del orden Siluriformes, incluidos los miembros de la familia Ictaluridae, se han realizado estudios sobre sus ciclos reproductivos. Un ejemplo es el estudio realizado con el bagre bandera (*Bagre marinus*) (Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti, 2005), quienes describieron su ciclo reproductor anual y su relación con variables ambientales, a partir de organismos colectados en los desembarques comerciales de la flota artesanal palangrera de la barrera de Chiltepec, Tabasco, México. Los resultados indican que la reproducción de este bagre ocurre entre mayo y agosto. En los machos se observó un descenso del factor de condición de julio a octubre, posiblemente asociado al gasto energético derivado de la incubación oral. Asimismo, se reportó que el índice gonadosomático en machos presentó variabilidad a lo largo del año, mientras que en las hembras se registraron valores elevados de mayo a julio.

Vidal *et al.* (2020) reportaron que la reproducción de *Iheringichthys labrosus* ocurre de manera continua entre agosto y diciembre, aunque puede observarse actividad reproductiva en septiembre, octubre o noviembre. La máxima etapa reproductiva se

registra de forma consistente en diciembre. Durante los 10 años de muestreo, los autores observaron en diciembre la presencia de ovarios completamente maduros y señalaron que los estadios de madurez avanzada se presentan con mayor frecuencia en los sitios ubicados en la zona norte del área de estudio. Dado que este estudio se realizó en el hemisferio sur, dicho periodo reproductivo coincide con una temporada de temperaturas elevadas, lo que favorece la reproducción de la especie.

En la especie *Mystus gulio*, Gupta (2014) recopiló diversos estudios sobre su biología, incluidos aspectos reproductivos como la proporción de sexos. De acuerdo con estos autores, *M. gulio* presenta una dominancia de hembras sobre los machos de la población. Asimismo, reportaron que la talla mínima de madurez sexual registrada por diferentes autores varía entre 5.4 cm, 6.2 cm, 7.9 cm y 8.2 cm. La fecundidad de *M. gulio* presenta un rango de 1.2 a 24.7, con una media de 4.7. El desove puede ocurrir en distintos meses, según el estuario o el cuerpo de agua en el que se localice. En el bagre brasileño *Genidens genidens*, Barbieri *et al.* (1992) documentaron un predominio de machos durante la temporada de reproducción y desove.

En condiciones de cautiverio, Bondari (1990) realizó una investigación centrada en la reproducción y la genética del bagre de canal (*I. punctatus*), en la que se consideraron la selección, la consanguinidad, el cruzamiento, la herencia del color, las anomalías morfológicas, la producción de peces transgénicos, la comparación de cepas, la hibridación y las interacciones genotípicas. En otra investigación sobre *I. punctatus*, el índice gonadosomático (GSI) fue más bajo durante el verano, después del desove, e inició la recrudescencia gonadal en octubre del año muestreado; sin embargo, el GSI aumentó en los meses más fríos (Kumar *et al.*, 2000).

Inducción al desove: En *I. meridionalis* no existen registros de inducción al desove. Sin embargo, entre los ictalúridos, la especie en la que se han realizado más trabajos relacionados con la inducción al desove es *I. punctatus*, con aportaciones de diversos autores, entre ellos Soo-Kim *et al.* (1990), Liu *et al.* (1997), Silverstein *et al.* (1999), Chatakondi y Kelly (2013), Lang y Tiersch (2007) y Chatakondi *et al.* (2011). En *Clarias macrocephalus*, Fermin-Tan *et al.* (1997) evaluaron la eficacia de la inyección de la hormona LHRHa, junto con primozida, para inducir el desove en distintas etapas de su

ciclo reproductivo. Sus resultados indicaron que la dopamina actúa como antagonista en las células productoras de gonadotropinas plasmáticas, lo que facilita la liberación de estas hormonas al emplearse LHRHa. Además, registraron que una hembra grávida de 39 g puede responder exitosamente a la inducción del desove.

Los registros de las citas mencionadas indican que los bagres presentan un buen desempeño en los procesos de inducción al desove en cautiverio. Además, se han logrado desarrollar hibridaciones en bagres con fines de aprovechamiento comercial. Por ejemplo, Rodríguez-Pulido *et al.* (2020) describieron la capacidad reproductiva de híbridos obtenidos entre *Pseudoplatystoma metaense* (hembras) y *Leiarius marmoratus* (machos); de acuerdo con sus observaciones, los híbridos presentan un desarrollo gonadal morfológicamente funcional y son capaces de reproducirse. Lo que confirma su fertilidad. Estos autores también reportaron que dichos híbridos consumen eficientemente el alimento comercial; no presentaron mortalidad ni conductas de canibalismo durante la fase evaluada. Igualmente, Ahmed *et al.* (2019) reportaron que la hibridación entre el bagre de canal (hembras) y el bagre azul (*Ictalurus furcatus*, machos) mostró una mayor sobrevivencia en la etapa de alimentación frente a *Ichthyophthirius multifiliis*. Bosworth *et al.* (2004) reportan que en la hibridación entre las líneas de bagres *I. furcatus* (bagre azul) e *I. punctatus* se obtuvieron mejoras en la calidad y el rendimiento de la carne, reflejadas en una mayor ganancia de peso, una mayor supervivencia y una conversión alimenticia más eficiente. De igual manera, Rosser *et al.* (2019) señalaron que la hibridación y el cultivo resultan altamente eficaces, ya que confieren resistencia a las enfermedades. Un ejemplo de ello es que en estudios con bagres expuestos al agente *Henneguya ictaluri*, los híbridos (bagre canal x bagre azul) no desarrollaron mixosporas en grandes cantidades y presentaron una supervivencia superior frente a formas puras. Por el contrario, en estudios sobre híbridos de *I. furcatus* con *I. punctatus*, Bosworth *et al.* (2015) reportaron que no hubo efecto de la densidad de población sobre el índice de conversión de alimento (FCR) ni se vieron afectadas la supervivencia y el peso de cosecha. Este trabajo sugiere la posible existencia de un umbral de densidad para el crecimiento de estos híbridos. En el caso del bagre de canal *I. punctatus*, Kumar *et al.* (2019) sugirieron que el bagre de canal puede desempeñarse bien hasta densidades de 8,000 peces/acre con aireación intensiva. Sin embargo, el bagre híbrido (*I. furcatus* x *I.*

punctatus) mostró un rendimiento biológico y económico superior al del bagre puro. Este desempeño ha llevado a que, en EE.UU., las granjas acuícolas otorguen preferencia a la producción de bagre híbrido frente a la de bagre de canal.

JUSTIFICACIÓN

Ictalurus meridionalis es una especie de alto valor comercial y de amplio consumo local en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta (Anzueto-Calvo *et al.*, 2016 y Varela-Romero *et al.*, 2021). Sin embargo, a pesar de su demanda, aún persisten vacíos de información biológica esenciales, en particular en lo relativo a sus aspectos reproductivos. El estudio del ciclo reproductor permite generar datos para comprender mejor su reproducción, definir la temporalidad y el potencial reproductivo. Esta información es indispensable para favorecer un aprovechamiento pesquero sustentable y facilitar su incorporación a sistemas de cultivo.

Además, este tipo de estudios contribuye a la conservación de la especie, al permitir identificar sus etapas reproductivas críticas y, con ello, evitar la sobreexplotación durante la temporada de desove. El conocimiento detallado del ciclo reproductor, así como su potencial, permitirá establecer medidas de manejo adecuadas, mejorar el control de la reproducción en cautiverio y potenciar su producción en sistemas acuícolas.

A pesar de su gran importancia ecológica y de su relevancia como especie de consumo, en el estado de Tabasco no existen esfuerzos orientados a la producción de crías de la especie para su aprovechamiento en la acuicultura o en programas de repoblación. En este contexto, el presente trabajo constituye una contribución significativa al conocimiento científico de la especie, ya que permitirá comprender con mayor profundidad su reproducción y, potencialmente, sentar las bases para el desarrollo de protocolos de producción de crías en cautiverio.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible determinar, a partir del análisis histológico de las gónadas de hembras y machos adultos provenientes del río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México, si la temporalidad reproductiva del bobo liso (*Ictalurus meridionalis*) es similar a la de otros bagres tropicales?

HIPÓTESIS

La maduración gonadal en *Ictalurus meridionalis* está regulada por factores ambientales como la temperatura, el fotoperiodo, las corrientes y la abundancia de alimento. Esto sugiere que la maduración gonadal de la especie es cíclica, alineada con los ritmos anuales de dichos parámetros en el río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México. No tiene la estructura de una hipótesis.

Si las variables ambientales (temperatura, fotoperiodo, intensidad de las corrientes y disponibilidad de alimento) cambian a lo largo del año en el río San Pedro, entonces la maduración gonadal de *Ictalurus meridionalis* también variará de forma cíclica en correspondencia con dichas fluctuaciones.

OBJETIVO GENERAL

Describir el ciclo reproductor de hembras y machos del bobo liso (*Ictalurus meridionalis*) en el río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el proceso de maduración gonadal a nivel macroscópico y microscópico en hembras y machos.
- Determinar la temporalidad del ciclo reproductor en la zona muestreada del río San Pedro.

METODOLOGÍA

Área de estudio. El presente trabajo se realizó en el río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México. Este río tiene una extensión de 1,317.55 km², con latitud de 17°52'12" - 17°15'00" N y longitud de 91°15'00" - 90°59'24" W. El río abarca las comunidades de los principales poblados: El Tiradero, Estación Bari, La Cuchilla, Nueva Esperanza y La Palma (CONABIO, 2022).

Toma de muestras. Se realizó un muestreo mensual durante un año, de enero a diciembre. En cada muestreo se capturaron al menos 10 organismos reproductores:

cinco hembras y cinco machos. A cada pez se le tomaron las medidas de peso total (PT) y de longitud total (LT). Adicionalmente, se registraron datos fisicoquímicos del agua (oxígeno, pH, salinidad y temperatura) del sitio muestreado, y a diario se registraron los valores máximos y mínimos de temperatura mediante un datalogger USB. Con estos datos se estimaron los valores promedio diarios de temperatura.

Los organismos colectados se sacrificaron mediante una sobredosis de un anestésico natural a base de aceite de clavo y se sometieron a hipotermia durante 10 minutos (Batt *et al.*, 2005). A cada pez se le extrajeron las gónadas para describir el ciclo reproductor a nivel macroscópico y microscópico.

Preservación. Las gónadas se midieron en su longitud total (LT) con un ictiómetro convencional de 30 cm, marca Stainless Hardened®, con una precisión de ± 1 mm. El peso húmedo de las gónadas (PG) se obtuvo utilizando una balanza digital de la marca Rhino®, modelo BABOL, con una precisión de 100 g. El sexo de cada organismo se determinó mediante observación macroscópica. Para cada gónada se registraron la longitud y los anchos máximo y mínimo (mm). Posteriormente, se colocaron en pequeños sacos de gasa estéril. Se etiquetaron con los datos de colecta y se fijaron en solución de Bouin. Al transcurrir las 24 h de fijación, se transfirieron al alcohol etílico al 30% para su conservación hasta su análisis.

Observación y descripción macroscópica. El desarrollo y la madurez de cada una de las gónadas de hembras y machos de *I. meridionalis* se evaluaron mediante observación, directa con un microscopio estereoscópico, describiendo sus características morfológicas externas para identificar los diferentes estadios de madurez.

Técnica histológica para la observación de las gónadas. Las muestras fueron procesadas mediante técnicas histológicas convencionales (Prophet *et al.*, 1995). En donde cada una de las gónadas se deshidrató a concentraciones crecientes de etanol (50, 70, 80, 96 y 100 %) durante 45 min. Concluida la deshidratación, las muestras se sumergieron en soluciones alcohólicas al 100% y en xilol. Posteriormente, se impregnaron con parafina-Xilol (1:1), parafina 1 y parafina 2 (Paraplast® a 55-58 °C) durante 45 min. Las gónadas

fueron incluidas en parafina Paraplast® mediante un inclusor de marca Reichert-Jung®. Se obtuvieron cortes seriados de 7 µm de grosor empleando un micrótomo de rotación marca Thermo Scientific modelo HM 325; posteriormente, las laminillas fueron teñidas empleando las técnicas convencionales de Hematoxilina-Eosina (H-E), Tricrómica de Mallory (TM), Ácido peryódico de Schiff (PAS) y Tricrómica de Masson (Masson) (Prophet *et al.*, 1995).

Descripción y análisis microscópico (histológico). Se observó cada una de las laminillas en un microscopio fotónico de campo claro óptico Zeiss™ (modelo Axiostar Plus) y se realizó la toma de fotomicrografías con la cámara acoplada marca Axiocam ERc5s, mediante el programa ZEN versión 2012.

Machos: Se determinaron las etapas del desarrollo testicular con base en las características morfológicas de la gónada y en los estadios de la espermatogénesis, considerando las clasificaciones propuestas por Grier y Taylor (1998) y Grier y Uribe-Aranzábal (2009).

Hembras: Las etapas de desarrollo ovárico se clasificaron mensualmente en función de los rasgos morfológicos de los ovarios y de las etapas de ovogénesis, teniendo en cuenta el listado propuesto por Grier *et al.* (2009) y Grier (2012). En donde se determinó la sincronización del crecimiento gonadal, se seleccionó una placa de la porción media de la gónada; posteriormente, se midió el diámetro de los ovocitos utilizando el microscopio óptico Zeiss™ vinculado al programa AC AxioVision, con una precisión de ± 0.1 µm.

Análisis de datos. Se calculó el índice gonadosomático (IGS) y la fecundidad para la representación del grado de madurez sexual en ambos géneros, por medio de la fórmula tomada de (López *et al.*, 2012):

$$IGS = \left(\frac{PG}{PT} \right) \times 100$$

Donde: IGS = índice gonadosomático; PG = peso de las gónadas; y PT = peso total del pez.

Asimismo, se realizó un análisis de fecundidad gravimétrico, basado en el conteo total de ovocitos vitelogénicos e hidratados, considerando únicamente hembras en crecimiento secundario y en maduración (Ruiz *et al.*, 2001). Las asociaciones entre la longitud furcal y el número de ovocitos, así como entre el peso total y el número de ovocitos, se evaluaron mediante un análisis de regresión lineal (Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti, 2005).

El análisis de índices de factor de condición de Fulton (K) se realizó con el cálculo de la fórmula planteada por Froese (2006):

$$K = 100 \left(\frac{PT}{LT^3} \right)$$

Donde: K = factor de condición, PT = peso total del pez en gramos, LT = longitud total del pez en centímetros, y el factor 100 se usa para aproximar K a la unidad.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Las actividades agendadas por meses serán distribuidas de la siguiente manera:

ACTIVIDADES /MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Cursos básicos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x													
Cursos especializados													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Revisión de literatura especializada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Estancia en laboratorio especializado													x	x											
Colectas y preservación del material biológico							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
Descripción de las estructuras macroscópicamente									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
Deshidratación, inclusión, corte y tinción de muestras histológicas									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
Interpretación y descripción de las gónadas procesadas										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Descripción de las estructuras microscópicamente										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Introducción a sistemas de cultivo							x	x	x	x	x														
Inducción al desove												x	x	x	x										
Análisis de resultados									x	x	x	x	x	x	x										
Redacción y discusión de resultados obtenidos												x	x	x	x										
Presentación y defensa de resultados																									x

REFERENCIAS CITADAS

- Anzueto-Calvo, M., Velázquez-Velázquez, E., Gómez-González, A., Quiñonez, R.M., y Joysen-Olson, B. (2013). Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas, México. Colección Jaguar UNICACH. <http://www.unicach.edu.mx/>.
- Anzueto-Calvo, M., Velázquez-Velázquez, E., y Gómez-González, A.E. (2016). Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote y de la presa Nezahualcóyotl (Malpaso), Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87, 972–979, <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.002>
- Arce-H, M., Lundberg, J.G., y O'Leary, M. (2016). Phylogeny of the North American catfish family Ictaluridae (Teleostei: Siluriformes) combining morphology, genes, and fossils. *Cladistics*. 33(4), 406–428, <https://doi.org/10.1111/cla.12175>
- Barbieri, L.R., Dos Santos, R., y Andreatta, J.V. (1992). Reproductive biology of the marine catfish, *Genidens genidens* (Siluriformes, Ariidae), in the Jacarepagua Lagoon system, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Biology of Fishes*. 35, 23–35.
- Batt, J., Bennett-Steward, K., Couturier, C., Hammell, L., Harvey-Clark, C., Kreiberg, H., Iwama, G., Lall, S., Litvak, M., Rainnie, D., Stevens, D., Wright, J., y Griffin, G. (2005). Guidelines on: the care and use of fish in research, teaching and testing. Ottawa, Canada. *Canadian Council on Animal Care 2005*. URL: <http://www.ccac.ca>
- Bondari, K. (1990). Reproduction and genetics of the channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Reviews in Aquatic Sciences*. 2(3), 357-374.
- Bosworth, B.G., Wolters, W.R., Silva, J.L., Chamul, R.S., y Sinyoung, P. (2004). Comparison of Production, Meat Yield, and Meat Quality Traits of NWAC103 Line Channel Catfish, Norris Line Channel Catfish, and Female Channel Catfish x Male Blue Catfish F1 Hybrids. *North American Journal of Aquaculture*. 66(3), 177–183.
- Bosworth, B., Ott, B., y Torans, L. (2015). Effects of Stocking Density on Production Traits of Channel CatfishxBlue Catfish Hybrids. *North American Journal of Aquaculture*. 77(4), 437–443. <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1024363>
- Brooks, M., Burr-Melvin, L., Warren Jr., Y., y Micah, G.B. (2019). Ictaluridae: North American catfishes. *The Johns Hopkins University Press*. 23–100.

- Brown-Peterson, N.J., Wyanski, D.M., Saborido-Rey, F., Macewicz, B.J., & Lowerre-Barbieri, S.K. (2011). A Standardized Terminology for Describing Reproductive Development in Fishes. *Marine and Coastal Fisheries*, (3), 52–70. DOI: 10.1080/19425120.2011.555724 CONABIO (93. Río San Pedro), http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_093.html
- Contreras-Sánchez, W.M., Contreras-García, M.J., McDonald-Vera, A., Hernández-Vidal, U. y Cruz-Rosado, L. (2014). Avances en la inducción al desove y desarrollo embrionario en cautiverio de *Centropomus poeyi*. *KUXULKAB*. 20(38), 5–9.
- Chatakondi, N.G., Royer-Yant, D., Kristanto, A., Umali-Maceina, G.M., y Dunham, R.A. (2011). 6(42), 845–853.
- Chatakondi, N.G., y Kelly, A.M. (2013). Oocyte Diameter and Plasma Vitellogenin as Predictive Factors to Identify Potential Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, Suitable for Induced Spawning. *Journal of The World Aquaculture Society*. 1(44), 115-123.
- Chezik, K.A., Lester, P., y Venturelli, P.A. (2014). Fish growth and degree-days I: Selecting a base temperature for a within-population study. *Revista Canadiense de Pesca y Ciencias Acuáticas*. 1(71), 47–55.
- Dunham, R.A., y Elswad, A. (2018). Catfish Biology and Farming. *Annual Review of Animal Biosciences*, (6), 3.1-3.21. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014646>
- Elswad, A., Khallil, K., Ye, Z., Alsaqufi, A., Abdelrahman, H., Su, B., Perera, D.A., y Dong, S. (2019). Effects of Cecropin Transgenesis and Interspecific Hybridization on the Resistance to *Ichthyophthirius multifiliis* in Channel Catfish and Female Channel Catfish x Male Blue Catfish Hybrids. *North American Journal of Aquaculture*. (81), 242–252.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241–253. doi:10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
- González-Díaz, A.A., Rodiles-Hernández, R. y Soria-Barreto, M. (2017). Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. *Vulnerabilidad social y biológica ante el cambio climático en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote*. El Colegio de la Frontera Sur.

- Grier, H.J. y Taylor, R.G. (1998). Testicular maturation and regression in the common snook. *Journal of Fish Biology* 53, 521–542.
- Grier, H. J., y Uribe-Aranzabal, M. C. (2009). The testis and spermatogenesis in teleosts. In *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)*. Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny. Science Publishers, Enfield, New Hampshire. In Jamieson BGM, editor, (8) 119–142.
- Grier HJ, Uribe-Aranzabal, MC, Patiño R. (2009). The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes) Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire. In Jamieson BGM, editor, (8), 25-84.
- Grier HJ. (2012). Development of the Follicle Complex and Oocyte Staging in Red Drum, *Sciaenops ocellatus* Linnaeus 1776 (Perciformes, Sciaenidae). *J. Morphology* 2012; 273(8), 801–829.
- Gupta, S. (2014). Morphology, growth pattern, feeding, and reproductive biology of *Mystus gulio* (Hamilton-Buchanan, 1822) (Siluriformes: Bagridae). *Int. J. Aquat. Biol.* 2(4), 201-205.
- Jakobsen, T., Forgyat, M.J., Megrey, B. Y Moksness, E. (2009). Fish Reproductive Biology implications for assessment and management. *Blackwell Publishing Ltd*.
- Kumar, R.S., Ijiri, S., y Trant, J.M. (2000). Changes in the Expression of Genes Encoding Steroidogenic Enzymes in the Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) Ovary Throughout a Reproductive Cycle. *Biology Reproduction*. (63), 1676-1682.
- Lagler, K.F., Bardach, J.E., Miller, R.R. y May Passino, D.R. (1977). *Ichthyology*. John Wiley y Sons.
- Lan, R.P., y Tiersch, T. (2007). Early out-of-season induced spawning of channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) conditioned in heated earthen ponds. *Aquaculture Research*. 38, 498-507.
- Liu, Z., Brad, Li, P., Argue, B.J., y Dunham, R.A. (1997). Gonadotropin α -subunit glycoprotein from channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and its expression during hormone-induced ovulation. *Biología Molecular Marina y Biotecnología*. 6(3), 217-227.

- López-Macias, J.N. Salas-Benavides, J., Gómez-Cerón, y A.E. Sanguíno-Ortiz, W.R. (2012). Estudio gonadal de la sabaleta de la cuenca del patía (*Brycon sp.*) . *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 6(6), 1–20.
- Kumar, G., Li, M-H., Sabio, D.J., Mischke, C.C., Rutland, B., Tiwari, Aarattutthodiyil, S., Grifo, M.J., Khoo, L.H., Ott, B., Torans, L., y Tucker, C.S. (2019). Performance of Channel Catfish and Hybrid Catfish in Single-Batch, Intensively Aerated Ponds. *North American Journal of Aquaculture*. 81(4), 406–416. <https://doi.org/10.1002/naaq.10109>
- Medina-Sánchez, B.E. (2013). Aspectos reproductivos del bobo liso *Ictalurus meridionalis* (Siluriformes:ICTALURIDAE), en la cuenca alta del Río Usumacinta, México (Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco).
- Mendoza-Carranza, M. y Hernández-Franyutti, A. (2005). Annual reproductive cycle of gafftopsail catfish, *Bagre marinus* (Ariidae) in a tropical coastal environment in the Gulf of Mexico. *Hidrobiológica*, 15(3), 275–282. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57815304>
- Manzo-Delgado, H. 2000: “Efecto de cuatro densidades de siembra sobre el crecimiento de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) cultivado en estanques rústicos en Manzanillo, Colima. Tesis de maestría. Universidad de Colima. México. 53 p.
- Pérez-Castañeda, J.W. (2013). Composición de peces en la pesquería de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl, Chiapas, México. *Revista de Ciencias de la Unicach*. 1(7), 81–90.
- Prophet, B. E., Mills, B., Arrington, B. J., y Sobin, H. L. (1995). Métodos Histotecnológicos. Preparado por el Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América (AFIP). Washington D.C. 269 p.
- Rivera-Velázquez, G., Velázquez, L.Z., Marquez, R., Reyes-Escutia, F., Penagos-García, F.E., Velázquez-Velázquez, E., y Miceli-Méndez, C.L. (2015b). La pesquería en la presa Malpaso y en la Cooperativa Zoque, Chiapas, México. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. 90 p.

- Rodiles-Hernández, R., Lundberg, J.G., y Sullivan, P. (2010). Taxonomic Discrimination and Identification of Extant Blue Catfishes (Siluriformes: Ictaluridae: *Ictalurus furcatus* Group). *BioOne Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 159, 67–82.
- Rodríguez-Montes de Oca G. A.; Medina-Hernández E. A, Velázquez-Sandoval J., López-López V. V.; y Román-Reyes J. C. (2012). Production of “Chame” (Dormitator latifrons, Pisces: Eleotridae) larvae using GnRH α and LHRH α . *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2012; 25:422-429.
- Rodríguez-Pulido, J., Villamil-Rodríguez, J., Mira-López, T., Cruz-Casallas, P., y Baldisserotto, B. (2020). Gonadal Maturation in *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus* Hybrids (Siluriformes: Pimelodidae). *International Journal of Morphology*. 5(38), 1405–1411, <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022020000501405>
- Rosser, T.G., Khoo, L., Sabio, D.J., Mischke, C.C., Greenway, T.E., Alberson, N.R., Reichley, E.R., Woodyard, E.T., Steadman, J., Mercedes, C., Pote, L.M., and Grifo, M. (2019). Arrested Development of *Henneguya ictaluri* (Cnidaria: Myxobolidae) in ♀ Channel Catfish x ♂ Blue Catfish Hybrids ♂♀. *Journal of Aquatic Animal Health*. 32(2), 201–213. <https://doi.org/10.1002/aah.10070>
- Ruiz Dura, F. (1988). Fundamentos de embriología y fisiología de la reproducción. (1988). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ruiz-G, K., Rodríguez-M, J.A. Soto-R, R.L. (2001). Fecundidad de la anchoveta *Cetengraulis mysticetus* (PICES: Engraulidae) en la población de la parte interna del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *UNICIENCIA*, 1(18), 43–49. <http://hdl.handle.net/11056/25197>
- Saborido-Rey, F. (2008). Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC). Universidad de Vigo.
- Silverstein, J.T., Bosworth, B.G., y Wolters, W.R. (1999). Evaluation of Dual Injection of LHRH α and the Dopamine Receptor Antagonist Pimozide in Cage Spawning of Channel Catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of The World Aquaculture Society*, 2(30), 263-268.

- Soo-Kim, D., Cheol-Choi, G., y Bae-Kim, I. (1990). Induced Spawning of Chanel Catfish *Ictalurus punctatus* (Teleostomi: Siluriformes). *Journal of Aquaculture*. 3(1), 25-30.
- SIAP. 2019, Panorama Agroalimentario. SIAP, S. (2015). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 218 p.
- Tan-Fermin, J.D., Pagador, R.R., y Chavez, R.C. (1997). LHRHa and pimozide-induced spawning of Asian catfish *Clarias macrocephalus* (Gunther) at different times during an annual reproductive cycle. *Aquaculture*. (148), 323–331.
- UAEH (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo), <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/m4.html>.
- Varela-Romero, A., Ballesteros-Córdova, C.A., Ruiz-Campos, G., Sánchez-González, S., y Brooks, J.E. (2021). *Standing between Life and Extinction*. University of Chicago Press.
- Vidal, N., Teixeira de Mello, F., González-Bergonzoni, I., López-Rodríguez, A., Tesitore, G., País, J., Stebniki, S., Silva, I., y D'Antro, A. (2020). Long-term study of the reproductive timing of the Neotropical catfish *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874): Influence of temperature and river discharge. *Ecology of Freshwater Fish*. 29(2), 334-345, <https://doi.org/10.1111/eff.12518>

Capítulo II

Caracterización histológica de la ovogénesis en *Ictalurus meridionalis* (Ictaluridae) del río San Pedro, Balancán, Tabasco, México



Enviado: Revista Journal of Morphology.

Nombre de editorial: Wiley Online Library

Fecha de envío: 11 de enero del 2026

Histological characterization of oogenesis in *Ictalurus meridionalis* (Ictaluridae) from the San Pedro River, Balancán, Tabasco, Mexico.

Meritxell Sanlúcar-González¹, Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez^{1*}, Mari Carmen Uribe-Aranzábal² y Ulises Hernández-Vidal¹.

¹Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5. C.P. 86039, Tabasco, México.

²Laboratorio de Biología de la Reproducción Animal, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

*Corresponding author: contrerw@hotmail.com

ABSTRACT

Ictalurus meridionalis (Ictaluridae) is a species of importance to fisheries in southeastern Mexico, with acceptance in local markets and high aquaculture potential, as it adapts readily to captivity. Organisms were collected monthly in 2023 from the San Pedro River in Tabasco, Mexico, with the help of local fishermen. The annual reproductive cycle in females was described through a morphological and histological description of the ovaries. A total of 58 breeding females with an average size of 38.9 ± 7.26 cm were analyzed. *I. meridionalis* is an iteroparous species with a single annual breeding season. Its ovaries undergo synchronous maturation in groups. The ovaries are of the cystovarian type, having a central cavity. The ovarian wall shows lamellae with oocytes at different stages of development. Primary growing oocytes are observed throughout the year, although with a higher incidence between November and March. Mature oocytes had an average diameter of 2.33 ± 0.51 mm and were observed in June and July. Females in regression were observed between August and October, confirming that the reproductive season occurs between June and July.

Keywords: reproductive cycle, oocytes, vitellogenesis, smooth catfish.

INTRODUCTION

Catfish are one of the most diverse groups of fish in the world, and their ecological importance has been widely studied (Ferraris, 2007). More than 3,000 species have been described in this group, several of which have historically been harvested by artisanal fisheries. Hogan (2011) noted that catfish, particularly large ones, are prized by commercial, subsistence, and recreational fishermen worldwide. They currently exhibit negative fishery indicators, including reduced distribution, declining catch volumes, smaller fish sizes, and lower catch rates per unit effort (Hogan, 2011). This suggests that populations of numerous large catfish species are being negatively affected and that, in some cases, basic life-cycle elements have not yet been described. Given this situation, understanding their biology, behavior, and ecology is necessary to support sustainable fisheries management and appropriate aquaculture practices (Engle *et al.*, 2002; Hasibuan *et al.*, 2023a; Segaran *et al.*, 2023).

The number of catfish species in aquaculture has increased significantly in recent years. In Asia, pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*) has been introduced; in North America, channel catfish (*Ictalurus punctatus*); and in Africa, sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) (Ali *et al.*, 2013; Engle *et al.*, 2002; Lisachov *et al.*, 2023). Catfish are valuable in aquaculture because of their high adaptability to captivity, broad geographic distribution, tolerance of poor water quality, and resistance to various infectious diseases (Lisachov *et al.*, 2023).

Freshwater catfish belong to the family Ictaluridae, of the order Siluriformes. Its species are distributed in lakes and rivers of North and Central America, ranging from the Hudson Bay and St. Lawrence River basins in southern Canada, southward between the Rocky Mountains and the Atlantic coast, to northern Guatemala and Belize. They are also present on the Pacific slope of Mexico and discontinuously in the Yaqui River (Miller *et al.*, 2009). Their classification has been constantly modified, and Mexico is considered the center of speciation of the genus *Ictalurus*, with twelve species according to Miller *et al.* (2009) (*Ameiurus melas*, *Ictalurus balsanus*, *I. dugesii*, *I. furcatus*, *I. meridionalis*, *I. lupus*, *I. mexicanus*, *I. punctatus*, *I. pricei*, *Prietella lundbergi*, *P. phreatophila*, *Pyloodictis olivaris*). However, even with so many species, knowledge of freshwater catfish is very limited, and it is not known precisely how many species there are. Varela-Romero *et al.*

(2020) recognized only eight species of Ictaluridae in Mexico, four of which are listed by the Mexican government as species of conservation importance, while the others may be endangered. In addition to limited taxonomic knowledge about this group of catfish, there is little information on their biology, ecology, and fisheries management, putting them at risk of extinction.

I. meridionalis was recently validated as a species, as for years it was considered conspecific or a subspecies of *I. furcatus* (Rodiles-Hernández, 2010). However, in 1998, Gilbert redefined it as a species, and this was confirmed by Ruiz-Campos et al. (2009) and Rodiles-Hernández et al. (2010) based on morphometric characters. Despite being a species of importance to fisheries in southeastern Mexican states and being recognized for its high aquaculture potential, knowledge of its reproduction is limited (Pérez-Castañeda, 2013). Therefore, this investigation aims to contribute to knowledge of the species' reproductive characteristics by describing the annual reproductive cycle, including the microscopic morphology of the female gonads. This information can serve as a basis for strategies to establish sustainable fishing practices that protect the reproductive season.

MATERIALS AND METHODS

Origin of the organisms. The monthly fish samples used in this study were collected from the San Pedro River in the municipality of Balancán, Tabasco, Mexico (RS) during 2023. Fifty-eight breeding females were collected using authorized artisanal fishing methods; These collections were made with the collaboration of fishermen and within the area of influence of the “Ribereños de San Pedro” Fishermen's Cooperative Society, located at UTM coordinates, zone 15, N: X=696055.67, Y=1966065.24.

Sample collection. Reproductive females were selected from each sampling. Each female was measured for weight (W), total length (TL), standard length (SL), and height (H). The collected organisms were euthanized with an overdose of clove oil-based anesthetic and subjected to hypothermia for 10 minutes (Batt *et al.*, 2005). The gonads were removed from each female for macroscopic and microscopic description.

Sample preservation. The ovaries were measured in total length using a Truper® mixed digital Vernier caliper with a measurement range of 15 cm and an accuracy of 0.01 mm.

The wet weight of the ovaries (GW) was obtained using a Rhino® BAPO-01 digital scale with an accuracy of 0.1 g. The ovaries were placed in a sterile gauze bag, labeled with the collection data, and fixed in Bouin's solution for 24 hours. After the fixation period, they were stored in 50% ethyl alcohol until analysis.

Processing and histological analysis of the ovaries. Frontal and middle portions were taken from each ovary. The samples were dehydrated at progressive concentrations of ethyl alcohol (50, 70, 80, 96, and 100%) for 45 minutes at each concentration. Once dehydration was complete, the samples were immersed in a 1:1 solution of ethyl alcohol and xylene for clarification, then in absolute xylene. They were impregnated for 45 min with paraffin-xylene (1:1) and with paraffin sequences 1 and 2 (Paraplast® at 55-58 °C). The sections were embedded in paraffin to form a cube using a Reichert-Jung® embedding machine. Six-micron sections were obtained from the sections using a rotary microtome (Thermo Fisher Scientific®) and stained using hematoxylin-eosin (H&E), periodic acid-Schiff (PAS), and Mallory trichrome (Prophet *et al.*, 1995) techniques. After staining the tissue, observations were made using a Zeiss™ Axiostar Plus brightfield photonic microscope, and photomicrographs were taken with an Axiocam® ERc5s camera using ZEN® version 2012 software. The microscopic analysis was conducted using the classification proposed by Grier *et al.* (2009) and Grier (2012), which divides the reproductive cycle into steps and stages. Slides showing sections of the ovaries were selected to identify the steps. Based on these findings, five stages of ovarian development were identified in this study (Table 1).

The oocyte diameter was measured using a Zeiss® optical microscope and Axiovision AC® software (Carl Zeiss Microimaging). Thirty oocytes in the secondary growth and maturation stages were measured from each organism to determine the mean and standard deviation.

Data analysis. Relative frequency analyses were performed for the maturation steps and for the stages of females captured using the formula:

$$RFE = \left(\frac{Est_m}{Est_a} \right) \times 100$$

Where: RFE = Relative frequency of the stage; EST_m = Monthly count of the stage; EST_a = Total count of the stage observed during the sampling period.

The data were captured in Microsoft Excel spreadsheets (version 2021). A descriptive statistical analysis of the numerical variables was performed using Statgraphics Centurion® v19 software. Graphical analyses were performed using SigmaPlot® v14.5.

RESULTS

The average total length of the 58 *I. meridionalis* females collected was 39.17 ± 7.28 cm, with an average weight of 551.84 ± 402.23 g. The smallest female was captured in December, measuring 26.50 cm and weighing 350.05 g, while the largest was captured in September, measuring 66.50 cm and weighing 2,600.02 g.

The ovaries of *I. meridionalis* are located ventrally to the swim bladder and the kidneys, and dorsally to the intestines. They are paired sac-like or cystic organs with an internal lumen. Their caudal region forms a gonoduct connected to the urogenital papilla, which communicates with the outside (Fig. 1). Concerning histological characteristics, the ovarian wall consists of the germinal epithelium, which limits the lumen, the stroma or vascularized connective tissue, in which the ovarian follicles are located, the muscle tissue, and the serous tissue (Fig. 1).

The germinal epithelium of the ovaries is simple cuboidal, rests on a basement membrane, and is composed of somatic cells, including follicular cells, theca cells, and stromal cells, as well as germ cells (oogonia and oocytes) located in regions where cell nests develop. The nests are surrounded by pre-follicular cells, which will give rise to follicular cells (Fig. 2).

The stages of the reproductive cycle indicate that *I. meridionalis* has its breeding season between June and July. During these months, the oocytes mature and can reach a diameter greater than $1,200 \mu\text{m}$. In August, regressing ovaries are already observed, with almost all of their oocytes in follicular atresia, indicating the end of the reproductive season. Atretic oocytes were also observed in large numbers in the ovary in February, March, August, and October. In September, the development of new groups of oocytes begins, with a higher frequency of nests containing oogonia, oocytes with chromatin nucleoli, and oocytes in primary growth, with an average diameter of $404.88 \pm 157.84 \mu\text{m}$. Oocytes in secondary growth were more frequent in April and May (Fig. 3).

Description of the stages and steps of ovarian development in I. meridionalis

Ovogonium proliferation stage (OP). Oogonia proliferate by mitosis and can be located within the germinal epithelium; they are often even observed in the ovarian stroma bordering the germinal epithelium. Their structure has one or two spherical nucleoli, with an average diameter of $4.72 \pm 1.35 \mu\text{m}$ (Fig. 4).

Chromatin-nucleolus stage (CN). They were observed at the periphery of the germinal epithelium. Meiosis begins, forming an oocyte in chromatin-nucleolus with an average diameter of $102.52 \pm 32.48 \mu\text{m}$ (Fig. 4), observing the following steps:

Diplotene (CNed). In the nucleus of the oocytes, feathery chromosomes are observed separating, accompanied by some chiasmata. This step is maintained in the nucleus during the rest of oogenesis (Fig. 4).

Pachytene (CNp). In the center of the oocyte nucleus, condensed feathery chromosomes in the form of a cluster were observed (Fig. 4).

Primary growth stage (PG). From this stage onwards, the nucleus is called the germ vesicle; it is central, and the ooplasm is basophilic. The steps of nucleolus (PGon), multiple nucleoli (PGmn), perinucleolar (PGpn), lipid droplets (oil droplets), circumnuclear (PGod), and cortical alveoli (PGca) were observed. In addition, blood vessels were observed in the stroma. The end of folliculogenesis is defined as the point at which the oocyte is surrounded by epithelial cells and separated from the germinal epithelium by a basement membrane. Primary growth begins with a step referred to as oocyte with a nucleolus (Fig. 4).

Oocyte with a nucleolus (PGon). This is the first stage of primary growth; oocytes have an average diameter of $91.71 \pm 30.39 \mu\text{m}$. It consists of oocytes in which the germinal vesicle contains a single nucleolus, and the ooplasm is basophilic. At this stage, folliculogenesis comes to an end (Fig. 4).

Multiple nucleoli (PGmn). Two or more scattered nucleoli are found in the germinal vesicle. These oocytes have basophilic ooplasm. The diameter varies between 41.00 ± 8.06 and $186.38 \pm 96.69 \mu\text{m}$ (Fig. 5).

Perinucleolar (PGpn). The germinal vesicle has nucleoli at the periphery of its membrane. The oocytes have an average diameter of $244.63 \pm 130.13 \mu\text{m}$. At this stage, the zona pellucida of the oocyte begins to form. In the technique used, the zona pellucida in formation shows acidophilic staining (Fig. 5).

Cortical alveolar (PGca). The oocytes have an average diameter of $404.88 \pm 157.84 \mu\text{m}$. The cortical vesicles are located at the periphery of the oocyte. The zona pellucida is an eosinophilic, homogeneous layer with an average thickness of $2.22 \pm 0.94 \mu\text{m}$. The follicular cells are cubic (Fig. 5).

Oil droplets (PGod). The germ vesicle is ovoid and eccentric; lipid droplets are observed, scattered throughout the ooplasm or surrounding the periphery of the oocyte ooplasm. Small lipid droplets fuse to form larger droplets. The zona pellucida is similar to that observed in the previous stage. Oocytes have an average diameter of $592.48 \pm 177.84 \mu\text{m}$ (Fig. 5).

Secondary growth stage (Vitellogenesis) (SG). Vitellogenesis begins with the accumulation of vitelline globules in the ooplasm. This process occurs in three steps: early secondary growth (SGe), late secondary growth (SGI), and a fully grown oocyte (SGfg). Oocytes at this stage have an average diameter of $792.60 \pm 533.37 \mu\text{m}$ (Fig. 6).

Early secondary growth stage (SGe). The oocytes begin to accumulate vitelline globules, reaching an average diameter of $792.60 \pm 238.19 \mu\text{m}$. The vitelline globules are located at the periphery of the ooplasm. They are usually small, scattered among cortical alveoli and oil droplets, which are also located at the periphery of the ooplasm. The oil droplets continue to fuse. The zona pellucida continues to develop, with a thickness of $5.51 \mu\text{m}$. Theca follicular cells surrounding the oocyte are clearly visible (Fig. 6).

Late secondary growth (SGI). The oocyte has an average diameter of $1,007.33 \pm 225.42 \mu\text{m}$. At this stage, the vitelline globules are larger, and the cortical alveoli have shifted. They are more abundant at the periphery of the ooplasm, as are the oil droplets, which fuse with the cortical alveoli and, in some cases, form larger oil droplets (Fig. 6).

Full-grown oocyte (SGfg). The oocytes exhibit characteristics similar to those of the previous stage, but are larger ($1,024.84 \pm 728.67 \mu\text{m}$). There is an increase in vitelline globules, distributed throughout the oocyte and larger in size. The cortical alveoli and oil droplets are located at the periphery of the ooplasm. The follicular cells are cubic, and the theca surrounding the oocyte is more clearly visible (Fig. 6).

Oocyte maturation stage (OM). During this stage, the germinal vesicle migrates toward the animal pole, and the oil droplets continue to fuse; the vitelline globules are dispersed throughout the oocyte, fusing and occupying the center of the oocyte (Fig. 7).

Eccentric germinal vesicle (OMegv). The germinal vesicle is located at the animal pole. The oil droplets continue to fuse; the vitelline globules occupy most of the oocyte and have an average diameter of $1,148.44 \pm 539.17 \mu\text{m}$ (Fig. 7).

Germ vesicle migration stage (OMgvm). The germinal vesicle is observed at the periphery of the ooplasm, at the animal pole, and the vitelline practically covers the oocyte (Figs. 7B and 7C). The oocyte diameter increases to an average of $1,229.58 \pm 353.33 \mu\text{m}$. (Fig. 7).

Regression-atresia. This process corresponds to follicular degradation; atresia is not considered a stage or phase of oogenesis, but it is part of fertility regulation. Atretic oocytes can occur at any stage of oogenesis, but their increased frequency indicates that the ovaries are in regression. Atretic oocytes were identified by degeneration, stratification, and proliferation of follicular cells; folding and rupture of the zona pellucida; differentiation of phagocytes; resorption; and disintegration of the oocyte, which loses its regular shape (Fig. 8).

DISCUSSION

This study is pioneering in its description of the reproductive cycle of wild female catfish (*I. meridionalis*). The species exhibits synchronous group ovarian development, with both large and small oocytes observed in the gonad, a pattern described by Wallace (1981), Murua and Saborido-Rey (2003), and Uribe *et al.* (2016) for various teleost species, both marine and freshwater. Histological analysis indicates that the species exhibits iteroparous reproduction, with a single breeding season during the year, between June and July. The frequency of the maturation stage increases significantly in July, demonstrating that *I. meridionalis* is a seasonally reproducing species. In August, the highest proportion of fish with atretic oocytes was observed, indicating the end of the reproductive cycle; however, previtellogenic oocytes were observed simultaneously, indicating that the reproductive cycle had restarted in fish that had already spawned during this period. Observations indicate that *I. meridionalis* spawns most of its oocytes; females captured at this stage have flaccid ovaries with abundant fluid and few white, brown, or black oocytes, unlike the maturation stages, when the ovaries contain abundant mature oocytes of an intense yellow color. This condition, observed in our study, is

consistent with that reported in channel catfish (*I. punctatus*), where females spawn only once a year (Wellborn, 1988).

The ovary of *I. meridionalis* is cystovarian or saccular. Its ovarian wall is folded, forming lamellae with oocytes that, when they have completed their development, are released into the lumen. Ovogonium proliferation and folliculogenesis occur in the stroma-rich germinal epithelium. These observations are consistent with those reported in most teleost fish (Spadella *et al.*, 2008; Grier *et al.*, 2009). The ovaries of *I. meridionalis* are located between the swim bladder and the intestines, which is similar to what has been described in other Siluriformes such as *Pimellodella vittata* (Sales *et al.*, 2012), *Itheringichthys labrosus* (Santos *et al.*, 2006; dos Santos *et al.*, 2019), and *Scoloplax distolothrix* (Spadella *et al.*, 2008).

In the fish captured throughout the study year, the stages of oogonia proliferation, chromatin-nucleolus, primary growth, secondary growth, and maturation were identified. In the chromatin-nucleolus stage, the meiotic stages of pachytene and diplotene were observed. In the primary and secondary growth stages, all known stages were identified, except in the maturing oocyte stage, where only the eccentric germinal vesicle and germinal vesicle migration were identified. The characteristics of the presented stages are similar to those described by Grier *et al.* (2009) for most teleost fish.

The stage that was not observed was ovulation; this may have been due to difficulty capturing organisms during those months. *I. meridionalis* may build nests during the spawning season, as do other catfish species (Bessa *et al.*, 2021), and females near spawning may be in nests, making capture difficult. In the case of females that had already spawned, they were possibly engaged in parental care, as it has been reported that other catfish species, and in particular the closely related species *I. punctatus*, both males and females, engage in parental care (Wellborn, 1988; Bessa *et al.*, 2021; Blumer, 1986; Clemens & Sneed, 1957).

The primary growth stage with multiple nucleoli was observed frequently throughout the year. The steps that always occurred in similar abundance were oocyte cortical alveolar and oil droplet formation. On some occasions, females presented oocytes with oil droplets, while most of the ovary showed earlier stages. This situation is described by Grier *et al.* (2009) based on ooplasmic characteristics observed during the primary growth

stage. These same authors note that in freshwater fish, the cortical alveolar step precedes the oil droplet step. In contrast, in marine fish, the opposite is true: oil droplets appear first, followed by cortical alveoli. In the case of *I. meridionalis*, these two steps constantly developed simultaneously and with equal abundance. Most females presented maturing oocytes, with numerous vitellogenic oocytes, similar to that described by Wallace (1981), Murua and Saborido-Rey (2003), and Uribe *et al.* (2016).

Throughout the study cycle, atretic oocytes were observed, with higher numbers in August, indicating that the females were approaching the end of the reproductive season. Females with regressing ovaries were also observed in October, indicating that some females in this population spawned in August and September and could be considered late spawners. Unfortunately, during those months, attempts to capture females were complicated and unsuccessful, possibly due to the species' reproductive behavior, including courtship, spawning sites, and parental care. It is possible that *I. meridionalis* behaves like other catfish that spawn at the bottom of water bodies, in isolated and semi-dark areas, in holes or cavities, substrates, or inside hollow logs, and that the parents protect the eggs for a time by evading capture, as has been described for catfish and the freshwater catfish *I. punctatus* (Wellborn, 1988; Bessa, *et al.*, 2021). The presence of females with regressing oocytes in February and March could be associated with the reabsorption of defective cells during maturation or with stress induced by various environmental factors. Some of these factors already recorded are environmental stress, high ambient temperature prior to maturation, long photoperiod, long light waves, presence of contaminants in the environment, overfishing, and even the stress of captivity to which fish are subjected immediately after capture can cause alterations in gonadal development (Valdebenito *et al.*, 2011).

The timing of reproduction in *I. meridionalis* during the summer coincides with that described for *I. punctatus* in Bulgaria (Hubenova *et al.*, 2014) and for *S. silondia* in Bangladesh (Akhi *et al.*, 2024), both of which have summer breeding seasons. In contrast, *I. meridionalis* differs from what has been published for *I. labrosus*, which has a long reproductive season, with mature ovaries from August to January (dos Santos *et al.*, 2019), and from *N. microps* of southeastern Brazil, which has its reproductive season in September to November, corresponding to spring, with a peak in November (Carvalho-

Alves *et al.*, 2019). Although *I. meridionalis* reproduces only during a few months of the year, females were observed in ovarian development throughout the annual cycle. This coincides with observations in other catfish species (Dykova *et al.*, 2024; Duarte *et al.*, 2007). Other species have been reported to have more than one breeding season during the year; such is the case of *Sciades herzbergii* from northern Brazil, which has two peaks of reproductive activity, one in summer (December and March) and another in autumn (April and July) (Queiroga *et al.*, 2012). Multiple spawnings can occur in the same season or throughout the annual cycle; for example, *Synodontis multipunctatus* spawns several times in Lake Tanganyika in early March (Dykova *et al.*, 2024). *L. spixii* spawns several times throughout the year (Duarte *et al.*, 2007).

It is important to note that, to achieve sustainable management of the species, artisanal fisheries are advised to suspend fishing during the breeding season, from June to August. If the species is to be introduced into farming systems for reproduction, shelters and conditions that prevent stress and promote good oogenesis should be considered.

CONCLUSION

The morphology of the ovaries and the development of oogenesis in *I. meridionalis* are similar to those described in other teleost fish species (Grier *et al.*, 2009; Grier, 2012). *I. meridionalis* has a short reproductive season during its annual cycle, in June and July, displaying iteroparous reproduction with synchronous ovarian development in groups. This information provides biological and ecological data to develop policies for the sustainable management of the species. It serves as a basis for future protocols on spawning induction and management in captivity.

BIBLIOGRAPHY

- Ali, H., Haque, M. M., & Belton, B. (2013). Striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878) *Aquaculture in Bangladesh: an overview. Aquaculture Research*, 44(6), 950–965.
- Akhi, F.J., Haque, S.M., Miah, M.I. & Haque, M.A. (2024). Ovarian histology of the freshwater catfish *Silonia silondia* (Hamilton, 1822). *Heliyon*, (10)13, e33812. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33812

- Batt, J., Bennett-Steward, K., Couturier, C., Hammell, L., Harvey-Clark, C., Kreiberg, H., Iwama, G., Lall, S., Litvak, M., Rainnie, D., Stevens, D., Wright, J., & Griffin, G. (2005). Guidelines on: the care and use of fish in research, teaching, and testing. Ottawa, Canada. Canadian Council on Animal Care 2005. URL <http://www.ccac.ca>
- Bessa, E., Brandão, M. L., & Gonçalves-de-Freitas, E. (2021). Integrative approach on the diversity of nesting behaviour in fishes. *Fish and Fisheries*, 23(3), 564–583.
- Blumer, L.S. (1986). Parental care sex differences in the brown bullhead, *Ictalurus nebulosus* (Pisces, Ictaluridae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 19, 97–104.
- Brooks, M., Burr-Melvin, L., Warren Jr., & Micah, G.B. (2019). *Ictaluridae*: North American catfishes. *The Johns Hopkins University Press*. 23–100.
- Burelos-Ramos, C.M., López-Dobrusin, E., Morales-Rodríguez, N.E.M., Rosales-Rosado, S., Asencio-Rivera, J.M. & Cardeño-Resendis, P. (2024). La historia de Wanha'. *Kuxulkab*, 30(68), e6381.
- Carvalho-Alves, V., Guedes-Brito, M.F., & Pellegrini-Caramaschi, E. (2019). Reproductive biology of the armored catfish *Neoplecostomus microps* in a coastal Atlantic Forest stream, southeastern Brazil. *Aquatic Biology*, (28), 45–53. <https://doi.org/10.3354/ab00706>
- Chávez-Lomelí, M.O., Mattheeuws, A.E. & Pérez-Vega, M.H. (1988). Biología de los peces del río San Pedro, con el fin de determinar su potencial para la piscicultura. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Villahermosa, Tabasco. 222 p.
- Clemens, H.P., & Sneed, K.E. (1957). Spawning behavior of the channel catfish *Ictalurus punctatus*. United States Department of the interior fish and wildlife service.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2023). Estudio previo justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Wanha'. Tabasco, México. <https://www.conanp.gob.mx/EPJ-RB-wanha>.
- Dos Santos, J.E., Marcon, L., Guedes-Brito, M.F., Guimarães-Sales, N., Rizzo, E. & Bazzoli, N. (2019). Reproductive biology of the Neotropical catfish *Iheringichthys labrosus* (Siluriformes: Pimelodidae), with anatomical and morphometric analysis of

- gonadal tissues. *Animal Reproduction Science*, 209 (2019), 106173. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106173>
- Duarte, S., Gerson-Araújo, F., Sales, A. & Bazzoli, N. (2007). Morphology of Gonads, Maturity and Spawning Season of *Loricariichthys spixii* (Siluriformes, Loricariidae) in a Subtropical Reservoir. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50 (6), 1019–1032.
- Dunham, R.A., y Elasmad, A. (2018). Catfish Biology and Farming. *Annual Review of Animal Biosciences*. (6), 3.1-3.21. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014646>
- Dykova, I., Zack, J., Blazek, R., Zimmermann, Polacik, M., Bartáková, V. & Reichard, M. (2024). Oogenesis, Spermatogenesis, and spermiation structures in Like Tanganyika *Synodontis* species (Mochokidae, Teleostei: Siluriformes). *Journal of Vertebrate Biology*. 73, 24023. DOI: 10.25225/jvb.24023.
- Engle, C. R., Hanson, T., & Kumar, G. (2022). Economic history of US catfish farming: Lessons for growth and development of aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 26(1), 1–35.
- Estrada-Flores, E. & Uribe-Aranzábal, M.C. (2002). Atlas de Histología de Vertebrados, Facultad de Ciencias.
- Ferraris, C.J. (2007). Checklist of catfishes, recent and fossil (Osteichthyes: Siluriformes), and catalogue of siluriform primary types. *Zootaxa*, 1418(1), 1–628.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241–253. doi:10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
- Gilbert, C. (1978). Type catalogue of the North American cyprinid fish genus *Notropis*. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, 23(1), 1–104.
- Grier HJ, Uribe MC, Patiño R. (2009). The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. In Jamieson BGM, editor. *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)*. Science Publishers, *Enfield, New Hampshire*; 2009. 8, 25–84. (Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny).

- Grier HJ. (2012). Development of the Follicle Complex and Oocyte Staging in Red Drum, *Sciaenops ocellatus* Linnaeus 1776 (Perciforms, Sciaenidae). *Journal of Morphology*, 273(8), 801–829.
- Hasibuan, S., Syafridiman, S., Aryani, N., Fadhli, M., & Hasibuan, M. (2023). The age and quality of pond bottom soil affect water quality and production of *Pangasius hypophthalmus* in the tropical environment. *Aquaculture and Fisheries*, 8(3), 296–304.
- Hogan, Z. (2011). Ecology and conservation of large-bodied freshwater catfish: a global perspective. In American Fisheries Society Symposium (Vol. 77, pp. 39–53).
- Hubenova, T., Iliev, I. y Zaikov, A. (2014). Reproductive Biology of the Channel Catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.) Reared in Heated Water. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(4), 957–961.
- Lisachov, A., Nguyen, D. H. M., Panthum, T., Ahmad, S. F., Singchat, W., Ponjarat, J., Jaisamut, K., Srisapome, P., Duengkae, P., Hatachote, S., Sriphairoj K., Muangmai N., Unajak S., Han K., Na-Nakorn U., Srikulnath, K. (2023). Emerging importance of bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) and north African catfish (*C. gariepinus*) as a bioresource and their genomic perspective. *Aquaculture*, 573. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739585>.
- López-Macías, J.N., Salas-Benavides, J., Gómez-Cerón, & Sanguíno-Ortiz, A.E. (2012). Estudio gonadal de la sabaleta de la cuenca del Patía (*Brycon* sp.). *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 6(6), 1–20.
- Miller, R.R., Minckley, W.L., & Norris, S.M. (2009). Peces dulceacuícolas de México. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, *El Colegio de la Frontera Sur, Consejo de los Peces del Desierto*. 559 pp.
- Murua, H. y Saborido-Rey, F. (2003). Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 33, 23–31. <https://doi.org/10.2960/J.v33.a2>
- Parenti, L.R., & Grier, H.J. (2004). Evolution and Phylogeny of Gonad Morphology in Bony Fishes. *Integrative and Comparative Biology*, 44(5), 333–348. <https://doi.org/10.1093/icb/44.5.333>

- Pérez-Castañeda, J.W. (2013). Composición de peces en la pesquería de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl, Chiapas, México. *Revista de Ciencias de la UNICACH*, 1(7), 81–90.
- Prophet, B.E., Mills, B., Arrington, B. J., & Sobin, H. L. (1995). *Métodos Histotecnológicos*. Preparado por el Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América (AFIP). Washington D.C. 269 p.
- Queiroga, F.R., Golzio, J.E., dos Santos, R.B., Martins, T.O. y Vendel, A.L. (2012). Reproductive biology of *Sciades herzbergii* (Siluriformes: Ariidae) in a tropical estuary in Brazil. *Zoologia*, 29(5), 397-404.
doi: 10.1590/S1984-46702012000500002
- Rodiles-Hernández, R., Lundberg, J. G., & Sullivan, J. P. (2010). Taxonomic discrimination and identification of extant blue catfishes (Siluriformes: Ictaluridae: *Ictalurus furcatus* Group). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 159(1), 67–82.
- Ruiz-Campos, G., de Lourdes Lozano-Vilano, M., & García-Ramírez, M. E. (2009). Morphometric comparison of blue catfish *Ictalurus furcatus* (Lesueur, 1840) from northern and southern Atlantic drainages of Mexico. *Bulletin, Southern California Academy of Sciences*, 108(1), 36-44.
- Sales, N.G., Dos Santos, S.A., Arantes, F.P., Hojo, R. E. S. & Dos Santos, J. E. (2012). Ovarian structure and Oogenesis of Catfish *Pimelodella vittata* (Lüken, 1874) (Siluriformes, Heptapteridae). *Journal of Veterinary Medicine*, 42(2013), 213-219.
doi: 10.1111/ahe.12004
- Santos, J.E., Padilha, G.E.V., Bomcompagni-Júnior, O., Santos, G.B., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2006). Ovarian follicle growth in the catfish *Iheringichthys labrosus* (Siluriformes: Pimelodidae). *Tissue & Cell*, 38(2006), 303–310.
<https://doi:10.1016/j.tice.2006.07.002>
- Segaran, T. C., Azra, M. N., Piah, R. M., Lananan, F., Téllez-Isaías, G., Gao, H., Torsabo, D., Kari, Z.A. & Noordin, N. M. (2023). Catfishes: A global review of the literature. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20081>
- Spadella, M.A., Oliveira, C. & Quagio-Grassiotto, I. (2008). Morphology and Histology of Male and Female Reproductive Systems in the Inseminating Species *Scoloplax*

- distolothrix* (Ostariophysi: Siluriformes: Scoloplacidae). *Journal of Morphology*. 9(269), 1114–1121. <https://doi.org/10.1002/jmor.10647>
- Uribe, M.C., Grier, H.J., García-Alarcón, A. & Parenti, L.R. (2016). Oogenesis: From Oogonia to Ovulation in the Flagfish, *Jordanella floridae* Goode and Bean, 1879 (Teleostei: Cyprinodontidae). *Journal of Morphology*, (277)10, 1339–1354. <https://doi.org/10.1002/jmor.20580>
- Varela-Romero, A., Ballesteros-Córdova, C.A., Ruiz-Campos, G., Sánchez-González, S., & Brooks, J. E. (2021). Recent Discoveries and Conservation of Catfishes, Genus *Ictalurus*, in México. In K.R. Bestgen, C.W. Hoagstrom, D.L. Propst, & J.E. Williams (Eds.), *Standing between life and extinction: ethics and ecology of conserving aquatic species in North American deserts*. *University of Chicago Press*. 285–293.
- Valdebenito, I., Paiva, L., y Berland, M. (2011). Atresia folicular en peces teleósteos: una revisión. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 43, 11–25.
- Wallace, R.A. (1981). Cellular and Dynamic Aspects of Oocyte Growth in Teleosts. *American Zoologist*, 21 (2), 325–343. <https://doi.org/10.1093/icb/21.2.325>
- Wellborn, T.L. (1988). Channel Catfish Life History and Biology. *Texas Agricultural Extension Service*, 180, L-2402.

TABLES

Table 1. Stages and Stages of oogenesis observed in *I. meridionalis* throughout the study (based on Grier *et al*, 2009).

Stage	Oocyte Step	Code	This study
Ovogonial proliferation	<i>Ovogonia nests</i>	OP	Observed
	<i>Leptotene</i>	CNI	N.O.
Chromatin-nucleolus	<i>Zygotene</i>	CNz	N.O.
	<i>Pachytene</i>	CNp	Observed
	<i>Early Diplotene</i>	CNed	Observed
	<i>One- nucleolus</i>	PGon	Observed
Primary growth	<i>Multiple nucleoli</i>	PGmn	Observed
	<i>Perinucleolar</i>	PGod	Observed
	<i>Circumnuclear oil droplets</i>	PGca	Observed
	<i>Cortical alveolar</i>	SGca	Observed
	<i>Early secondary growth</i>	SGe	Observed
Secondary growth	<i>Late secondary growth</i>	SGL	Observed
	<i>Full-grown oocyte</i>	SGfg	Observed
	<i>Eccentric germinal vesicle</i>	OMegv	Observed
Oocyte maturation	<i>Germinal vesicle migration</i>	OMgvm	Observed
	<i>Germinal vesicle breakdown</i>	OMgvb	N.O.
	<i>Meiosis resumes arrest</i>	OMmr	N.O.
	<i>Eggs released</i>	OV	N.O.

N.O. = Not Observed

FIGURES

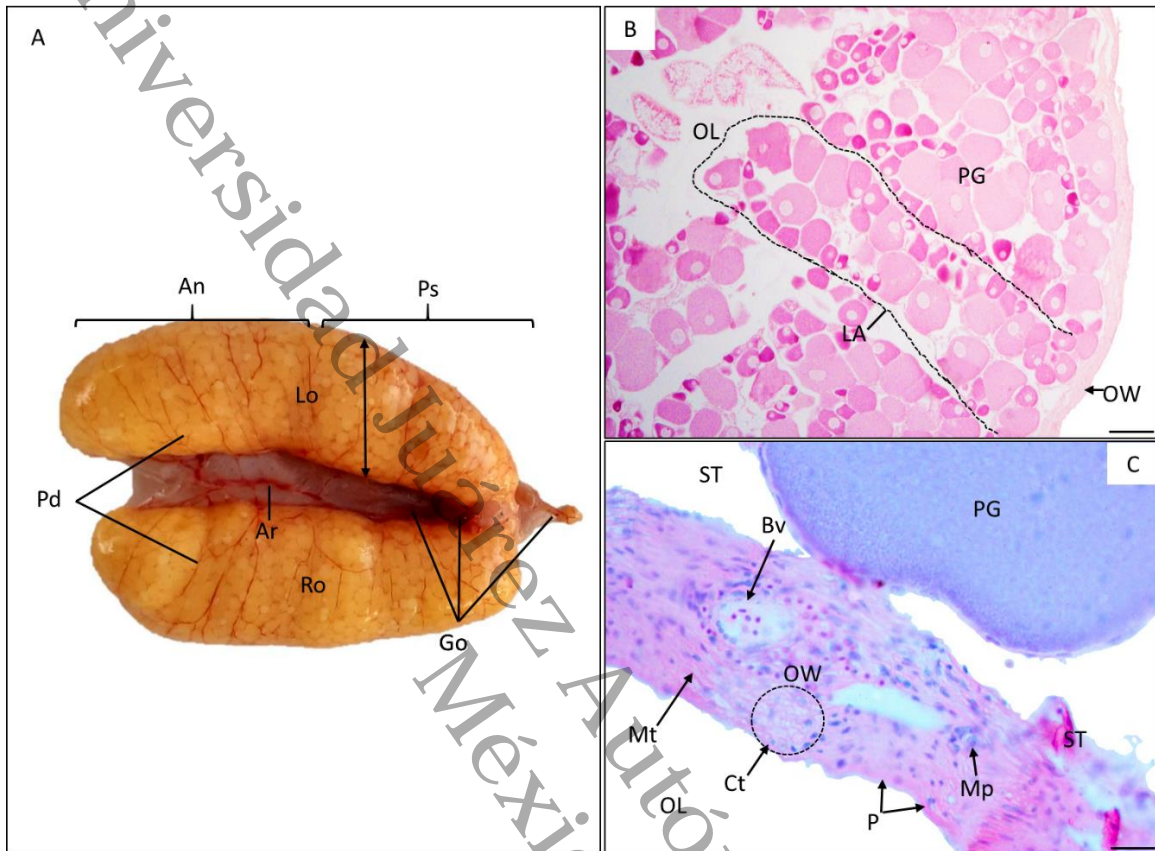


Figure 1. Morphological structure of the *I. meridionalis* ovary. A) Macroscopic image of the left (Lo) and right (Ro) ovaries showing the anterior (An) and posterior (Ps) sections of the gonad from a dorsal perspective. The gonoduct (Go) and the main artery (Ar) are visible. B) The species has a saccular (cystovarian) ovary; during development, it forms sheets (LA) that progress towards the lumen (Lu). On one side of the ovarian lumen, the ovarian wall is visible (OW). Previtellogenic oocytes (PG) are observed, and the ovarian wall is thin (100x, H-E). C) Ovarian wall (OW). Muscle tissue (Mt) and connective tissue (inside the circle) are observed (Ct); the ovarian wall is surrounded by the peritoneum (P). Blood vessels (Bv), melanomacrophages (Mp), ovarian stroma (ST), and a previtellogenic oocyte (PG) are observed adjacent to the ovarian wall at 10x magnification under H-E staining.

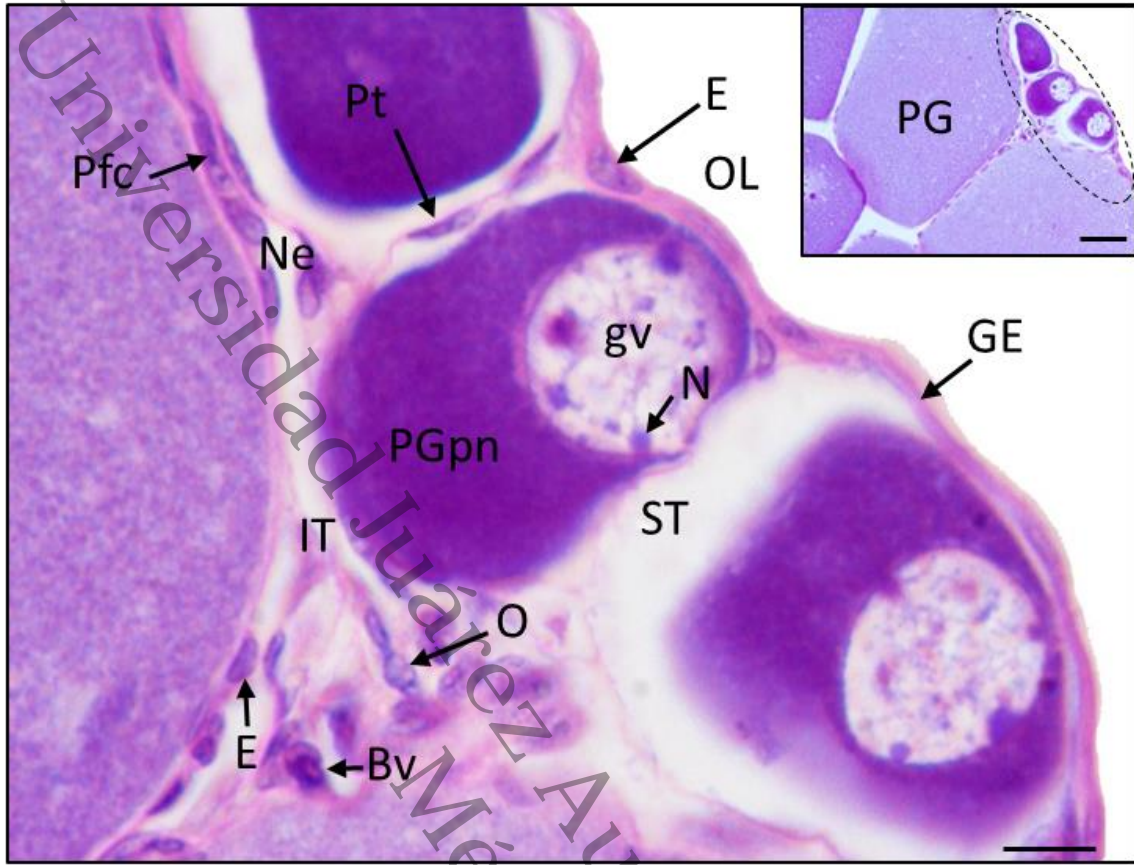


Figure 2. The ovarian lumen (OL) is surrounded by germinal epithelium (GE). A detail of epithelial (E) or follicular cells is shown. A cell nest (Ne) and interstitial tissue (IT) are shown in the germinal epithelium. Ovogonia (O), a blood vessel (Bv), and prefollicular cells (Pfc) are visible. At the top of the cell nest, perinucleolar oocytes (PGpn) attached to the germinal epithelium are noticeable. Within the germinal vesicle (gv), nucleoli are observed at the periphery. 100x, H-E. The upper inset shows previtellogenic (Pg) oocytes with pretecal (Pt) cells.

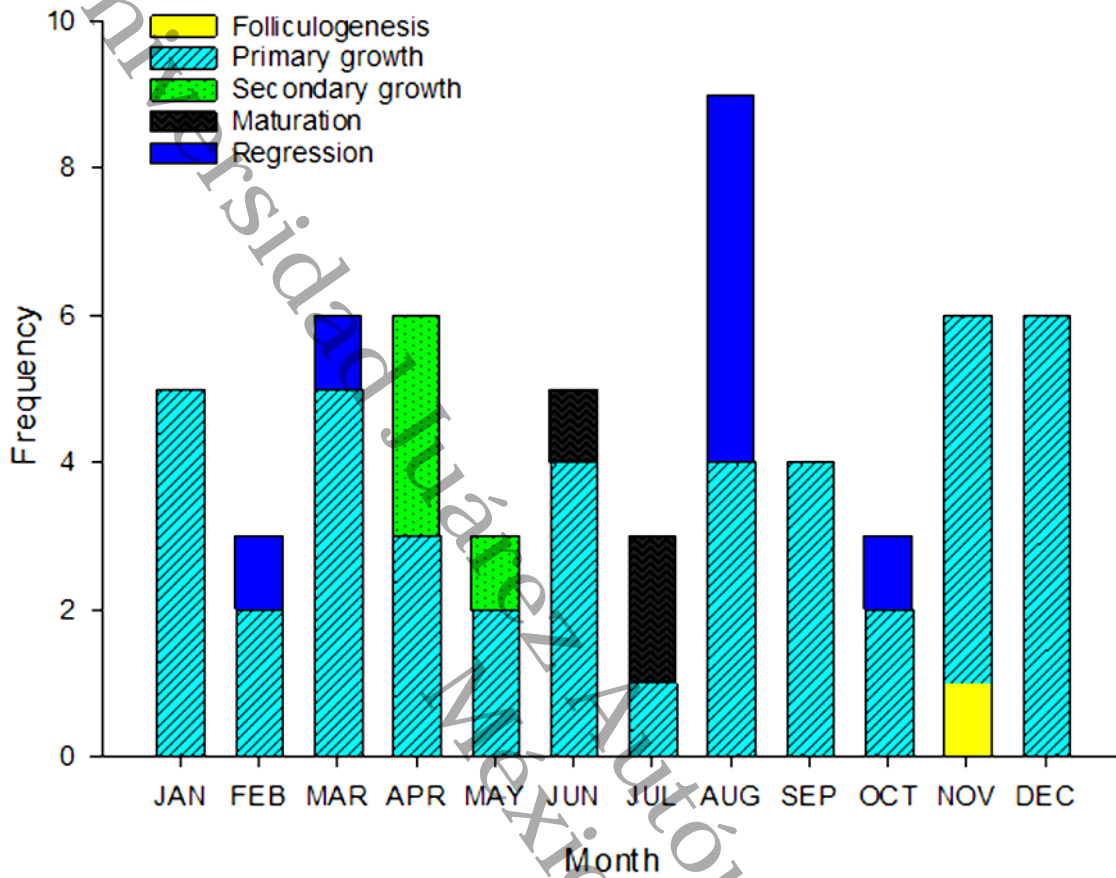


Figure 3. Frequency of the stages of the annual reproductive cycle of breeding females of *I. meridionalis* throughout the annual reproductive cycle in the Rio San Pedro, Balancán, Mexico.

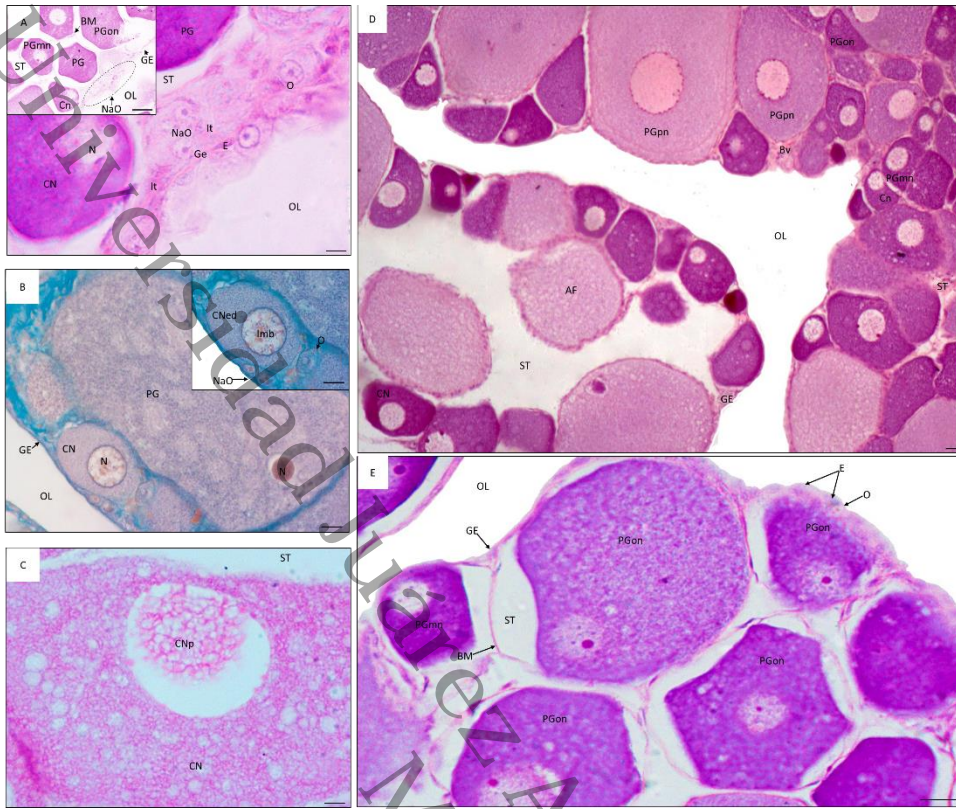


Figure 4. Oocytes at different stages during folliculogenesis and primary growth of *I. meridionalis*. 100X. B) Oocyte in chromatin-nucleolus (CN) with its nucleus (N) and detail of the germinal epithelium (GE) with scattered and nested ovogonia (O) (NaO). A previtellogenic (PG) oocyte with its nucleus is shown in the upper part of the slice. The inset at higher magnification shows this oocyte in the chromatin-nucleolus (CN) stage, with the nucleolus and brush-like chromosomes, indicating that the oocyte is at the diplotene stage (CNed). Nests of ovogonia (NaO), germinal epithelium (GE), and ovogonia (O) are also present—Mallory's trichrome, 40x and 100x. C) Oocyte in chromatin-nucleolus at pachytene stage (CNp), where the chromosomes are observed condensed, in the upper part of the oocyte, the stroma is observed (ST), H-E, 100x. D) View of oocytes in primary growth stage, with perinucleolar oocytes (PGpn), oocytes in chromatin-nucleolus (CN), atretic oocytes (AF) in the stroma (ST) 10x. E) Oocytes of size $91.71 \pm 30.39\mu\text{m}$ are spherical oocytes presenting a single prominent basophilic nucleolus (PGon), showing in addition the basement membrane (BM) around the oocytes with multiple nucleoli (PGmn), and at the periphery of the lamella is shown the germinal epithelium (Ge) with epithelial cells (E) and ovogonia (O). The stroma (ST) surrounds the follicles H-E, 40x.

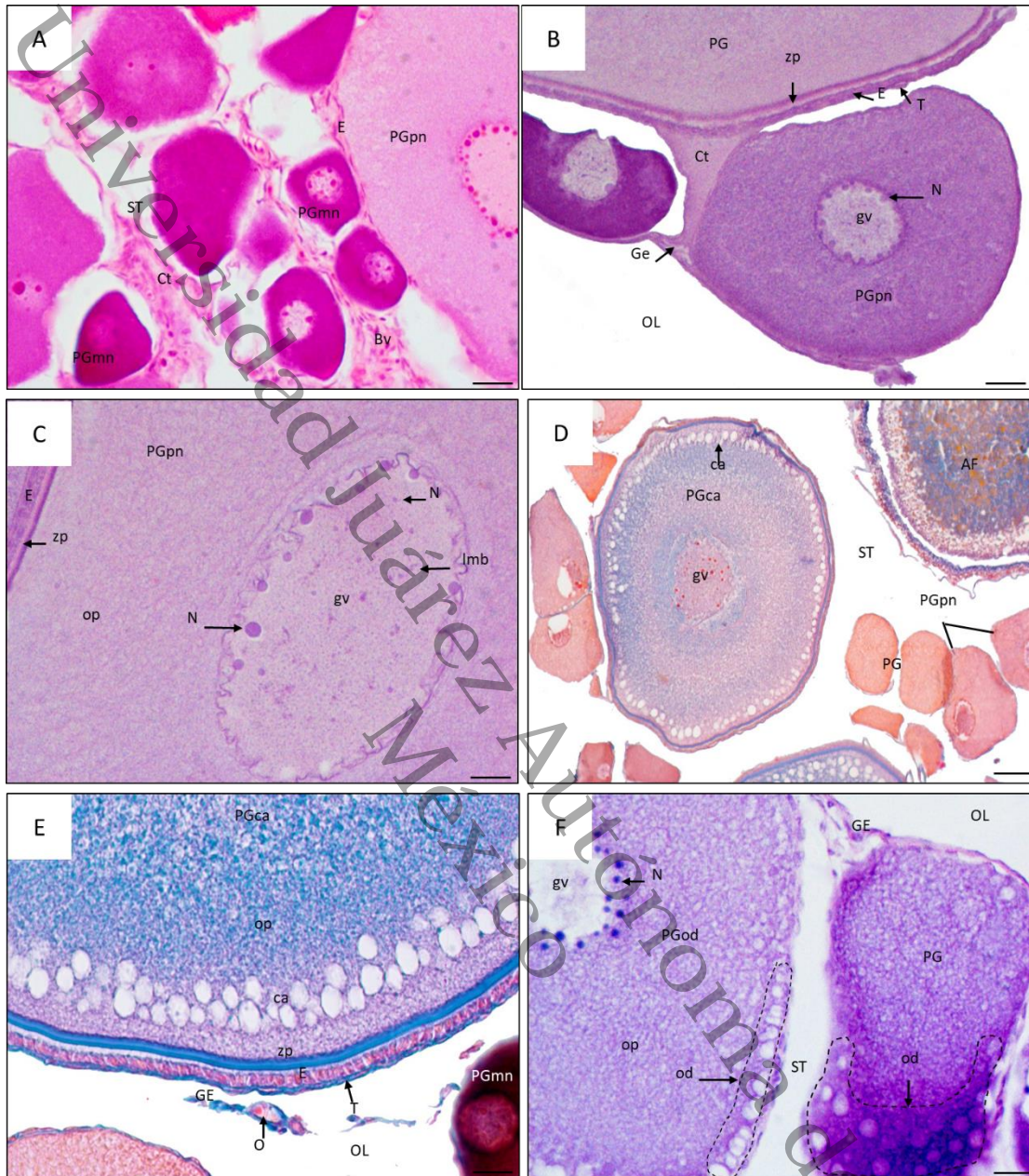


Figure 5. Oocytes in primary growth during oogenesis of *I. meridionalis*. A) Oocytes with multiple nucleoli, in these oocytes are shown two or more nucleoli with irregular location within the germinal vesicle (PGmn), submerged in the stroma (ST), they have a size of $186.38 \pm 96.69 \mu\text{m}$ and surrounded by blood vessels (Bv), its ooplasm is basophilic, perinucleolar stage oocyte (PGpn) is shown where the nucleoli are directed towards the periphery of the germinal vesicle, and epithelial cells are observed (E), it is a basophilic oocyte with a size of $244.63 \pm 130.13 \mu\text{m}$, H-E, 10x. B) Perinucleolar stage oocytes (PGpn) showing the detail of nucleoli (N) at the periphery of their germinal vesicle (gv), some oocytes still in the germinal epithelium (GE), the slide shows a previtellogenic (PG) oocyte in which its zona pellucida (zp), epithelial (E) and theca cells (T) are appreciated, PAS, 40x. C) Perinucleolar stage basophilic oocyte (PGpn) with germinal vesicle (gv) with peripheral nucleoli and feathery chromosomes (lmb), zona pellucida (zp) surrounding the

ooplasm (op) and follicular cells (E), PAS, 100x. D) Oocyte in cortical alveoli stage, where vesicles are observed in the periphery or scattered in this area (PGca), in the germinal vesicle (gv) nucleoli (N) are observed giving positive staining reaction with a size of $404.88 \pm 157.84 \mu\text{m}$, stromal cells (ST), and an atretic oocyte (AF), Mallory's trichrome, 10x. E) Section of a cortical alveoli stage oocyte (PGca) where the germinal epithelium (GE) is observed partially surrounding it, and an ovogonia (O) is observed at the periphery of the ooplasm. The zona pellucida (zp) and cuboidal epithelial cells are observed at the periphery of the oocyte, which in turn is surrounded by the theca (T). Two adjacent previtellogenic (PG) oocytes are seen, one of which is a multiple-nucleoli oocyte (PGmn) with positive staining. Mallory's trichrome, 40x. F) Basophilic oocytes in oil droplet or lipid droplet stage located at the periphery of the ooplasm (O) progressively increasing for energy storage (PGod), the oocyte with a size of $182.48 \pm 77.84 \mu\text{m}$, germinal epithelium (GE). Detail of an oocyte with nucleoli in the germinal vesicle (gv) and adjacent stromal tissue (ST), H-E, 10x.

México

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

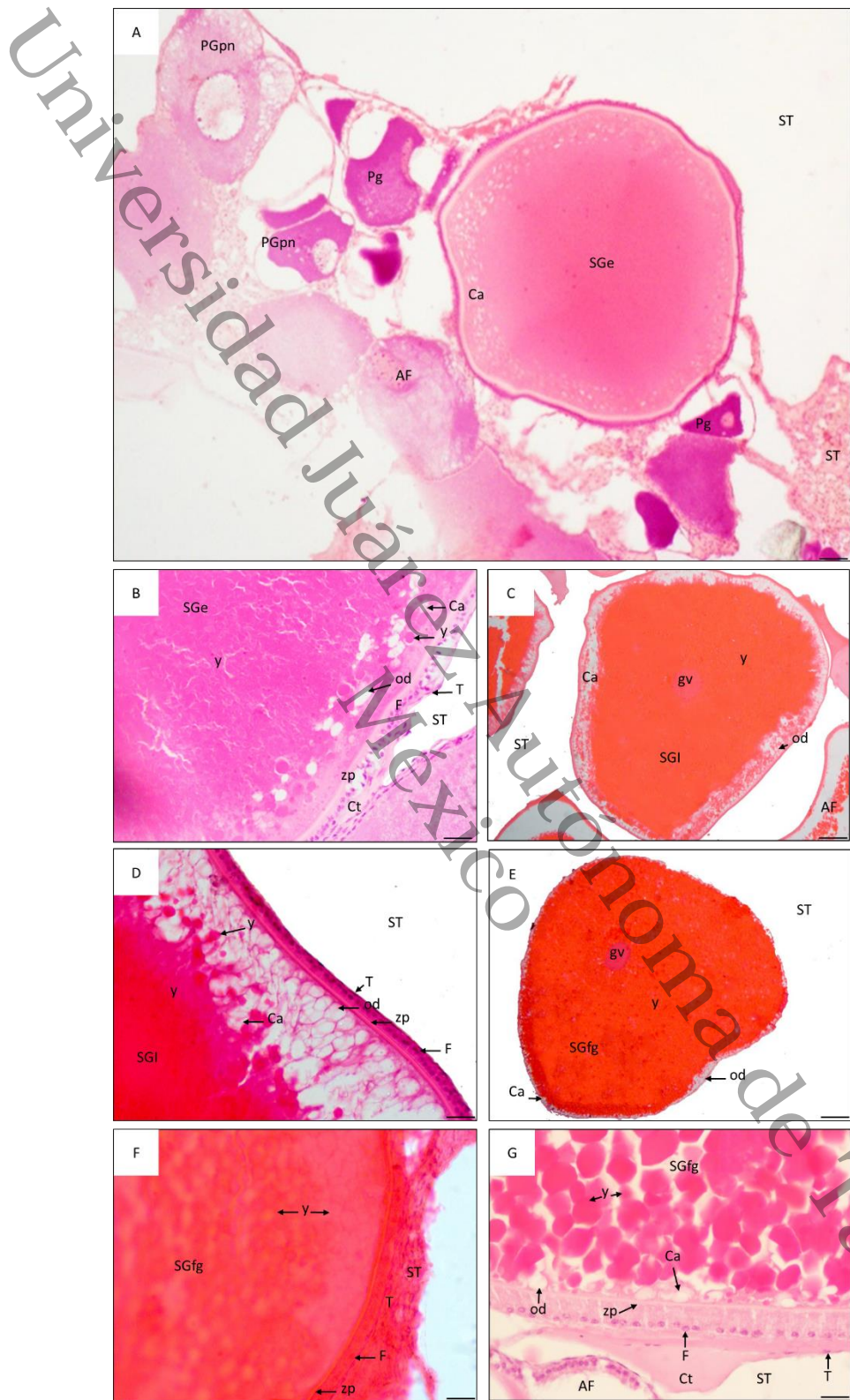


Figure 6. Oocytes in the secondary growth stage (SG) (Vitellogenesis) of *I. meridionalis*. A) An oocyte in early secondary growth is observed, which corresponds to when vitellogenin begins to accumulate in the ooplasm (SGe), presents cortical alveoli (ca) in

the periphery, with basophilic coloration, and a size of $792.60 \pm 238.19 \mu\text{m}$, previtellogenic (PG) oocytes, perinucleolar primary growing oocytes (PGpn), and a follicle in atresia (AF). Oocytes are surrounded by stroma (St), 10x, H-E. B) Oocyte in early secondary growth (SGe) containing vitelline globules (y), cortical alveoli (ca) and oil droplets (od), follicular cells (F), zona pellucida (zp) and theca (T), stroma (ST), basophilic coloration and oocyte size of $792.60 \pm 238.19 \mu\text{m}$, 40x, H-E. C) Oocyte in late secondary growth (SGI), the diameter at this stage increases significantly by the greater accumulation of vitelline globules, with a size of $1,007.33 \pm 225.42 \mu\text{m}$. The oocyte presents the germinal vesicle (gv) in a central position; the ooplasm shows an increase in yolk globules (y), and oil droplets (od) and cortical alveoli (ca) are observed in its periphery. A atretic oocyte (AF), follicles are surrounded by stroma (ST), basophilic staining, 5x, H-E. D) Late secondary growth oocytes (SGI) with multiple yolk globules (y), cortical alveoli (ca), and oil droplets (od) fusing, follicular cells (F), zona pellucida (zp), and theca (T) are observed. Surrounding the oocyte and follicle is the stroma (ST), basophilic staining 40x, H-E. E) Fully developed secondary growing oocyte (SGfg), oocytes are similar to late secondary oocytes with a greater increase of vitelline globules, an increase of vitelline globules (y) that occupy the entire ooplasm is observed, they present a size of $1,024.84 \pm 728.67 \mu\text{m}$. The germinal vesicle (gv) is displaced towards the animal pole; cortical alveoli (ca) and oil droplets (od) are observed; in the periphery, the zona pellucida is observed; the ovarian stroma (ST) surrounds the follicles; basophilic coloration; 5x, H-E. F) Fully developed oocyte (SGfg). Yolk globules (y) fill the entire oocyte, epithelial cells (E), zona pellucida (zp), theca (T), and stroma (St), basophilic staining, 10x, H-E. G) Fully developed oocyte, the vitelline globules (y) have occupied the entire oocyte. At the periphery of the oocyte, cortical alveoli (ca) and oil droplets (od), follicular cells, and theca (T) enveloping the oocyte are observed. Follicle in atresia (AF) and stromal sample (ST), basophilic staining 40x, H-E.

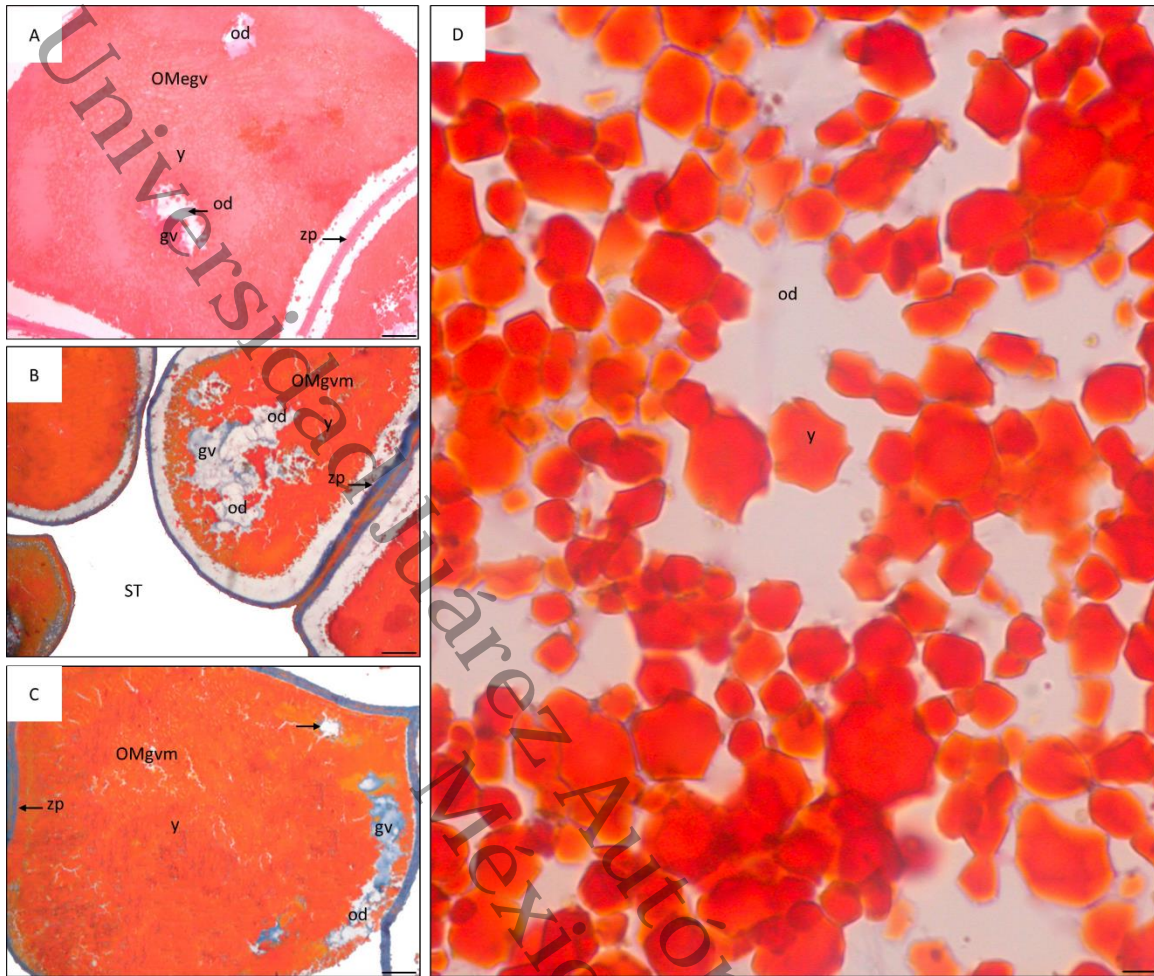


Figure 7. Maturing oocytes of *I. meridionalis*. A) oocyte at eccentric germinal vesicle stage (OMegv), the germinal vesicle (gv) has been located at the animal pole of the oocyte, oil droplets (od) have fused, and yolk globules (y) are observed throughout the oocyte, oocytes are $1,148.44 \pm 539 \mu\text{m}$ in size, basophilic staining, 5x. H-E. B) Oocyte in germinal vesicle migration stage (OMgvm), the germinal vesicle (gv) is observed to have already migrated towards the animal pole. It is surrounded by oil droplets (od) fused with the vitelline globules (y) and zona pellucida (zp), positive staining, and a size of $1,229.58 \pm 353.33 \mu\text{m}$. Oocyte with cortical alveoli (ca), stroma (ST), 5x Mallory's trichrome. C) Oocyte in germinal vesicle migration stage (OMgvm). The ooplasm contains oil droplets (od) and yolk globules (y). The zona pellucida (zp) around the oocytes, with positive staining, 5x, Mallory's trichrome. D) Details of the larger vitellus globules (y), oil droplets (od) already fused, 100x, Mallory's trichrome.

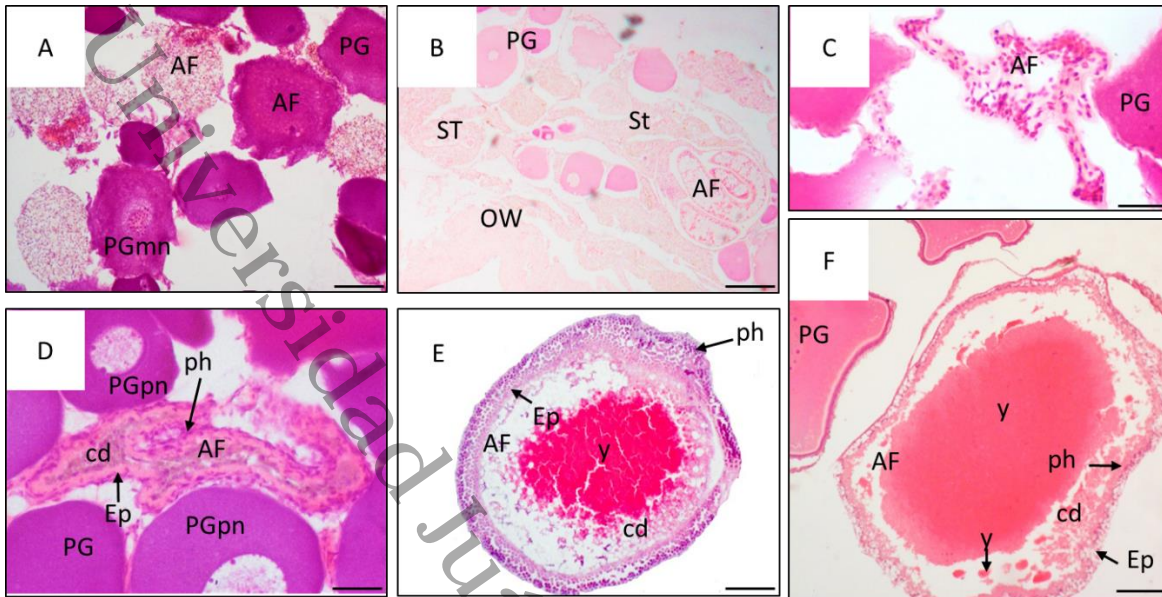
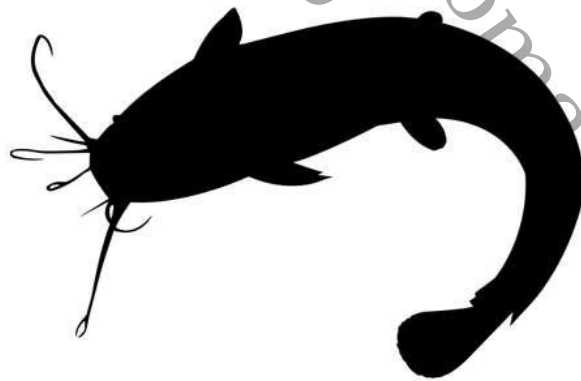


Figure 8. Atretic oocytes of *I. meridionalis*. A) Oocytes in primary previtellogenic growth stages (PG) with multiple nucleoli (PGmn) and several atresia oocytes (AF), basophilic staining, 10x H-E. B) Ovary with previtellogenic (PG) oocytes, stroma (ST), and ovarian wall (OW), basophilic staining, 5x, H-E. C) atretic oocyte (AF) between previtellogenic (PG) oocytes, 40x, H-E. D) A atretic oocyte (AF) surrounded by previtellogenic (PG) oocytes, perinucleolar stage (PGpn). A atretic oocyte in the process of stratification (cd) and follicular cells become phagocytes (ph) and the follicular epithelium is stratified (Ep), basophilic staining, 40x, H-E. E) Oocyte in late atretic secondary growth (AF), with yolk globules (y) and stratified follicular epithelium (Ep), follicular cells converted to phagocytes (ph), basophilic staining, 5x, H-E. F) Oocyte in late secondary growth in atresia (AF), yolk cells (y) and stratified follicular epithelium (Ep) (cd), basophilic staining, 5x, H-E.

Capítulo III

Descripción morfológica del testículo de *Ictalurus meridionalis*



Descripción morfológica del testículo de *Ictalurus meridionalis*

Meritxell Sanlúcar-González¹, Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez¹, Mari Carmen Uribe-Aranzábal^{1,2} y Ulises Hernández-Vidal¹.

¹Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5. C.P. 86039, Tabasco, México.

²Laboratorio de Biología de la Reproducción Animal, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

*Corresponding author: contrerw@hotmail.com

Resumen. Se describió morfológicamente los testículos de machos de *Ictalurus meridionalis* del río San Pedro, Balancán, Tabasco, México. Se realizó un muestreo mensual durante un año con la ayuda de pescadores locales. Se capturaron 59 machos adultos y se les extrajeron los testículos. Se observó y se describió macroscópicamente la estructura testicular; posteriormente, se elaboró histología convencional para el análisis de la morfología testicular y la identificación del tipo de espermatogénesis. Morfológicamente, los testículos de *I. meridionalis* se encuentran divididos en tres regiones: craneal, media y caudal; las regiones craneal y media corresponden a tejido testicular, y la caudal presenta conductos deferentes. *I. meridionalis* presenta un testículo lobular, con espermatogonias no restringidas a la periferia, y los espermatozoides son liberados hacia la luz de los túbulos seminíferos. En los conductos deferentes fue posible identificar el epitelio, la luz del conducto y el músculo liso asociado. La especie presenta una espermatogénesis quística y de carácter estacional.

Palabras clave: Lóbulo seminífero, espermatogénesis, espermatozoides, maduración, conductos deferentes.

Abstract. A morphological description of the testes of male *Ictalurus meridionalis* from the San Pedro River, Balancán, Tabasco, Mexico, was carried out. Monthly sampling was conducted for one year with the assistance of local fishermen. Fifty-nine adult males were captured, and their testes were extracted. The testicular structure was observed and described macroscopically, and then conventional histology was performed to analyze the morphological description of the testes and identify the type of spermatogenesis. Morphologically, the testes of *I. meridionalis* are divided into three regions: cranial, middle, and caudal. The cranial and middle portions correspond to testicular tissue, and the caudal portion contains the vas deferens. *I. meridionalis* has a lobular testis with spermatogonia not restricted to the periphery, and spermatozoa are released into the lumen of the seminiferous tubules. In the vas deferens it was possible to identify the epithelium, the lumen of the duct and the associated smooth muscle. The species exhibits cystic and seasonal spermatogenesis.

Keywords: Seminiferous lobe, spermatogenesis, spermatozoa, maturation, vas deferens

INTRODUCCIÓN

Los testículos de la mayoría de los peces teleósteos son órganos pares alargados, unidos a la pared dorsal por un mesocarpio y, en algunos casos, pueden presentarse como un solo testículo. En el caso de los Siluriformes, los testículos son órganos pares que muestran una notable diversidad morfológica. Muchas familias de este grupo presentan lóbulos digitiformes (Costa-Melo *et al.*, 2011). En los peces, los testículos suelen experimentar cambios morfológicos a lo largo del ciclo reproductor anual, pasando por cinco fases: regresión, maduración temprana, maduración media, maduración tardía y regresión final, lo que evidencia su marcada estacionalidad reproductiva. En los machos, los testículos suelen estar estructurados por células germinales y somáticas, organizados en dos compartimentos principales: el compartimento germinal y el compartimento intersticial, ambos delimitados por una membrana basal. Al activarse la espermatogénesis, suele producirse la espermiación, proceso mediante el cual los espermatozoides llenan los conductos deferentes durante la etapa reproductiva del organismo (Uribe *et al.*, 2014).

La espermatogénesis es el proceso mediante el cual las células germinales indiferenciadas se dividen por mitosis para mantener el mismo número de espermatogonias y, de manera cíclica, producir espermatocitos primarios. Estos, mediante la meiosis, producen espermátidas haploides, que finalmente se diferencian en espermatozoides (Medina-Robles *et al.*, 2006). Uribe *et al.* (2014) describieron que, al inicio de la espermatogénesis, la proliferación mitótica de las espermatogonias precede a dos divisiones meióticas. Al final de la espermiogénesis, las espermátidas haploides se desarrollan en la estructura del espermatozoide. Todo el proceso de la espermatogénesis suele ocurrir en un ambiente bioquímico definido por células de Sertoli asociadas a células germinales. En el caso de los peces óseos, los testículos suelen estar compuestos por compartimentos germinales e intersticiales separados por una membrana basal, lo que evita la mezcla entre las células de cada compartimento. En estos peces, la espermatogénesis ocurre dentro de una estructura quística.

Brooks *et al.* (2019) realizaron una recopilación de diferentes autores en la que mencionan las generalidades de la reproducción de los ictalúridos. Ellos mencionan que estas especies presentan una temporada de reproducción de junio a agosto, y señalan que, en algunas regiones, puede iniciarse en mayo y finalizar en septiembre. Este grupo de peces es valorado por su buen desempeño en la reproducción inducida, lo cual suele aprovecharse con fines de comercialización (Dunham y Elaswad, 2018).

En *I. meridionalis* la reproducción ha sido poco abordado., A pesar de que diversos bagres han sido incorporados a sistemas de producción acuícola a nivel internacional, esta especie en particular no ha sido empleada para acuicultura, aunque es una especie de importancia pesquera, dominante en biomasa en su categoría como bagre grande y mediano, con importancia relativa en número y en peso, siendo considerada con un alto potencial acuícola en las presas de Chiapas, México (Pérez-Castañeda, 2013). En el presente trabajo se describió la morfología de los testículos a lo largo de un ciclo anual, con la finalidad de contribuir al conocimiento de la biología de una especie poco estudiada.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio. El presente trabajo se realizó en una zona de pesca comercial del río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México. Este río tiene una extensión de 1,317.55 km². El río abarca las comunidades de El Tiradero, Estación Bari, La Cuchilla, Nueva Esperanza, San Pedro y La Palma (CONABIO).

Toma de muestras. Se realizó un muestreo mensual durante un año con la ayuda de pescadores de la Sociedad Cooperativa "Pescadores Ribereños de San Pedro", ubicada en las coordenadas UTM, zona 15, N: X=696055.67, Y=1966065.24. A cada organismo se le tomaron medidas de peso (W) y de longitud total (LT). Los machos colectados se sacrificaron mediante una sobredosis de un anestésico natural a base de aceite de clavo y se sometieron a hipotermia durante 10 minutos (Batt *et al.*, 2005). A los especímenes se les extrajeron los testículos para su análisis. En la zona de pesca se registraron los datos de oxígeno disuelto y de temperatura del agua. El oxígeno disuelto se registró con un oxímetro YSI Pro20i™ y se tomó la temperatura del agua cada hora en un sitio fijo del río dentro de la zona de muestreo, empleando un sensor "data logger" de la marca HOBO™ (Onset Computers). También se obtuvieron datos de los registros de precipitación pluvial y del nivel del río de la estación meteorológica e hidrológica número 27040, ubicada en San Pedro, Tabasco, Balancán (CONAGUA, 2023).

Preservación. La longitud de las gónadas se midió con un calibrador vernier de 30 cm (\pm 1.0 mm de precisión) y el peso húmedo de las gónadas se obtuvo con una balanza digital marca Rhino®, modelo BABOL. Además, a cada gónada se le tomaron datos de ancho máximo y mínimo (mm) y se colocó en un pequeño saco de gasa estéril. Se etiquetaron con los datos de colecta y se fijaron en solución de Bouin. Al transcurrir las 24 h de fijación, se transfirieron a una solución de alcohol etílico al 30% hasta su análisis.

Observación y descripción macroscópica. Se observaron, en un microscopio estereoscópico Stemi DV4 (ZEISS Microscopy GmbH, 37081), las estructuras gonadal y testicular para su análisis morfológico.

Técnica histológica. Las muestras fueron procesadas mediante técnicas histológicas convencionales (Prophet *et al.*, 1995). En donde cada una de las gónadas se deshidrató a concentraciones crecientes de alcohol etílico (etanol, OH) al 50, 70, 80, 96 y 100% durante 45 min en cada una. Concluida la deshidratación, las muestras se sumergieron

en soluciones al 100 % de xilol y de xilol. Posteriormente, se impregnaron con parafina-Xilol (1:1), parafina 1 y parafina 2 (Paraplast® a 55-58 °C) durante 45 min. Por último, las gónadas se incluyeron en parafina Paraplast® mediante un inclusor de la marca Reichert-Jung®. Se obtuvieron cortes seriados de 7 µm de grosor usando un micrótopo de rotación marca Thermo Scientific modelo HM 325; posteriormente, las laminillas fueron teñidas empleando la tinción de Hematoxilina-Eosina (H-E), Tricrómica de Mallory (TM), Ácido peryódico de Schiff (PAS) y Tricrómica de Masson (Masson) (Prophet *et al.*, 1995). *Descripción y análisis microscópico (histológico).* Se tomaron las laminillas en un microscopio fotónico de campo claro óptico Zeiss™ (modelo Axiostar Plus) y las fotografías se obtuvieron con una cámara digital marca Axiocam ERc5s y el programa ZEN, versión 2012. Las características morfológicas de las gónadas se describieron con base en las clasificaciones propuestas por Grier y Taylor (1998) y Grier y Uribe-Aranzábal (2009).

RESULTADOS

Se colectó un total de 59 machos maduros entre enero y diciembre de 2023 en la zona de pesca. Los peces presentaron una talla promedio de 39.09 cm (\pm 7.53) y un peso promedio de 562.91 g (\pm 501.60). El organismo más pequeño capturado midió 27.00 cm de longitud y pesó 300.42 g.

Parámetros ambientales. Durante el año de muestreo la temperatura del agua osciló entre 22 °C (enero) y 35 °C (marzo). El oxígeno disuelto osciló entre 1.22 mg/L en febrero y 9.40 mg/L en marzo. La precipitación pluvial más baja se observó en enero (12.2 mm) y la máxima en noviembre (116.2 mm). Las precipitaciones totales mensuales en los primeros 4 meses del año fueron inferiores a 60 mm. El mes de noviembre registró las máximas precipitaciones, con 116.2 mm. El nivel más bajo del río se registró en abril, con 8.10 m, y el máximo en diciembre, con 8.72 m (Tabla 1).

Descripción morfológica de los testículos. Los testículos de *I. meridionalis* son órganos pareados, ubicados ventralmente con respecto a la vejiga natatoria y a los riñones, unidos dorsalmente a la pared corporal por un tejido conectivo llamado mesorquío (Fig.1). Los testículos son de tipo lobular, con espermatogonias no restringidas a la periferia, constituidos por una gran cantidad de lóbulos (suelen ser como flecos plisados o fusiformes). Los testículos pueden dividirse en tres regiones: craneal, media y caudal.

Las regiones craneal y media corresponden a tejido testicular funcional y la región caudal está constituida principalmente por los conductos deferentes.

Los testículos de *I. meridionalis* se encuentran envueltos por la túnica albugínea, formando septos que penetran en el testículo (Fig. 2). Los testículos están conformados por dos compartimentos: el lobular y el compartimiento intersticial. En el compartimiento lobular se encuentran las células germinales en desarrollo, que se forman dentro de los quistes, donde se observan células germinales tales como las espermatogonias (Sg), espermatocitos primarios o secundarios, según la fase en que se encuentren (1sc y 2sc), y espermatidas (St). El compartimiento intersticial está integrado por fibras de colágeno, fibroblastos, vasos sanguíneos y células de Leydig, y, cercano a las bases de los lóbulos, se encuentran células mioides (Cm) (Fig. 3 y 4). En la zona de la luz de los lóbulos seminíferos, cuando los espermatozoides culminan su desarrollo, son liberados en ella (Fig. 3). Estos compartimentos se encuentran en la parte craneal y media; cercanos en la parte caudal, desembocan en los conductos deferentes.

Están constituidos por un epitelio columnar que descansa sobre la base de la membrana basal; esta última está relacionada con el tejido conectivo y el músculo liso (m) (Fig.3).

I. meridionalis presenta espermatogénesis quística y estacional (Fig.4). El epitelio germinativo se encuentra dentro de un quiste, formando una capa de células de origen mesodérmico (espermatogonias, espermatocitos, espermatidas y espermatozoides), las cuales pasan por las fases de proliferación, meiótica y espermiogénesis para dar origen a los espermatozoides (Fig.4).

DISCUSIÓN

Esta investigación describe por primera vez el tejido testicular de la especie a lo largo de un ciclo anual. Los testículos de *I. meridionalis* presentan características similares a las de la mayoría de los peces teleósteos, según Grier *et al.* (2009). Sin embargo, la especie presenta una estructura gonadal irregular con múltiples lóbulos proyectados lateralmente (algunos autores los denominan “flecós”; Dos Santos *et al.*, 2019). Estos lóbulos han sido descritos en varias especies de silúridos (Grier *et al.*, 2009; Loir *et al.*, 1989; Costa-Melo *et al.*, 2011). Los lóbulos desembocan en un conducto colector central, con estructuras similares a las de un conducto deferente. Los testículos se encuentran ubicados por debajo de la vejiga natatoria y los riñones, al igual que en otros silúridos descritos:

Itheringichthys labrosus (Dos Santos et al., 2019), *Pimellodella vittata* (Sales et al., 2013) y *Scoloplax distolothrix* (Spadella et al., 2008). Los testículos se dividen en tres regiones: craneal, media o de transición y caudal, tal y como se describió para el bagre Yaque, *Leiarius marmoratus*, por Mira-López et al. (2010). *I. meridionalis* coincide con la estructura morfológica, pero a pesar de que la mayoría de los peces silúridos presentan esta característica en sus gónadas, las formas de los lóbulos presentan diferencias puntuales a nivel de especie (Loir et al., 1989). *I. meridionalis*, la estructura de los testículos es similar a la del bagre *Itheringichthys labrosus*, descrita por Dos Santos et al. (2019) y Santos et al. (2001), y a la de *L. marmoratus* (Mira-López et al., 2010). Pero presenta testículo lobular con espermatogonias no restringidas en la periferia, a diferencia de las especies *I. labrosus* y *L. marmoratus*, que presentan testículo tubular no restringido. En *I. meridionalis*, los testículos son similares a los de los peces teleósteos descritos, que presentan testículos lobulados y espermatogonias no restringidas en la periferia (Grier et al., 2009; Uribe et al., 2014).

Los conductos deferentes de *I. meridionalis* presentan características similares a las de los peces teleósteos descritos y a las de los bagres neotropicales (Grier et al., 2009; Estrada-Flores y Uribe-Aranzábal, 2002; Guimarães et al., 2004). Las estructuras del testículo del bagre *I. meridionalis* cuentan con tejido intersticial compuesto por tejido conectivo y células de Leydig, que separan o limitan un túbulo de otro. Las células germinales en la periferia del túbulo van desde las espermatogonias hasta las espermatidas. Los túbulos siempre cuentan con células mioides y, si los espermatozoides han terminado su proceso de espermiogénesis, están presentes en la luz del túbulo. *I. meridionalis* presenta algunas estructuras similares a las de *Ictalurus nebulosus* (Rosenblum et al., 1987) y *Clarias gariepinus* (Ahmed et al., 2013). En el caso de la espermatogénesis, *I. meridionalis* presenta una espermatogénesis quística y estacional (Uribe et al., 2014).

CONCLUSIÓN

Este trabajo presenta por primera vez la descripción morfológica e histológica del testículo del bobo liso *I. meridionalis*. Esta información resulta relevante porque esta especie forma parte de las pesquerías locales y tiene importancia comercial en estados del sureste de México. La descripción de la morfología macroscópica y microscópica

contribuye a una mejor comprensión de la temporalidad reproductiva de la especie y aporta información clave para la inducción de la reproducción en condiciones de cautiverio.

REFERENCIAS

- Ahmed, Y.A., Abdel-Samei, N.A. y Zayed, A.Z. (2013). Morphological and Histomorphological Structure os Testes of the Catfish “*Clarias Gariepinus*” From Egypt. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(13), 624–629. DOI:10.3923/pjbs.2013.624.629
- Batt, J., Bennett-Steward, K., Couturier, C., Hammell, L., Harvey-Clark, C., Kreiberg, H., Iwama, G., Lall, S., Litvak, M., Rainnie, D., Stevens, D., Wright, J., and Griffin, G. (2005). Guidelines on: the care and use of fish in research, teaching, and testing. Ottawa, Canada. *Canadian Council on Animal Care* 2005.
URL: <http://www.ccac.ca>
- Burelos-Ramos, C.M., López-Dobrusin, E., Morales-Rodríguez, N.E.M., Rosales-Rosado, S., Asencio-Rivera, J.M. y Cardeño-Resendis, P. (2024). La historia de Wanha'. *KUXULKAB*, 30(68), e6381.
- Brooks, M., Burr-Melvin, L., Warren Jr., Y., & Micah, G.B. (2019). Ictaluridae: North American catfishes. *The Johns Hopkins University Press*. 23–100.
- Chávez-Lomelí, M.O., Mattheeuws, A.E. y Pérez-Vega, M.H. (1988). Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Villahermosa, Tabasco. 222 p.
- Costa-Melo, R.M., Pereira-Arantes, F., Sato, Y., Dos Santos, J.E., Rizzo, E., y Bazzoli, N. (2011). Comparative Morphology of the Gonadal Structure Related Reproductive Strategies in Six Species of Neotropical Catfishes (Teleostei: Siluriformes). *Journal of Morphology*, 272(5), 225–535.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2023). Estudio previo justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Wanha'. Tabasco, México.
<https://www.conanp.gob.mx/EPJ-RB-wanha>.

CONAGUA. Consultado el 15 de junio de 2024.

[https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales Climatologicas Mensuales/tab/mes27040.txt](https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas_Mensuales/tab/mes27040.txt)

CONABIO (93. Río San Pedro),

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_093.html

Dos Santos, J.E., Marcon, L., Guedes-Brito, M.F., Guimarães-Sales, N., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2019). Reproductive biology of the Neotropical catfish *Iheringichthys labrosus* (Siluriformes: Pimelodidae), with anatomical and morphometric analysis of gonadal tissues. *Animal Reproduction Science*, 209(2019), 106173.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106173>

Dunham, R.A., y Elswad, A. (2018). Catfish Biology and Farming. *Annual Review of Animal Biosciences*. (6), 3.1-3.21.

<https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014646>

Estrada-Flores, E. y Uribe-Aranzábal, M.C. (2002). Atlas de Histología de Vertebrados (Primera edición). Universidad Nacional Autónoma de México; Facultad de Ciencias.

Guimarães, R.J. y dos Santos, J.E. (2004). Testicular structure of three species of neotropical freshwater pimelodids (Pisces, Pimelodidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 21(2), 267–271.

Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241–253. doi:10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x

Grier, H. J., y Uribe-Aranzabal, M. C. (2009). The testis and spermatogenesis in teleosts. In *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)*. Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny. *Science Publishers*, Enfield, New Hampshire. In Jamieson BGM, editor, (8) 119- 142.

González-Díaz, A.A., Rodiles-Hernández, R., y Soria-Barreto, M. (2017). Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. *Vulnerabilidad social y biológica ante el cambio climático en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote*. El Colegio de la Frontera Sur

Hubenova, T., Iliev, I. y Zaikov, A. (2014). Reproductive Biology of the Channel Catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.) Reared in Heated Water. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(4), 957-961.

- Louir, M., Cauty, C., Plaquette, P., Le Bail, P.Y. (1989). Comparative study of the male reproductive tract in seven families of South-American catfishes. *Aquatic Living Resources*, 1(2), 4h–[tps://doi.org/10.1051/alr:1989005](https://doi.org/10.1051/alr:1989005)
- López-Macias, J.N. Salas-Benavides, J., Gómez-Cerón, A.E. Sanguino-Ortiz, W.R. (2012). Estudio gonadal de la sabaleta de la cuenca del patía (*Brycon sp.*) *Revista electronica de ingeniería en producción acuícola*, 6(6), 1–20.
- Mira-López, T.M., Medina-Robles, V.M. y Cruz-Casallas, P.E. (2010). Morfología Testicular del Yaque *Leiarius marmoratus* (Pisces: Siluridae) en Estadio de Madurez Reproductiva. *International Journal of Morphology*, 28(2), 421–426.
- Queiroga, F.R., Golzio, J.E., dos Santos, R.B., Martins, T.O. y Vendel, A.L. (2012). Reproductive biology of *Sciades herzbergii* (Siluriformes: Ariidae) in a tropical estuary in Brazil. *ZOOLOGIA*, 29(5), 397-404.
- Uribe, M.C., Grier, H.J. y Mejía-Roa, V. (2014). Comparative testicular structure and spermatogenesis in bony fishes. *Spermatogenesis*, 3(4), e983400.
- Rivera-Velázquez, G., Velázquez, L.Z., Marquez, R., Reyes-Escutia, F., Penagos-García, F.E., Velázquez-Velázquez, E., y Miceli-Méndez, C.L. (2015b). La pesquería en la presa Malpaso y la Cooperativa Zoque, Chiapas, México. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. 90 p
<https://doi.org/10.4161/21565562.2014.983400>
- Ricker, W (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fisheries Research Board of Canada*. Environnement Canada. Service des pêches et des sciences de la mer.
- Rosenblum, P.M., Pudney, J., and Callard, I.P. (1987). Gonadal morphology, enzyme histochemistry, and plasma steroid levels during the annual reproductive cycle of male and female brown bullhead catfish, *Ictalurus nebulosus* Lesueur. *Journal of Fish Biology*, 3(31), 325–341.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1987.tb05239.x>
- Sales, N.G., Dos Santos, S.A., Arantes, F.P., Hojo, R. E. S., y Dos Santos, J. E. (2012). Ovarian structure and Oogenesis of Catfish *Pimelodella vittata* (Lüken, 1874) (Siluriformes, Heptapteridae). *Journal of Veterinary Medicine*, 42(2013), 213-219.

doi: 10.1111/ahc.12004

Santos, J.E., Bazzoli, N., Rizzo, E. y Santos, G.B. (2001). Morphofunctional organization of the male reproductive system of the catfish *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874) (Siluriformes: Pimelodidae). *Tissue & Cell*, 33(5), 533-540. DOI: 10.1054/tice.2001.0207

<http://www.idealibrary.com>

Spadella, M.A., Oliveira, C. y Quagio-Grassiotto, I. (2008). Morphology and Histology of Male and Female Reproductive Systems in the Inseminating Species *Scoloplax distolothrix* (Ostariophysi: Siluriformes: Scoloplacidae). *Journal of Morphology*. 9(269), 1114–1121.

<https://doi.org/10.1002/jmor.10647>

Pérez-Castañeda, J.W. (2013). Composición de peces en la pesquería de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl, Chiapas, México. *Revista de Ciencias de la Unicach*. 1(7), 81–90.

Prophet, B. E., Mills, B., Arrington, B. J., and Sobin, H. L. (1995). *Métodos Histotecnológicos*. Preparado por el Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América (AFIP). Washington D.C. 269 p.

TABLAS

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros ambientales y del nivel del río San Pedro durante los 12 meses de muestreo (temperatura del agua, precipitación pluvial, cantidad total mensual de lluvia, nivel del río SP y oxígeno disuelto).

Mes	Temperatura del agua (°C)	Precipitación (mm)	Precipitación total mensual (mm)	Nivel del río (m.s.n.m)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Enero	22.7	12.1	42.0	8.63	3.00
Febrero	27.4	28.1	47.8	8.55	1.22
Marzo	35.7	31.2	35.8	8.49	9.40
Abril	29.0	0.0	0.0	8.10	4.00
Mayo	26.0	60.2	73.6	8.44	6.30
Junio	23.9	42.5	144.0	8.42	3.00
Julio	33.3	43.5	154.7	8.44	5.60
Agosto	33.9	26.0	140.3	8.47	6.05
Septiembre	33.0	32.5	86.8	8.45	5.63
Octubre	31.4	24.0	96.8	8.52	4.52
Noviembre	29.2	116.2	294.5	8.65	4.60
Diciembre	26.2	23.7	102.8	8.72	4.85

FIGURAS

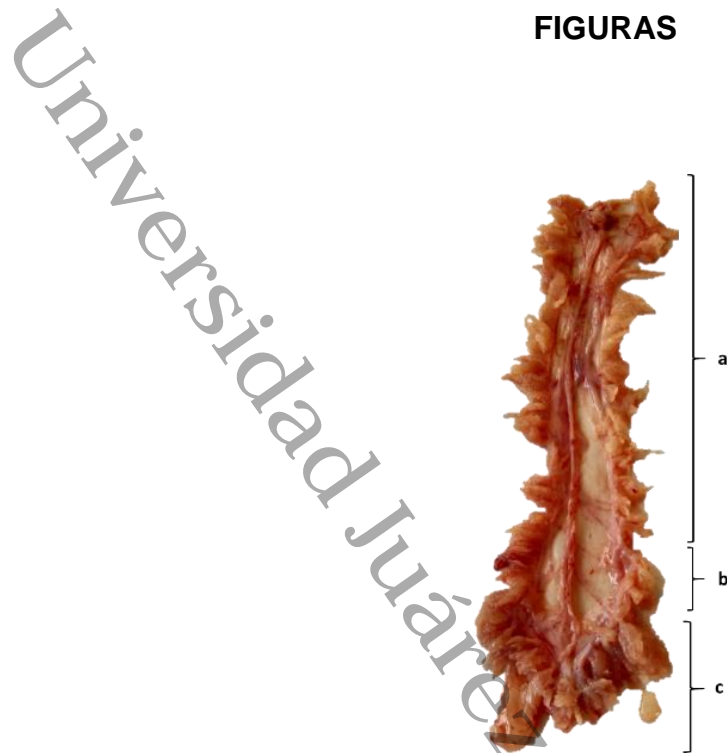


Figura 1. Anatomía del testículo en maduración de *I. meridionalis*, en forma de flecos con regiones diferenciadas: (a) craneal, (b) media o transición, (c) caudal.

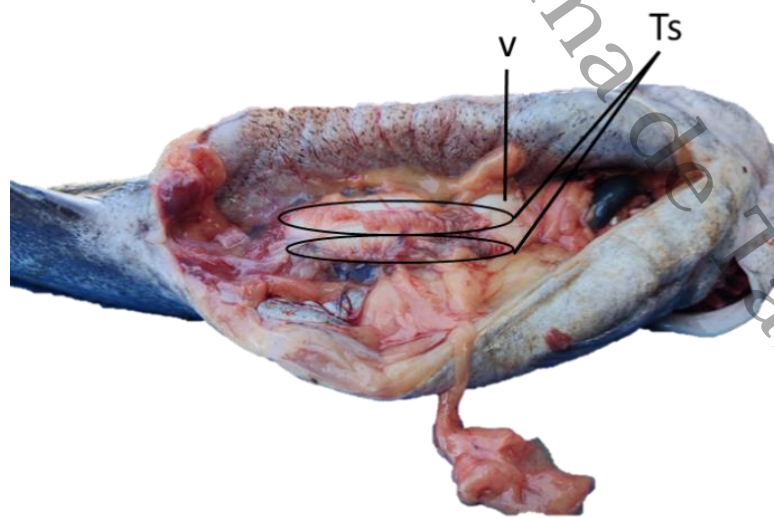


Figura 2. Ubicación anatómica de los testículos en el pez *I. meridionalis*. (v) vejiga natatoria cerca de los testículos (Ts).

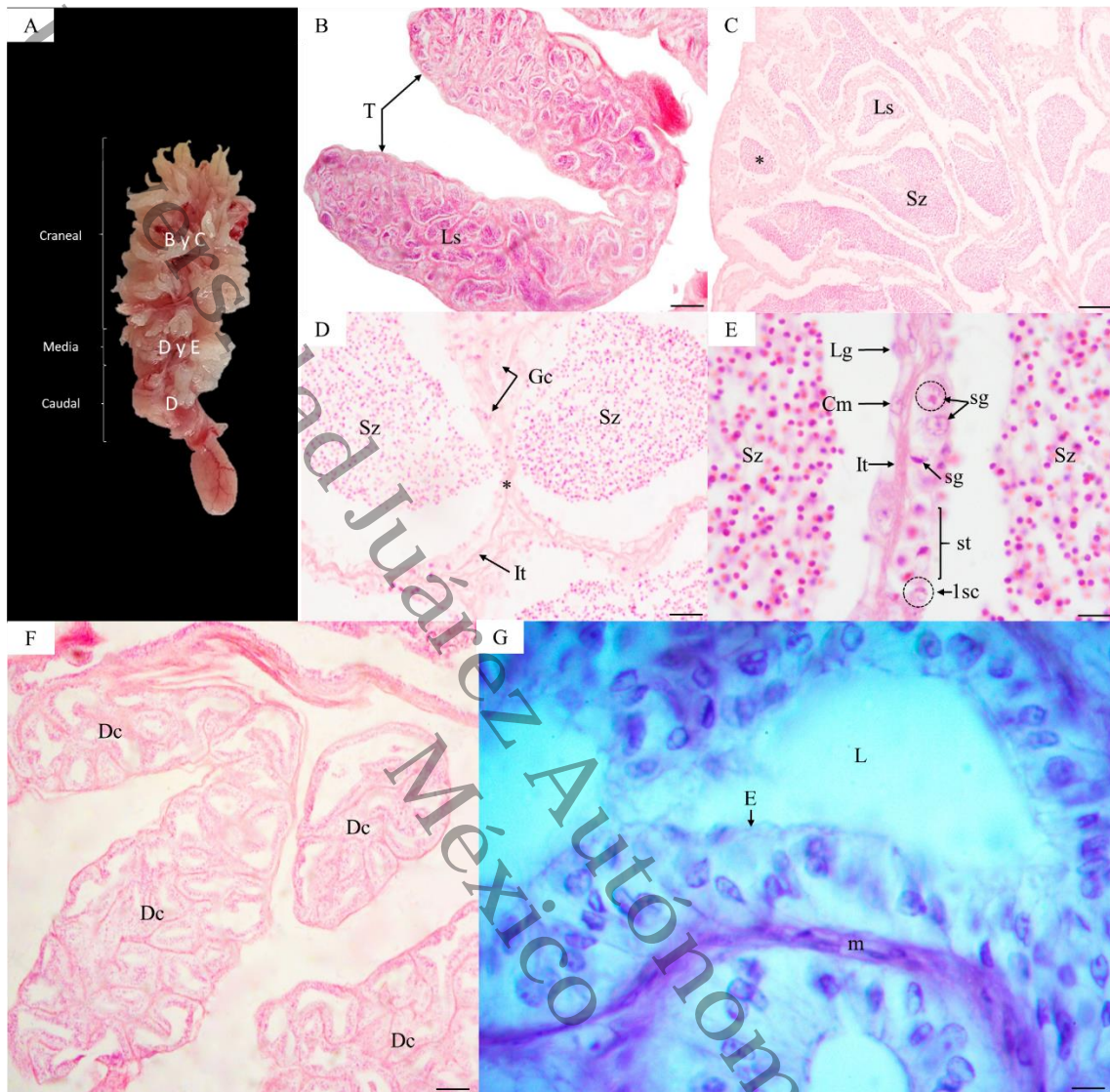


Figura 3. Testículo lobular con espermatogonias no restringidas en la periferia del bagre bobo liso *I. meridionalis* en espermatogénesis tardía. **A)** Testículos digitiformes emparejados (en forma de flecos) (T) de un macho reproductor maduro, parte superior, zona craneal; (B y C), parte central, es la zona media; (D y E), y parte inferior, zona caudal (D); B) Se observan testículos digitiformes y dentro de ellos se observan los lóbulos seminíferos (Ls), H-E, 5x. **C)** Se aprecian lóbulos seminíferos llenos de espermatozoides (Sz) (*), H-E, 10x. **D)** Se observa que los lóbulos son ramificados (*), formados por tejido intersticial (It) y células germinales (Gc), y en la luz se observan espermatozoides. H-E, 40x. **E)**, se observa el tejido intersticial a mayor escala (It), espermatogonias, (una en metafase mitótica), se observan espermátidas (St), células miodes (Cm), las células germinales fueron observadas en todos los Lo y en la luz llenos de espermatozoides, ya que el testículo se encuentra en estadio maduro y estadio de desarrollo de epitelio germinal tardío, H-E, 100x. **F)** Se aprecian los conductos deferentes (Dc) en la zona caudal de la gónada, H-E 10x. **G)** Conductos deferentes, donde se observan su luz (L) vacía, el epitelio tipo columnar (E) y el músculo liso alrededor de los conductos (m), H-E, 100x.

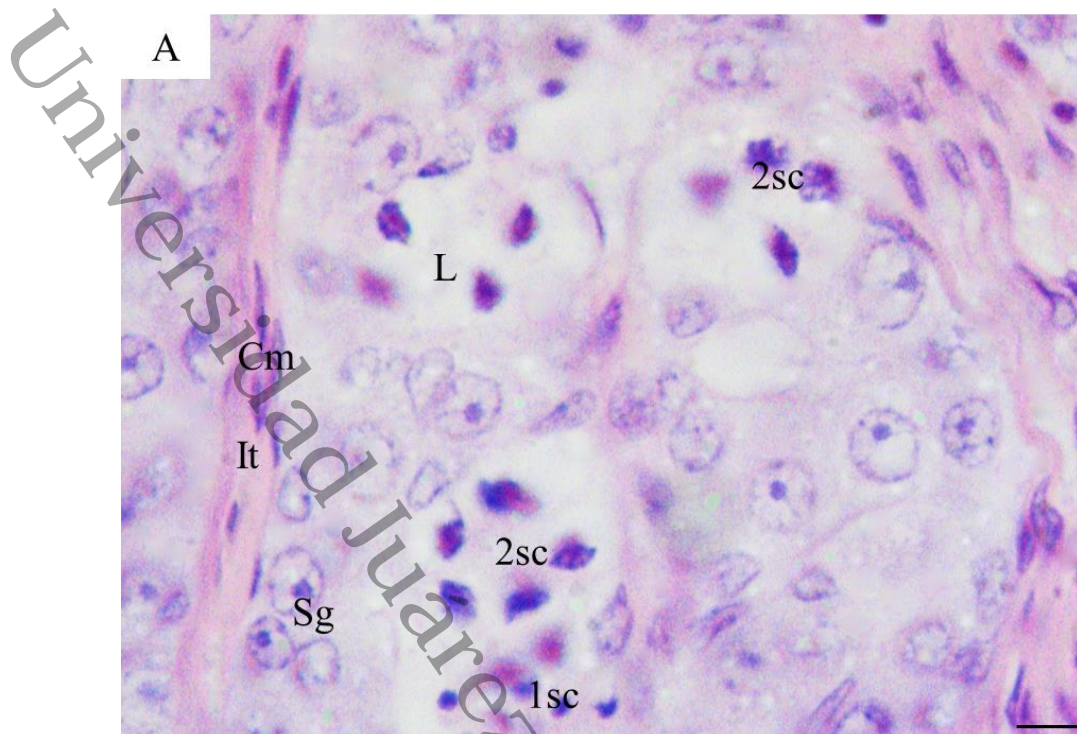
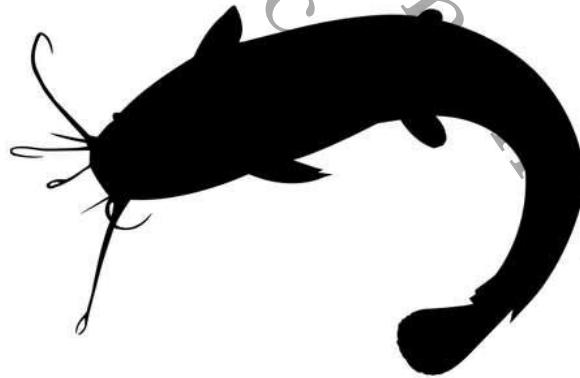


Figura 4. Testículo en desarrollo temprano. Se aprecia la espermatogénesis quística en los testículos lobulares, con espermatogonias no restringidas a la periferia de *I. meridionalis*; en esta fotomicrografía se observa espermatogénesis activa: se aprecian las espermatogonias (Sg) alrededor de la luz (L) y los espermatocitos primarios (1sc), observándose en continuidad los espermatocitos secundarios (2sc); asimismo, se observa el tejido intersticial (It), con espermatogonias (Sg) y células de mioides (Cm). H-E, 100x.

Capítulo IV

Biología Reproductiva y Crecimiento de *Ictalurus meridionalis* en el Río San Pedro, Tabasco, México.



Biología Reproductiva y Crecimiento de *Ictalurus meridionalis* en el río San Pedro, Tabasco, México.

Reproductive Biology and Growth of *Ictalurus meridionalis* in the San Pedro River, Tabasco, Mexico.

Meritxell Sanlúcar-González¹, Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez^{1*}, Mari Carmen Uribe-Aranzábal² y Ulises Hernández-Vidal¹.

¹División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas km. 0.5. C.P. 86039, Tabasco, México.

²Laboratorio de Biología de la Reproducción Animal, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México,

*Autor de correspondencia: contrerw@hotmail.com

RESUMEN

Este trabajo constituye el primer estudio sobre los cambios macroscópicos observados en las gónadas del bagre bobo liso (*Ictalurus meridionalis*) a lo largo de un ciclo anual. Este bagre es de importancia económica en el sureste de México, ya que forma parte de las capturas de pesquerías artesanales y presenta un alto consumo local. Los muestreos de esta investigación se realizaron en el río San Pedro, en el estado de Tabasco, México. Se llevó a cabo un análisis de maduración gonadal a lo largo de un ciclo anual, realizándose una descripción macroscópica y se calcularon los valores del índice gonadosomático y del factor de condición. En el año muestreado se colectó un total de 58 hembras y 59 machos adultos, entre los cuales las hembras presentaron una talla promedio de 39.17 ± 7.28 cm y los machos, de 39.1 ± 7.53 cm. La especie presenta un crecimiento isométrico. Los valores más altos del índice gonadosomático se observaron entre mayo y julio, lo que indica una única etapa de reproducción al año. Las gónadas van cambiando de coloración y tamaño conforme se desarrollan la ovogénesis y la espermatogénesis. Los ovocitos hidratados de *I. meridionalis* presentan un diámetro promedio de 2.33 ± 0.51 mm. Las hembras presentan una fecundidad absoluta de

7,242.38 ± 2,924.40 huevos por hembra y una fecundidad relativa de 14.58 ± 4.71 huevos g⁻¹. La temporada reproductiva de la especie no estuvo relacionada con la temperatura del agua, sino con el aumento de las precipitaciones.

ABSTRACT

This work constitutes the first study on the macroscopic changes observed in the gonads of the freshwater catfish *Ictalurus meridionalis* throughout an annual cycle. This catfish is economically important in southeastern Mexico, as it is part of the catch of artisanal fisheries and has high local consumption. Sampling for this research was conducted in the San Pedro River, Tabasco, Mexico. An analysis of gonad maturation was carried out throughout the annual cycle, including a macroscopic description and values for the gonadosomatic index and the condition factor. In the sampled year, a total of 58 females and 59 adult males were collected, with females averaging 39.17 ± 7.28 cm and males 39.1 ± 7.53 cm. The species showed isometric growth. The highest gonadosomatic index values were observed between May and July, indicating a single reproductive stage per year. The gonads change coloration and size as oogenesis and spermatogenesis develop. Hydrated oocytes of *I. meridionalis* have an average diameter of 2.33 ± 0.51 mm. Females had an absolute fecundity of 7,242.38 ± 2,924.40 eggs per female and a relative fecundity of 14.58 ± 4.71 eggs g⁻¹. The species' reproductive season was not related to water temperature but to increased rainfall.

Keywords: Gonadic maturation, Gonadosomatic index, reproduction, fertility.

INTRODUCCIÓN

Los bagres de la familia *Ictaluridae* son organismos de importancia económica, ya que suelen aprovecharse para el consumo humano y la pesca deportiva. Este grupo de peces se desarrolla en hábitats de agua dulce, en ríos grandes, con tramos veloces y remansos profundos, y la mayoría de sus especies son organismos crepusculares o nocturnos (Arce *et al.*, 2016). En *Ictalurus meridionalis* se han realizado pocos estudios sobre su biología y ecología, entre los que destaca el de Miller *et al.* (2009). Esta especie es de importancia pesquera en los estados del sureste de México, debido a su consumo local. Soporta una pesquería artesanal con capturas significativas (Rivera-Velázquez *et al.*,

2015; González-Díaz *et al.*, 2017). Su distribución comprende los ríos del este de México, desde la cuenca del río Pánuco, en el estado de Veracruz, hasta los sistemas del río Usumacinta y del río Hondo en México, Guatemala y Belice. A pesar de su demanda pesquera y su relevancia, existen vacíos de información sobre la biología de la especie.

Los peces, al alcanzar su madurez sexual, inician su ciclo reproductor, lo que implica el desarrollo y crecimiento de las gónadas para que posteriormente ocurra el desove. En las hembras, esto se caracteriza por la producción de óvulos y en los machos, por la producción de espermatozoides (Brown-Peterson *et al.*, 2011). En la mayoría de las especies, su comportamiento reproductivo es cíclico (Lagler *et al.*, 1977), por lo que es imperante conocer las características del ciclo reproductor en condiciones silvestres, pues constituye una importante herramienta para gestionar el manejo sustentable de la especie y establecer protocolos de manejo en cautiverio, razón por la cual su conocimiento es la primera etapa para proponer dichas estrategias.

En *I. meridionalis*, la reproducción ha sido poco estudiada. Es posible que, debido a la escasa información sobre su biología reproductiva en condiciones silvestres, junto con el desconocimiento de aspectos relevantes para su aclimatación al cautiverio, no haya sido introducido en sistemas de cultivo. En el mismo sentido, no se ha diseñado una propuesta integral para su gestión como pesquería sustentable. Ante esta oportunidad, hemos realizado el análisis y la descripción de algunas características de la biología pesquera de esta especie en el río San Pedro, Balancán, Tabasco, incluyendo su tipo de crecimiento, la descripción macroscópica del ciclo reproductor anual, así como índices reproductivos importantes. Con ello, este trabajo pretende aportar información que permita comprender aspectos relacionados con su ciclo reproductor en su ambiente natural, con la meta de que esta información sea de ayuda para el diseño de estrategias de manejo del recurso pesquero y para aportar elementos para desarrollar un protocolo de manejo reproductivo en cautiverio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los organismos. Los peces analizados en el presente trabajo fueron colectados en el río San Pedro (RS), durante enero-diciembre de 2023. Este río tiene una extensión de 1,317.55 km². Los especímenes fueron capturados con la ayuda de los pescadores

de la Sociedad Cooperativa "Pescadores Ribereños de San Pedro", ubicada en las coordenadas UTM, zona 15, N: X=696055.67, Y=1966065.24.

Toma de muestras. Se realizó un muestreo mensual durante un año. A cada espécimen se le tomaron medidas de peso total (W), longitud total (LT), longitud estándar (LS) y altura (A). Los organismos colectados se sacrificaron mediante una sobredosis de anestésico natural a base de aceite de clavo (30 ml/L) y, posteriormente, se sometieron a hipotermia durante 10 minutos (Batt *et al.*, 2005). A cada espécimen se le extrajeron las gónadas para su análisis.

Preservación de muestras. Se midió la longitud total de las gónadas con un calibrador Vernier digital marca Truper 14388® con precisión de 0.01 mm y el peso húmedo (PG) se obtuvo con una balanza digital (BAPO-01 marca Rhino®) con precisión de 0.01 g. Fueron fotografiadas en fresco y se realizaron observaciones generales de su apariencia. Para su fijación y preservación, los ovarios y testículos fueron colocados en un saco de gasa estéril, se etiquetaron con los datos de colecta y se sumergieron en solución de Bouin durante 24 h, para su posterior conservación en alcohol etílico al 50% hasta el momento de su análisis.

Registro de parámetros ambientales. Se midieron el oxígeno disuelto y la temperatura del agua. El oxígeno disuelto se midió con un oxímetro YSI Pro20i™ y la temperatura del agua se registró cada hora en un sitio fijo del río, dentro de la zona de pesca, mediante un data logger HOBO™ (Onset Computers). Los datos de precipitación pluvial y del nivel del río se obtuvieron de la estación meteorológica e hidrológica número 27040, en San Pedro, Tabasco, Balancán (CONAGUA, 2024).

Observación y descripción macroscópica. Para describir el desarrollo y la madurez de las gónadas, se examinaron los ovarios y los testículos con un microscopio estereoscópico Stemi DV4 ZEISS®. Además, se realizó el conteo de ovocitos hidratados (vitelogénicos avanzados) o de mayor tamaño (hembras en estadio maduro).

Análisis histológico de gónadas. Para contrastar la apariencia macroscópica con el estadio de maduración en el que se encontraba a nivel microscópico, se extrajeron de la solución de alcohol etílico al 50 % y se cortaron secciones de seis μm de las porciones frontal, media y caudal de la gónada, empleando un micrótopo rotatorio (Thermofisher

Scientific®) y se tiñeron empleando las técnicas convencionales de Hematoxilina-Eosina (H-E), Ácido peryódico de Schiff (PAS) y Tricrómica de Mallory, según lo descrito por Prophet *et al.* (1995). Después de la tinción del tejido, se elaboró el análisis de las laminillas en un microscopio fotónico de campo claro Zeiss™ Axiostar Plus y se tomaron fotomicrografías con una cámara acoplada marca Axiocam® ERc5s, utilizando el programa ZEN® versión 2012. En donde se identificaron las etapas del desarrollo ovárico de la especie.

Análisis de datos: Se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la relación TL-W de los ejemplares mediante la ecuación $W = a \cdot TL^b$. Donde W es el peso somático, a es el intercepto (coeficiente de crecimiento inicial o factor de condición), TL es la longitud total y b es la pendiente (coeficiente de crecimiento) (Riker, 1975). Los valores del exponente b proporcionan información sobre el crecimiento de los peces. Cuando b = 3, el aumento de peso es isométrico. Cuando el valor de b es distinto de 3, el aumento de peso es alométrico (Ricker y Carter 1958). El valor de b para machos y hembras se comprobó mediante una prueba t de Student ($H_0: b = 3$; Sokal y Rohlf, 1996). Se utilizó un análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar si las tasas de crecimiento variaban significativamente entre machos y hembras (Zar 1999).

El factor de condición de Fulton (K) se estimó mediante la fórmula planteada por Froese (2006):

$$K = 100 \left(\frac{PT}{LT^3} \right)$$

Donde: K = factor de condición, PT = peso total del pez en gramos, LT = longitud total del pez en centímetros, y el factor 100 se usa para aproximar K a la unidad.

Para identificar posibles cambios en el estado físico de los ejemplares muestreados, se realizó un análisis gráfico comparativo de la regresión lineal entre sexos y entre temporadas (secas, lluvias y nortes), empleando el doble logaritmo para el factor de condición y la longitud de los peces, según Froese (2006).

El índice gonadosomático (IGS) se estimó empleando la fórmula de López *et al.* (2012):

$$IGS = \left(\frac{PG}{PT} \right) \times 100$$

Donde: IGS = índice gonadosomático; PG = peso de las gónadas; y PT = peso total del pez.

La fecundidad absoluta y relativa en las hembras se estimó mediante el método gravimétrico mediante el conteo total de ovocitos vitelogénicos en hidratación (Ruiz *et al.*, 2001). Las estimaciones de fecundidad relativa se realizaron mediante asociaciones entre el número de ovocitos, el peso total y la longitud furcal (Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti, 2005).

Se verificaron los postulados de la estadística paramétrica de los datos: la normalidad, mediante los coeficientes de sesgo y de curtosis estandarizados, y la homocedasticidad, mediante la prueba de Levene. Cuando no se cumplieron estos postulados, se empleó la prueba estadística correspondiente no paramétrica. El contraste mensual de IGS se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis (KW), seguida de un contraste de rangos múltiples de Bonferroni. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Statgraphics Centurion® v19. La significancia estadística se determinó con un valor de $\alpha = 0.05$. Los análisis gráficos se realizaron con el software SigmaPlot® v14.5.

RESULTADOS

Se analizó un total de 115 organismos durante el año de muestreo (57 hembras y 58 machos). Los peces capturados presentaron una proporción casi igual entre hembras y machos durante los muestreos, aunque en algunos meses se observaron variaciones (Fig. 1). En términos generales, se observa una proporción sexual de 1:1 (hembra:macho).

Durante el ciclo anual, los organismos presentaron un peso promedio (\pm DE) de 564.04 ± 501.60 g, con los valores más bajos en febrero (300.42 ± 227.60 g). El organismo más grande fue un macho que pesó 3,300.10 g y con una LT de 68.20 cm. Para las hembras, se observó un peso promedio de 551.84 ± 402.23 g y una talla promedio de 39.17 ± 7.28 cm. La hembra de mayor peso pesó 2,603.00 g y midió 66.50 cm de longitud; fue capturada en septiembre, mientras que la de menor talla se capturó en marzo, pesando

250.00 g y midiendo 27.50 cm de longitud. De los machos se obtuvieron un peso promedio de 569.30 ± 7.48 g y una talla de 39.1 ± 7.53 cm. De este último grupo, el organismo más pequeño midió 27.00 cm, capturado en agosto, y el más grande fue capturado en marzo, con una talla de 68.2 cm (Fig. 2).

El análisis de la relación peso-longitud para 115 organismos adultos del río San Pedro, con tallas entre 27.50 y 68.00 cm, indica una fuerte asociación entre el peso y la longitud ($R = 0.95$). El modelo de crecimiento potencial explica el 90.46 % de la variabilidad del peso ($R^2 = 0.9046$), por lo que el crecimiento de la especie en esta etapa de desarrollo se describe por el modelo $W = 0.0026 * LT^{3.294}$. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el modelo de crecimiento entre los sexos (ANCOVA; $P = 0.18$ para el intercepto y $P = 0.69$ para la pendiente). La especie presenta un crecimiento alométrico positivo ($b > 3$), con un exponente de la relación peso-longitud obtenido por el análisis de $b = 3.29 \pm 0.097$.

Factor de condición de Fulton (K). No se observó un efecto estadísticamente significativo del sexo sobre los valores del factor de condición ($P > 0.05$). Sin embargo, se observó un efecto del tiempo, con diferencias entre los meses ($P < 0.05$), así como una interacción entre estos factores ($p < 0.01$), lo que indica patrones distintos entre hembras y machos. En el caso de las hembras, este índice varió entre 0.607 ± 0.21 del mes de abril y 0.905 ± 0.12 en el mes de julio los valores de K son altos, presentando un incremento considerable en el caso de los machos la tendencia de los datos del factor K a principios del año en el mes de marzo con 1.086 ± 0.15 y osciló en minoría a 0.669 ± 0.15 en el mes de mayo, presentando diferencias entre hembras y machos en el factor de condición, las hembras nunca presentaron tendencias mayores a 0.905 a diferencia de los machos que si sobrepasaron ese datos y presentando su incremento en el mes de mayo y no a principios del año como las hembras., los demás meses del año cada sexo, presentaron datos de factor de K, similares, estos resultados del factor K junto con las tallas de los especímenes capturadas antes ya mencionados, también demuestran que los bagres del *I. meridionalis* del RS presentaron durante el año 2023 crecimiento isométrico (Fig. 2). El análisis empleando doble logaritmo entre el factor de condición y la longitud de los peces indica que los ejemplares pequeños y grandes presentan aproximadamente el mismo

estado físico, sin cambios entre sexos, ni entre temporadas del año ($P > 0.05$ en todos los casos).

Descripción macroscópica de los ovarios y los testículos. Los ovarios y testículos de *I. meridionalis* están ubicados en la parte dorsal de la vejiga natatoria y de los riñones, y en la parte ventral de los intestinos (Fig.3). En el caso de los ovarios, son pareados de tipo sacular y cuentan con una arteria principal y un gonoducto, unido a la papila urogenital en su región caudal, que comunica con el exterior. Los testículos son digitiformes, emparejados, constituidos por varios lóbulos (suelen ser como flecos plisados o fusiformes) y divididos en tres regiones: craneal, media y caudal. Las regiones craneal y media corresponden a tejido testicular funcional y en la región caudal se encuentran los conductos deferentes (Fig. 4).

Los ovarios presentan cambios en su coloración durante su ciclo reproductor, pasando de transparentes a amarillos translúcidos, amarillos y anaranjados. Durante las primeras etapas de desarrollo, son de color amarillo translúcido y abarcan desde la proliferación de ovogonias y el nucléolo de cromatina hasta el crecimiento primario. Los ovarios en crecimiento secundario presentan ovocitos en estadios de vitelogénesis, se tornan de color amarillo claro o cremoso y los de mayor tamaño ocupan la mayor parte de la cavidad celómica. En esta etapa, los ovocitos pueden observarse a simple vista. Cuando los ovarios se encontraban en etapa de maduración, presentaban ovocitos en estadios de hidratación, con diámetros mayores. A simple vista, las características macroscópicas son similares a las de los ovarios de crecimiento secundario, pero con ovocitos más grandes y de color amarillo intenso y anaranjado. Los ovarios en regresión se caracterizan por la presencia de ovocitos atrésicos, de volumen reducido; son flácidos y aún se observan a simple vista ovocitos maduros remanentes; el color se torna entre café y marrón. En esta etapa se presentan vasos sanguíneos prominentes, con disminución de la intensidad de la coloración conforme avanza el grado de regresión (Fig. 5). Las características macroscópicas permiten identificar que, durante junio y julio, los ovarios se encuentran en las etapas de máxima maduración y que algunas hembras ya habían desovado para agosto y octubre, con presencia de ovarios en regresión, de consistencia flácida y con clara degradación de tejidos. En los meses de febrero y marzo también se observaron ovarios en regresión, lo que podría tratarse de desovadoras

tardías. El inicio del nuevo ciclo reproductivo es evidente en septiembre, con la presencia de hembras con ovarios en etapa de crecimiento primario. Sin embargo, a lo largo del año se capturaron algunas hembras con estas características, aunque la mayoría presentaba etapas más avanzadas (Fig.5).

En el caso de los machos, se lograron identificar testículos en etapa de regresión I, caracterizados por un epitelio germinal continuo; abundan las espermatogonias y células de Sertoli. De manera macroscópica, son testículos de franjas reducidas y discretas. En este estadio, los testículos suelen ser muy delgados. Durante el desarrollo temprano, se sigue presentando un epitelio germinal continuo, solo que ya se hacen presentes los espermatocitos y espermatidas, y en la luz de los túbulos inicia la presencia de espermatozoides. Los testículos son de color blanco lechoso, con flecos evidentes. Estas convoluciones del testículo tienden a verse con un poco mayor aumento que en el estadio anterior. El desarrollo del epitelio germinal medio en esta etapa se caracteriza por la presencia de un epitelio germinal discontinuo y otro continuo. Se evidencia la presencia de espermatidas y espermatozoides, siendo estos últimos más abundantes en la luz de los túbulos. En esta etapa, los testículos se tornan de coloración blanco lechosa, con flecos prominentes, y suelen verse sus testículos digitiformes, de mayor grosor. Al ejercer presión, suele expulsarse el semen. En el desarrollo terminal tardío, se observa un epitelio germinal discontinuo, con células germinales en estadio de espermatidas y una gran abundancia de espermatozoides en la luz. Los testículos, a simple vista, todavía son de color blanco lechoso, pero ahora con bordes flácidos. Los testículos disminuyen ligeramente de grosor. En la etapa de regresión II, los testículos presentan un epitelio germinal discontinuo; vuelve a hacerse presente la proliferación de espermatogonias y la presencia de espermatidas, pero aún hay abundantes espermatozoides en la luz tubular. Para esta etapa, ya hubo espermiación; se observan testículos con márgenes muy flácidos y regiones hemorrágicas. Suelen tener un tamaño similar al de la regresión I. En todos los estadios se observan siempre células de Sertoli y de Leydig, solo que al principio de la espermatogénesis se observaron en mayor abundancia las de Sertoli (Fig.6).

Al igual que las hembras, la identificación de las etapas y estadios macroscópicos da indicativos de en qué etapa de la espermatogénesis se encontraban los machos durante su ciclo reproductor anual. Los machos de *I. meridionalis* presentaron su temporada reproductiva en los meses de mayo a julio, ya que se encontraban los testículos en etapas de desarrollo temprano, desarrollo del epitelio germinal medio y desarrollo terminal tardío.

Análisis del Índice Gonadosomático IGS. Los resultados de IGS de *I. meridionalis* indican una alta variabilidad a lo largo del año, sin diferencias significativas entre las medianas mensuales (KW; $p > 0.05$). El IGS en las hembras presentó los valores más altos entre febrero y junio, disminuyendo hacia julio y agosto, mientras que los valores más bajos se observaron en enero (Fig. 7). En el caso de los machos, el IGS también muestra amplias fluctuaciones en los peces capturados. A partir de mayo, los valores se mantienen elevados hasta agosto, con una ligera caída en septiembre. Se observa una alta variabilidad en la captura de hembras y machos pequeños con ovarios y testículos maduros, y de hembras grandes con ovarios en desarrollo temprano (Fig. 7). El IGS indica que *I. meridionalis* presenta una etapa reproductiva corta y que su pico de reproducción suele ocurrir en julio. El IGS en hembra presenta una clara tendencia a lo largo del ciclo de maduración anual.

Fecundidad. Las hembras de *I. meridionalis* colectadas presentaron un diámetro promedio de 2.33 ± 0.51 mm para los ovocitos maduros. La fecundidad absoluta fue de $7,242.38 (\pm 2,924.40)$ ovocitos por hembra y la fecundidad relativa fue de $14.58 (\pm 4.71)$ ovocitos por gramo de peso de la hembra. El análisis de regresión lineal simple indica que existe una asociación medianamente fuerte entre el número de ovocitos y el peso de las hembras, explicada por el modelo: $\text{No. Ovocitos} = 2621.69 + 8.69 \cdot \text{Peso}$. Este modelo presentó un valor de correlación de $r = 0.72$, lo que explica el 51.72% de la variabilidad en los datos del conteo de ovocitos ($r^2 = 0.5172$).

Parámetros ambientales. Durante el año de muestreo, las temperaturas del agua registradas oscilaron entre 22°C (enero) y 35°C (marzo). El oxígeno disuelto presentó variaciones significativas, con un mínimo de 1.22 mg/L en febrero y un máximo de 9.40 mg/L en marzo. La precipitación pluvial acumulada mensual de 2023 registró un mínimo

de 35.8 mm en marzo y un máximo de 294.5 mm en noviembre. El nivel más bajo del río se registró en abril, con 8.10 m, y el máximo en diciembre, con 8.72 m (Tabla No. 1).

DISCUSIÓN

Esta investigación describe, por primera vez, algunas características de la biología reproductiva de *I. meridionalis* a lo largo de un ciclo anual. El estudio se realizó con hembras y machos provenientes de la zona de captura de los pescadores de la Sociedad Cooperativa "Pescadores Ribereños de San Pedro", ubicada en el municipio de Balancán, Tabasco, México. Este río pertenece al sistema hidrológico del río Usumacinta, donde forma un sistema fluvial junto con el río Grijalva, conformando la cuenca más importante del sureste de México (Chávez-Lomelí *et al.*, 1988). El río San Pedro, además, forma parte del área natural protegida "Wanha", lo que la convierte en un área geográfica importante, ya que alberga un ecosistema relicto de manglar interior en agua dulce (CONANP, 2023; Burelo-Ramos *et al.*, 2024).

Los organismos capturados en este estudio presentan un crecimiento de tipo alométrico positivo, lo que sugiere que el pez incrementa el peso proporcionalmente más rápido que la longitud, por lo que se vuelve relativamente más robusto a medida que aumenta la talla. Para Rao *et al.* (2024), la relación longitud-peso aporta información valiosa sobre el estado de las poblaciones de peces, puesto que la gestión pesquera y la conservación de dichas poblaciones se fundamentan en el conocimiento preciso del peso corporal para regular las capturas y estimar la biomasa. Uno de los elementos esenciales obtenidos a partir de esta relación peso-longitud en los peces es el valor del parámetro de crecimiento alométrico b . De acuerdo con lo propuesto por Froese (2006), este parámetro sugiere que los especímenes grandes aumentan más en altura o en anchura que en longitud, ya sea como resultado de un notable cambio ontogenético en la forma del cuerpo con el tamaño (lo cual es poco frecuente) o porque la mayoría de los especímenes grandes de la muestra son más gruesos que los especímenes pequeños (lo cual es más común). En estudios comparativos del tipo de crecimiento en diferentes especies de bagres se ha documentado tanto crecimiento alométrico negativo, como crecimiento alométrico positivo (Rao *et al.*, 2024; Patel *et al.*, 2025); sin embargo, es importante resaltar que existen varias razones que pueden influir en el valor del parámetro de crecimiento b ,

como son la edad de los organismos muestreados, el sexo, la estación del año, las características ambientales del sitio de muestreo, la disponibilidad de alimento, el tamaño de muestra, los cambios ontogénicos, o la variación en el peso de las gónadas durante las diferentes etapas de la madurez sexual (Froese, 2006; De Robertis & Williams, 2008; Rao *et al.*, 2024; Patel *et al.*, 2025). En el presente estudio, no se observaron diferencias en la relación peso-logitud entre sexos al incorporar organismos a lo largo de un año de muestreo en una zona restringida de pesca del río San Pedro. De acuerdo con las recomendaciones planteadas por De Robertis & Williams (2008), la ecuación alométrica utilizada puede producir estimaciones sesgadas del peso de los peces juveniles y adultos cuando se aplica a una amplia gama de tamaños. En estos casos, la probabilidad de error es mayor para los individuos más grandes y más pequeños de la muestra. Por lo tanto, es necesario ampliar esta información a otros ambientes y a peces de menor tamaño, ya que en este estudio se recabaron datos de organismos adultos.

El factor de condición es un valor significativo que puede utilizarse para determinar la productividad general y la condición fisiológica de la población de peces (Richter, 2007) y para evaluar las posibles diferencias entre poblaciones, así como los posibles cambios estacionales generados por la condición nutricional de los peces (Froese, 2006). De acuerdo con este autor, la mejor interpretación del factor de condición de Fulton para comparar cambios temporales se logra mediante un gráfico logarítmico doble de la condición en función de la longitud, en el que los puntos conectados forman una línea más o menos recta. Sin embargo, para *I. meridionalis*, este análisis indica que los ejemplares pequeños y grandes presentan aproximadamente el mismo estado físico durante todo el año, tanto en hembras como en machos. Este resultado puede explicarse por la disponibilidad de alimentos estable a lo largo del año.

En las hembras de *I. meridionalis*, los ovarios presentan características macroscópicas y morfológicas similares a la mayoría de los ovarios de peces teleósteos ya descritos (Grier *et al.*, 2009). Presentan coloración y tamaño distintos conforme avanza el desarrollo de la ovogénesis en el ciclo reproductor, como se ha descrito en manuales sobre el desarrollo macroscópico de los ovarios de otras especies de peces teleósteos (Bucholtz *et al.*, 2009; Sánchez y Gálvez, 2015). Los machos de *I.*

meridionalis, igual que las hembras, durante su desarrollo espermatogénico anual presentaron agrandamiento y cambios de coloración en los testículos durante el año y presentaron testículos pareados irregulares con lóbulos en forma de flecos (testículos con lóbulos digitiformes) (Dos Santos *et al.*, 2019; Grier *et al.*, 2009; Uribe *et al.*, 2014).

En las fases de crecimiento primario (vitelogénesis) y maduración (hidratación) se aprecia a simple vista la variación en el tamaño (el agrandamiento de los ovocitos). La coloración va cambiando de amarillo pálido a una coloración más intensa, conforme va desarrollándose la vitelogénesis hacia la maduración (hidratación) de los ovocitos, tal y como se ha descrito en otros peces teleósteos y silúridos (Grier *et al.* 2009, Santos *et al.*, 2006; dos Santos *et al.*, 2019), los ovarios de *I. meridionalis* presentaron características parecidas a las descritas en el bagre *Iheringichthys labrosus* (Dos Santos *et al.*, 2019) y en coloración de los ovarios con una especie del grupo de la familia Serranidae, el pez *Paralabrax humeralis* (Sánchez y Gálvez, 2015). Solo que en los ovarios en hidratación son similares en estructura y coloración a los de *I. labrosus* (Dos Santos *et al.*, 2019). En el caso de los machos, los testículos presentan cambios en su coloración, tamaño y grosor, como lo ya descrito en *I. labrosus* (Dos Santos *et al.*, 2019), La variación de coloración y agrandamiento de los ovarios y los testículos de *I. meridionalis* durante el año, proporcionan indicios sobre cuando las hembras y machos podrían estar reproduciéndose o en descanso de su reproducción, incluso cuando se presentaban hembras de reproducción tardías, fueron identificadas por la cantidad de ovocitos a simple vista y la transparencia de los ovarios en ese momento, identificándose ovarios de hembras que ya habían desovado o acababan de desovar aunque no fuera su etapa de reproducción, esto fue corroborado con histología.

En los machos se observaron variaciones importantes en el tamaño de los testículos, que iban desde muy pequeños hasta muy grandes, y, además, eran muy gruesos durante la temporada de reproducción. La coloración y el grosor de los testículos constituyen indicadores importantes para la valoración macroscópica de las etapas de desarrollo, maduración y reposo.

Durante el ciclo anual, las hembras presentan etapas de máxima hidratación (maduración) entre junio y julio, mientras que a partir de agosto se observan hembras en regresión. Estos resultados coinciden con lo reportado por Brooks *et al.* (2019), quienes

mencionan que entre mayo y agosto se lleva a cabo la reproducción de la familia Italuridae. En este estudio se observó un macho con espermiogénesis activa en el mes de mayo, dado que se observó desarrollo del epitelio germinal medio, por las características presentadas en los testículos, con coloración blanco lechoso y flecos o túbulos prominentes, p. ej. (mostraban un grosor en los túbulos mayor al de los demás estadios y al manipular o presionar eyaculaban semen) en nuestra investigación llegamos a la conclusión de que el bagre *I. meridionalis* se reproduce en los meses de junio a julio, por los resultados que fueron comparados con el análisis histológico descrito en las hembras, en donde los ovarios se encontraban en la etapa de hidratación durante esos meses y los machos presentaron su temporada reproductiva en los meses de mayo a julio, se sugiere realizar más investigaciones de este tipo en otras regiones del estado o del país donde habite la especie, e incluso elaborar un análisis del ciclo de reproducción en cautiverio, para proponer si la especie puede reproducirse a partir del mes de mayo. En hembras y machos de *I. meridionalis* no se observó una correspondencia directa entre el tamaño y/o el peso corporal y la etapa de desarrollo gonadal. Se identificaron hembras con ovarios en vitelogénesis y en maduración a partir de 30 cm, mientras que algunas, mayores a 40 cm, presentaron ovarios en crecimiento primario. Un patrón similar se observó en los machos: se registraron individuos mayores de 60 cm y con un peso de 3,300 g que aún mostraban testículos en epitelio germinal continuo, mientras que los machos menores de 40 cm ya se encontraban listos para reproducirse. Estos resultados sugieren que tanto hembras como machos de *I. meridionalis* pueden iniciar su vida reproductiva a partir de un tamaño cercano a 30 cm.

Aunque el número de muestras (n) de *I. meridionalis* recolectadas en el río San Pedro durante el pico de reproducción fue reducido, se registraron valores elevados en el IGS. Las hembras presentaron un incremento del IGS en mayo y en julio. Partiendo de esta observación, se plantea que la especie *I. meridionalis* presenta una temporada de reproducción corta, con un pico máximo en julio, aunque con una tendencia similar en mayo. En este mes se identificó que la mayoría de las hembras se encontraba en crecimiento secundario (vitelogénesis), y los ovarios ya presentaban ovocitos grandes y amarillentos; sin embargo, estos ovocitos aún no alcanzaban el grado de hidratación observado en las hembras del mes de julio. El incremento registrado en el IGS en julio

(7.24 ± 4.82), acompañado de la presencia de hembras en máxima hidratación, confirma que este mes corresponde al punto más alto del periodo reproductivo. Posteriormente, en agosto se observó un descenso marcado del IGS (2.02 ± 4.34). Este valor, junto con la identificación macroscópica de ovarios flácidos (indicativos de hembras que ya han desovado), evidencia que este mes corresponde al inicio de la fase de regresión o de absorción de ovocitos remanentes. En conjunto, los resultados sugieren que *I. meridionalis* se reproduce principalmente entre junio y julio, con una posible preparación reproductiva temprana en mayo, seguida de un periodo de regresión gonadal a partir de agosto. Estos resultados de las hembras de *I. meridionalis* presentan una relación con la temporada de reproducción del siluriforme *Silonia silondia*, que muestra un incremento mayor de IGS en el mes de julio, aunque con un dato de 1.48 (Akhi et al., 2024) menor que el de *I. meridionalis*. El IGS de *I. meridionalis* son mayores al IGS de *I. punctatus* durante temporada de verano (Hubenova et al., 2014) e *Iheringichthys labrosus* en su temporada reproductiva en los meses de abril a julio con un IGS de 0.68 y 0.62 (Dos santos et al., 2019), en cambio, Novelo y Tiersch (2016) reportaron que *Ictalurus punctatus* de Luisiana donde se identificó por medio de ecografía describen, que las hembras analizadas en los meses de abril y julio presentaron los IGS más bajo por hembras acabadas de desovar. En cambio, Carvalho-Alves et al., (2019), describieron que la especie del sureste de Brasil *Neoplecostomus microps* presentó valores mayores de IGS comparado con *I. meridionalis* de IGS, con un dato de (14 .884) en el mes de su pico de reproducción, al igual que *P. hypophthalmus* que fueron suplementados con cúrcuma presentaron su IGS 12.10 (Dewi et al., 2017) mayor a los resultados de *I. meridionalis* y *Loricariichthys spixii* en el análisis de su ciclo reproductor presentó un IGS de 6.33 (Duarte et al., 2007) durante su reproducción, menor que *I. meridionalis*. El bagre bobo liso *I. meridionalis* como antes se mencionó el IGS presento los índices más altos en la temporada de verano en el río San Pedro, Tabasco, México a diferencia del bagre cucaracha *Iheringichthys labrosus* en tres sitios del bajo Río Uruguay, entre Nuevo Berlín y Las cañas, ubicados en el departamento del Río Negro, Uruguay, desde el año 2008 al 2017, presentaron sus índices de IGS más altos durante los 10 años en la temporada de primavera, pero pueden variar dependiendo la latitud del Río Uruguay (Vidal et al., 2020), diferenciando con *I. meridionalis* que se elaboraron varias colectas por todo el río

San Pedro en donde todas coincidieron que en verano (julio) fueron los meses de mayor incremento de su IGS. En cambio, el bagre *H. sagor* de la Reserva de la Biosfera Can Gio de Vietnam (Minh-Sang *et al.*, 2019), coincide con *I. meridionalis* presentando su pico de IGS en el mes de julio, a pesar que es una especie de otro continente, *I. meridionalis* es una especie que a pesar de tener pocas capturas en el mes de julio, asimilando que se encontraban en cuidado biparental como se describe en ictalúridos (Bessa, *et al.*, 2021), por observar que los ovarios identificados en hidratación y se asimila que se encontraban en reproducción aun así presentaron datos del IGS las hembras capturadas, muy altos y coincidiendo con otros *Ictalurus* ya mencionados se reproducen la mayoría de los ictalúridos en temporadas de verano.

En el caso de los machos de *I. meridionalis* muestrean un IGS elevado en los meses de febrero con 0.38 ± 0.03 y julio con 0.24 ± 0.07 de IGS. aunque en nuestro estudio presento pocas capturas en algunos meses del año al igual que las hembras, presento altos promedios de IGS, confirmando en relación con los resultados de las hembras de IGS que *I. meridionalis* presentan su temporada reproductiva en el mes de junio y julio, en el caso de los machos en el mes de febrero presentaron el pico más alto de IGS, asimilando que fueron machos con espermiación tardía. Asociando los resultados de IGS con las características cualitativas de los testículos coincidimos que en los meses de junio y julio los machos de *I. meridionalis* presento testículos en estadios de desarrollo del epitelio germinal medio y desarrollo del epitelio terminal tardío, observándose en el desarrollo del epitelio germinal medio testículos con coloración blanca y sus flecos o testículos digitiformes prominentes y en el caso de los testículos en estadio del epitelio germinal tardío los testículos presenta una coloración de blanco lechoso con testículos digitiformes flácidos, al igual que las hembras después de su máximo en julio, en el siguiente mes comenzó a descender, asociando con las características identificadas en el mes de agosto que los machos de *I. meridionalis* se presentaban en regresión II, en donde presentan testículos totalmente espermiados donde los testículos presentan sus testículos digitiformes muy flácidos y ya presentaban zonas hemorrágicas, pero dando inicio y continuando los siguientes meses al desarrollo espermiático (espermatogénesis). Los machos de *I. meridionalis* presentaron el mayor incremento de IGS en los meses de febrero y de julio a diferencia de *I. labrosus* que siempre presento valores mayores a

(0.05) por dos periodos de agosto a enero y octubre a enero (Dos santos *et al.*, 2019), diferente a *I. meridionalis* en solo dos meses durante el año, de igual forma el bagre *Ictalurus punctatus* de una laguna de Bulgaria presentó valores más bajos en el IGS con (0.04 ± 0.06) en dos temporadas de verano (Huvnova *et al.*, 2014) menores que *I. meridionalis*, pero si en coincidiendo con la temporada de verano, excepto con el mes de febrero. En el caso del bagre brasileño *Sciades herzbergii*, se registraron valores altos de IGS en octubre, diciembre y enero (Queiroga *et al.*, 2012), lo que difiere de *I. meridionalis*, que solo presentó valores altos en febrero y julio.

Los resultados de *I. meridionalis* de ambos sexos coincidieron y demostraron por sus características morfológicas-anatómicas y datos estadísticos, que el bagre bobo liso del RS presenta una temporada relativamente corta durante los meses de junio y julio, pero presentando desovadoras y espermiadores tardíos, el desarrollo ovogénico y espermatogénico se desarrolla durante todo el ciclo anual, demostrando que es una especie estacional y que solo se reproduce una vez durante el año, es una especie que desde tallas pequeñas puede reproducirse siendo una de las características para poder ser una especie como buena alternativa para ser introducida a sistema de cultivo a inducciones de desove, los resultados también nos ayudan a que en la pesca tradicional, se reconozca cuando la especie presenta su temporada de reproducción y se realice una mejor pesca sustentable del bagre *I. meridionalis*, al igual que pueda ser una de las bases para protocolos de inducciones de desove en la especie como antes ya se mencionó.

La fecundidad absoluta de la especie es mayor que la reportada para *I. punctatus* del lago Ovcharitsa, al sureste de Bulgaria, donde hembras de dos años de edad presentaron una fecundidad absoluta de 7583.67 (Hubenova *et al.*, 2014). También la fecundidad absoluta de *I. meridionalis* fue mayor que la de *Pangasianodon hypophthalmus*, con una variación de 192.856 a 370.266 en bagres suplantados con cúrcuma en sistemas de cultivo de cautiverio (Dewi *et al.*, 2017). Las hembras de *I. meridionalis* no presentaron una relación entre el peso de las hembras con su fecundidad ya que se registraron hembras de 300 gr con una fecundidad relativa de $(24.68 \pm 4.71 \text{ ov/gr})$ y hembras de 600 gr con fecundidad relativa de $(7.67 \pm 4.71 \text{ ov/gr})$, en relación que el peso corporal no se relacionó con los estadios de "crecimiento secundario y en

maduración (hidratación) al igual que el bagre *Pseudotocinclus tietensis* que no presenta el peso de las hembras una relación del peso corporal y el estadio de maduración gonadal (Rodríguez-Filho *et al.*, 2017), pero en nuestra investigación si se identificó que las hembras de *I. meridionalis* podían presentar cualquier estadio del desarrollo ovárico o incluso ya reproducirse a partir de hembras a partir de 30 cm en adelante, incluso en la relación que se elaboró de fecundidad absoluta-longitud presento un valor de p mayor ($p > 0.05$) y la relación peso total-fecundidad absoluta presentó un valor de p también de ($p > 0.05$), siendo ninguna de las dos relaciones estadísticamente significativas. En el caso de un bagre de otro continente *Hexanematachthys sagor* de Vietnam la especie *I. meridionalis* presento mayor incremento en la fecundidad absoluta del bagre *H. sagor*, que presenta una fecundidad absoluta de 120.50 ± 25.48 (Minh-Sang *et al.*, 2019), siendo también mayor *I. meridionalis* en la fecundidad relativa, ya que *H. sagor* con alrededor de 0.165 ± 0.043 , de igual forma en esta especie si presentan relación la longitud-fecundidad absoluta y peso-fecundidad absoluta (Minh-Sang *et al.*, 2019), a diferencia de *I. meridionalis* que no presenta ninguna de las dos relaciones.

Los resultados de los parámetros no mostraron relación entre la maduración gonadal morfológica-anatómica y el IGS de *meridionalis* en ambos sexos. La temperatura del agua no presentó una relación con la temporada reproductiva de *I. meridionalis*, pero se propone que el ciclo reproductor anual de *I. meridionalis*, esté relacionado

CONCLUSIÓN

El bagre bobo liso, *I. meridionalis*, es una especie de importancia comercial y de consumo local en los estados del sureste de México. Es la primera vez que se realiza el análisis del ciclo reproductivo anual de la especie. *I. meridionalis* presenta crecimiento isométrico. En el bagre bobo liso *I. meridionalis*, las hembras poseen ovarios saculares y cistováricos pareados, similares a los de la mayoría de los peces teleósteos descritos, y los machos poseen testículos pareados, con lóbulos digitiformes similares a los de otros siluros. En *I. meridionalis*, tanto las hembras como los machos presentan cambios en la coloración y en el tamaño de las gónadas a lo largo del ciclo reproductivo anual. El análisis del Índice Gonadosomático (IGS) mostró que la especie presenta una etapa reproductiva corta, concentrada en los meses de junio y julio. Las hembras de *I. meridionalis* presentaron

una fecundidad absoluta de $7,242.38 \pm 2924.40$ y una fecundidad relativa de 14.58 ± 4.71 . No se encontró relación entre la fecundidad (absoluta o relativa) y el peso de la hembra y/o la talla de las hembras. Lo cual sugiere que estos parámetros no predicen el número de ovocitos producidos por individuo. Asimismo, la maduración gonadal no mostró relación con los parámetros ambientales analizados en ninguno de los sexos, lo que podría indicar que la reproducción está más influida por factores endógenos o por condiciones específicas del hábitat no consideradas en este estudio.

REFERENCIAS

- Akhi, F.J., Haque, S.M., Miah, M.I., y Haque, M.A. (2024). Ovarian histology of the freshwater catfish *Silonia silondia* (Hamilton, 1822). *Heliyon*, (10)13, e33812.
DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33812
- Arce-H, M., Lundberg, J.G., y O'Leary, M. (2016). Phylogeny of the North American catfish family Ictaluridae (Teleostei: Siluriformes) combining morphology, genes, and fossils. *Cladistics*. 33(4), 406–428,
<https://doi.org/10.1111/cla.12175>
- Barba-Macías, E., Castillo-Domínguez, A., Cano-Salgado, M.P., Estrada-Loreto, F., Sánchez-Pérez, A. y Mercado-García, J.J. (2008). Informe Final “Ordenamiento Pesquero del Cañón del Usumacinta”, El Colegio de la Frontera Sur (Unidad Villahermosa), Departamento de Aprovechamiento y Manejo de Recursos Acuáticos (DAMRA). Línea Pesquerías Artesanales, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
https://www.researchgate.net/publication/234026434_InformeFinal_ORDENAMIENTO_PESQUERO_DEL_CANON_DEL_USUMACINTA
- Batt, J., Bennett-Steward, K., Couturier, C., Hammell, L., Harvey-Clark, C., Kreiberg, H., Iwama, G., Lall, S., Litvak, M., Rainnie, D., Stevens, D., Wright, J., y Griffin, G. (2005). Guidelines on: the care and use of fish in research, teaching, and testing. Ottawa, Canada. *Canadian Council on Animal Care* 2005. URL: <http://www.ccac.ca>
- Bessa, E., Brandão, M. L., y Gonçalves-de-Freitas, E. (2021). Integrative approach on the diversity of nesting behaviour in fishes. *Fish and Fisheries*, 23(3), 564-583

- Blumer, L.S. (1986). Parental care sex differences in the brown bullhead, *Ictalurus nebulosus* (Pisces, Ictaluridae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 19, 97–104.
- Brown-Peterson, N.J., Wyanski, D.M., Saborido-Rey, F., Macewicz, B.J. y Lowerre-Barbieri, S.K. (2011). A Standardized Terminology for Describing Reproductive Development in Fishes. *Marine and Coastal Fisheries*. 3, 52–70. DOI: 10.1080/19425120.2011.555724
- Brooks, M., Burr-Melvin, L., Warren Jr., Y., y Micah, G.B. (2019). Ictaluridae: North American catfishes. *The Johns Hopkins University Press*. 23–100.
- Bucholtz, R.H., Tomkiewicz, J. y Dalskov, J. (2009). Manual to determine gonadal maturity of herring (*Clupea harengus* L. DTU *Aqua report*. <https://findit.dtu.dk/en/catalog/537f0d377401dbcc1200a671>
- Burelos-Ramos, C.M., López-Dobrusin, E., Morales-Rodríguez, N.E.M., Rosales-Rosado, S., Asencio-Rivera, J.M. y Cardeño-Resendis, P. (2024). La historia de Wanha. *KUXULKAB*, 30(68), e6381.
- Carvalho-Alves, V., Guedes-Brito, M.F., Pellegrini-Caramaschi, E. (2019). Reproductive biology of the armored catfish *Neoplecostomus microps* in a coastal Atlantic Forest stream, southeastern Brazil. *AQUATIC BIOLOGY*, (28), 45–53. <https://doi.org/10.3354/ab00706>
- Chávez-Lomelí, M.O., Mattheeuws, A.E. y Pérez-Vega, M.H. (1988). Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Villahermosa, Tabasco. 222 p.
- CONAGUA. Base de datos climatológica nacional. Consultado el 15 de junio de 2024. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Mensuales/tab/mes27040.txt
- De Robertis, A., & Williams, K. (2008). Weight-length relationships in fisheries studies: the standard allometric model should be applied with caution. *Transactions of the American Fisheries Society*, 137(3), 707–719.
- Dewi, D.C., Ekastuti, D.R., Sudrajat, A.O., y Manalu, W. (2017). Improved vitellogenesis, gonad development, and egg diameter in catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) supplemented with turmeric (*Curcuma longa*) powder. *Aquaculture Research*. 1–8.

- Dos Santos, J.E., Marcon, L., Guedes-Brito, M.F., Guimarães-Sales, N., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2019). Reproductive biology of the Neotropical catfish *Iheringichthys labrosus* (Siluriformes: Pimelodidae), with anatomical and morphometric analysis of gonadal tissues. *Animal Reproduction Science*, 209(2019), 106173 <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106173>
- Duarte, S., Gerson-Araújo, F., Sales, A. y Bazzoli, N. (2007). Morphology of Gonads, Maturity and Spawning Season of *Loricariichthys spixii* (Siluriformes, Loricariidae) in a Subtropical Reservoir. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50 (6), 1019–1032.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241–253. doi:10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
- González-Díaz, A.A., Rodiles-Hernández, R. y Soria-Barreto, M. (2017). Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. *Vulnerabilidad social y biológica ante el cambio climático en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote*. El Colegio de la Frontera Sur
- Hernández-Gómez, R.E., Contreras-Sánchez, W.M., Hernández-Franyutti, A.A., Perera-García, M.A. y Torres-Martínez, A. (2019). Reproductive cycle of *Aplodinotus grunniens* females (Rafinesque, 1819) in the Usumacinta River, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(4), 612-625. DOI: 10.3856/vol47-issue4-fulltext-4.
- Hubenova, T., Iliev, I. y Zaikov, A. (2014). Reproductive Biology of the Channel Catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.) Reared in Heated Water. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(4), 957–961.
- Lagler, K.F., Bardach, J.E., Miller, R.R., y May Passino, D.R. (1977). *Ichthyology*. John Wiley & Sons.
- López-Macías, J.N., Salas-Benavides, J., Gómez-Cerón, A.E., y Sanguino-Ortiz, W.R. (2012). Estudio gonadal de la sabaleta de la cuenca del Patía (*Brycon* sp.). *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 6(6), 1–20.
- Mendoza-Carranza, M. y Hernández-Franyutti, A. (2005). Annual reproductive cycle of gafftopsail catfish, *Bagre marinus* (Ariidae) in a tropical coastal environment in the Gulf

- of Mexico. *Hidrobiológica*, 15(3), 275–282.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57815304>
- Miller, R.R., Minckley, W.L., y Norris, S.M. (2009). Peces dulceacuícolas de México. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, El Colegio de la Frontera Sur, Consejo de los Peces del Desierto. 559 pp.
- Minh-Sang, H., Son-Lam, H., y Ba-Hai, T. (2019). Reproductive biology of sagor catfish (*Hexanemichthys sagor* Hamilton, 1822) in Can Gio water, Vietnam. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(06), 835–840.
- Novelo, N. D. y Tiersch, R. T. (2016). Development and Evaluation of an Ultrasound Imaging Reproductive Index Based on the Ovarian Cycle of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(4), 526-537.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12291>
- Prophet, B. E., Mills, B., Arrington, B. J., & Sobin, H. L. (1995). Métodos Histotecnológicos. Preparado por el Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América (AFIP). Washington D.C. 269 p.
- Queiroga, F.R., Golzio, J.E., dos Santos, R.B., Martins, T.O. y Vendel, A.L. (2012). Reproductive biology of *Sciades herzbergii* (Siluriformes: Ariidae) in a tropical estuary in Brazil. *ZOOLOGIA*, 29(5), 397-404.
- Rao, N. V., Jawahar, P., Jayakumar, N., Sujathkumar, N. V., Rani, V., Rathod, R., ... y Kalavathi, N. R. (2024). Length-weight relationship and condition factor of siluriformes fish species, endangered *Eutropiichthys vacha*, Hamilton (1922), and endemic Deccan catfish *Rita kuturnee* (Sykes, 1839) of Godavari River, Andhra Pradesh, South India. *Indian Journal of Animal Research*, 58(2), 336–341.
- Richter, T.J. (2007). Development and evaluation of standard weight equations for bridgelip sucker and large-scale suckers. *North American Journal of Fish Management* 27: 936-939
- Ricker, W (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fisheries Research Board of Canada*. Environnement Canada. Service des pêches et des sciences de la mer.

- Rivera-Velázquez, G., Velázquez, L.Z., Marquez, R., Reyes-Escutia, F., Penagos-García, F.E., Velázquez-Velázquez, E., y Miceli-Méndez, C.L. (2015b). La pesquería en la presa Malpaso y en la Cooperativa Zoque, Chiapas, México. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. 90 p.
<https://doi.org/10.4161/21565562.2014.983400>
- Rodriguez-Filho, J.A., Honji, R.M., Mello, P.H., Borella, M.I., Hilsdorfs, A.W.S. y Moreira, R.G. (2017). *International Journal of Aquatic Biology*, 5(3), 218–227. DOI: <https://doi.org/10.22034/ijab.v5i3.260>
- Ruiz-G, K., Rodríguez-M, J.A. Soto-R, R.L. (2001). Fecundidad de la anchoveta *Cetengraulis mysticetus* (PICES: Engraulidae) en la población de la parte interna del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *UNICIENCIA*, 1(18), 43–49.
<http://hdl.handle.net/11056/25197>
- Sánchez, J. y Gálvez, M.N. (2015). Gonadal maturity scale of Peruvian rock seabass, *Paralabrax humeralis* (Valenciennes, 1828). Boletín del Instituto del Mar del Perú. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/100>
- Vidal, N., Texeira de Mello, F., González-Bergonzoni, I., López-Rodríguez, A., Tesitore, G., Pais, J., Stebniki, S., Silva, I., y D'Anatro, A. (2020). Long-term study of the reproductive timing of the Neotropical catfish *Iheringichthys labrosus* (Lütken, 1874): Influence of temperature and river discharge. *Ecology of Freshwater Fish*, 2(29), 334-345.

TABLAS

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros ambientales y del nivel del río San Pedro durante los 12 meses de muestreo (temperatura del agua, precipitación pluvial, cantidad total mensual de lluvia, nivel del río SP y oxígeno disuelto).

Mes	Temperatura del agua (°C)	Precipitación (mm)	Precipitación total mensual (mm)	Nivel del río (m.s.n.m)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Enero	22.7	12.1	42.0	8.63	3.00
Febrero	27.4	28.1	47.8	8.55	1.22
Marzo	35.7	31.2	35.8	8.49	9.40
Abril	29.0	0.0	0.0	8.10	4.00
Mayo	26.0	60.2	73.6	8.44	6.30
Junio	23.9	42.5	144.0	8.42	3.00
Julio	33.3	43.5	154.7	8.44	5.60
Agosto	33.9	26.0	140.3	8.47	6.05
Septiembre	33.0	32.5	86.8	8.45	5.63
Octubre	31.4	24.0	96.8	8.52	4.52
Noviembre	29.2	116.2	294.5	8.65	4.60
Diciembre	26.2	23.7	102.8	8.72	4.85

FIGURAS

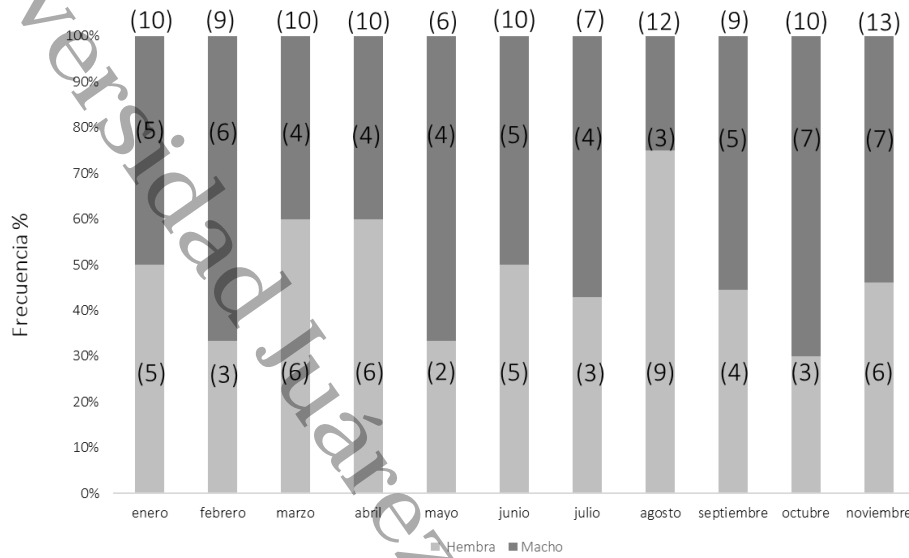


Figura 1. Proporción sexual de *I. meridionalis* a lo largo del ciclo anual (12 meses). Con una proporción sexual de 1:2

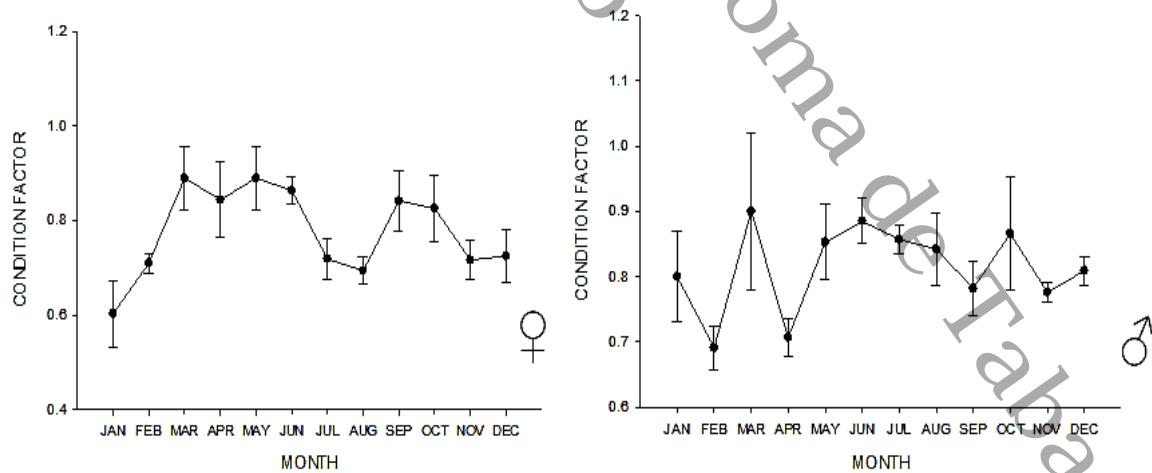


Figura 2. Factor de condición (K) (Longitud/peso): fluctuaciones del factor K durante el ciclo anual en las hembras de *I. meridionalis*, con una condición estable en relación con su talla y peso, y crecimiento isométrico.

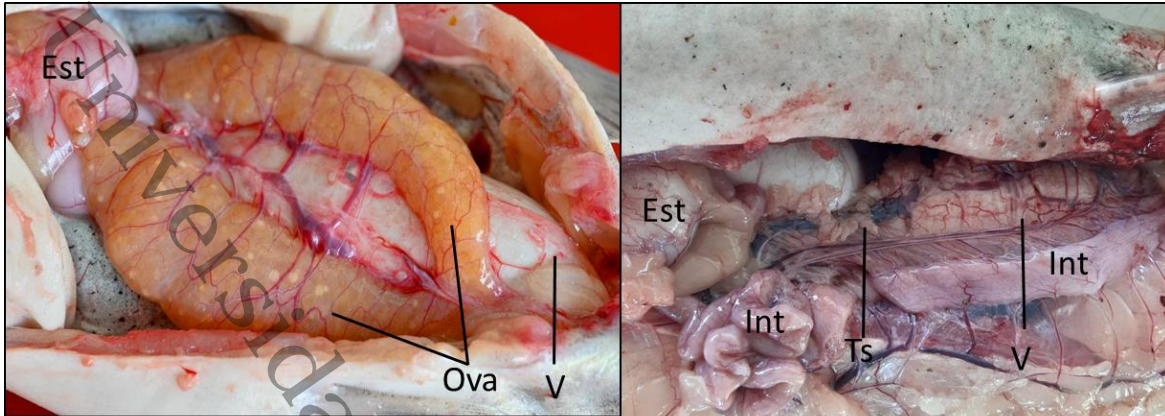


Figura 3. Ubicación anatómica de las gónadas en el pez *Ictalurus meridionalis*. Los ovarios (Ova) y testículos (Ts) se encuentran entre el sistema digestivo (los intestinos (int) y el estómago (Est)) y la vejiga natatoria. (V).

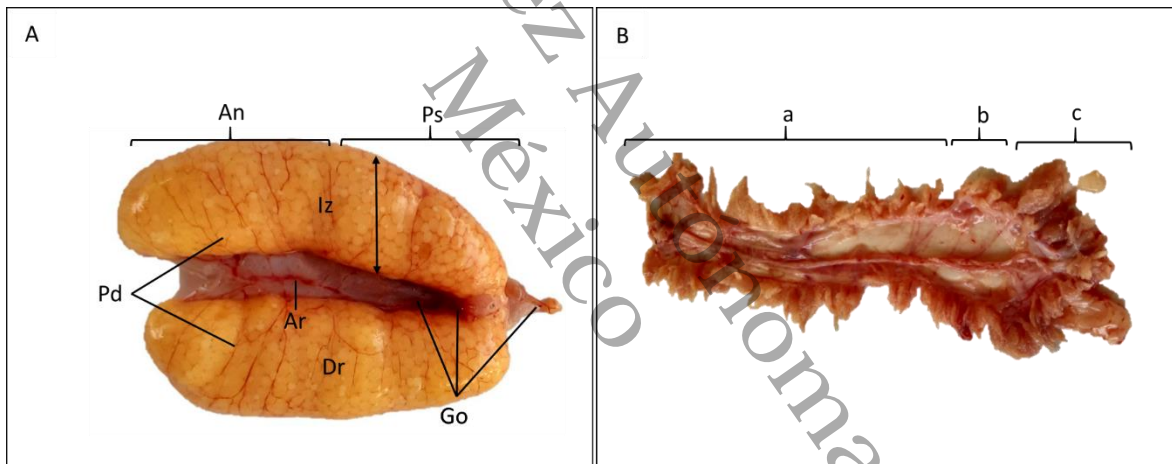


Figura 4. Anatomía de las gónadas de hembra y macho de *I. meridionalis*. A) Ovario maduro de *I. meridionalis* de tipo sacular. Se ilustran los ovarios izquierdo (Iz) y derecho (Dr), ubicando la parte anterior (An) y posterior (Ps) de la gónada; también se ubican la parte ventral (Pv) y dorsal (Ds); cuentan con un gonoducto (Go) y se observa la arteria principal (Ar). B) Anatomía del testículo en maduración de *I. meridionalis*, en forma de flecos, con regiones diferenciadas: (a) craneal, (b) media o de transición, (c) caudal.

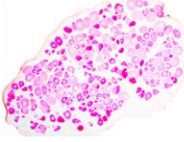

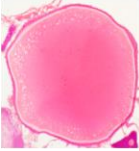

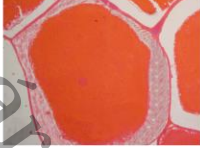





Histological stages	Histological steps	An example of one of the present stages, detail of histological image	Macroscopic morphological characteristics	Image detail
-proliferation of oogonia -Chromatin nucleolus -primary growth	-Cell nest formation chromatin nucleolus: pachytene and early diplotene -one nucleolus -Multiple nucleoli -perinuclear -circumnuclear oil droplets -Cortical alveolar		- The ovaries have a yellowish color, ranging from translucent yellow to yellowish brown, at this stage they also present changes and enlargement.	
-Secondary growth	-Early secondary growth		-Oocytes are yellow or yellowish brown, some are even very deep yellow, presenting a greater volume, occupying a large part of the coelomic cavity and the oocytes can be seen with the naked eye.	
-Secondary growth	-Late secondary growth -Fully developed oocyte		-It has the same characteristics as those of early secondary growth, except that the oocytes tend to be more defined and appear slightly larger.	
-Oocyte maturation	-Eccentric germinal vesicle -Migration of germinal vesicle		-It presents characteristics similar to those of secondary growth, except that at this stage the ovaries usually have their oocytes enlarged even more than the ovaries that present the secondary growth stage.	
-regression	-Atresia		Macroscopically, they have a reduced volume, are flaccid, and still have oocytes that are evident to the naked eye and may have prominent blood vessels, and their color usually decreases in intensity, some even have a dark brown color and the ovaries may even become deformed.	

Figura 5. Descripciones del desarrollo ovárico en *I. meridionalis*. Se describen las características morfológicas microscópicas y macroscópicas de los ovarios durante el ciclo reproductor anual. Se compara histológicamente el desarrollo de la estructura ovárica fenotípicamente durante el ciclo reproductor anual, en el que los ovarios macroscópicamente cambian su apariencia y coloración, y las células germinales también atraviesan un proceso hasta la maduración de los ovocitos.

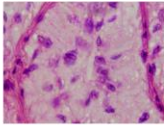

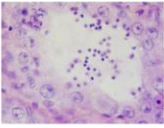

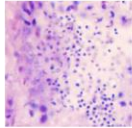

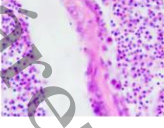

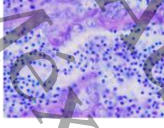
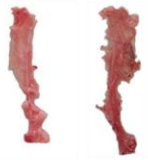
Histological stages	Histological steps	An example of one of the present stages, detail of histological image	Macroscopic morphological characteristics	Image detail
-Regression I	-Continuous germinal epithelium: . Small lobular lumen . Spermatogonia . Dividing spermatogonia		-Early maturation: Testicles with small, discreet bands	
-Early development	-Continuous germinal epithelium: . Células de sertolí . Spermatogonia . Spermatocytes . Spermatids . There are already some sperm in the light		-Maturation: Milky white testicle, with obvious stripes	
-Development of the middle germinal epithelium	-Discontinuous germinal epithelium-Continuous germinal epithelium: . Spermatids . Spermatocytes . More sperm in the lumen		-Maturation and mature and beginning of spermiation: Milky white testicle, with prominent fringes	
-Development of the late terminal germinal epithelium	-Discontinuous germinal epithelium: . Spermatids . More light is seen together with more abundance of sperm throughout the lumen and and less germinal epithelium . Some spermatogonia are beginning to be observed in the germinal epithelium.		-Mature and Partially Spermed: Testicles still milky white, but now with flaccid fringes	
-Regression II	-Discontinuous germinal epithelium-Group of spermatogonia: . There is still an abundance of sperm in the lumen, but several sperm have already been released. . Spermatids . More proliferation of spermatogonia is observed		-Completely spermed: Testicles with very flaccid bands and hemorrhagic regions	

Figura 6. Descripción del desarrollo de la espermatogénesis en *I. meridionalis* macroscópica y morfológicamente. Se describen las características del desarrollo morfológico de los testículos durante el ciclo reproductor anual, mediante una secuencia histológica y macroscópica que abarca el ciclo de espermatogénesis, en la que los testículos presentan cambios en su coloración y apariencia fenotípica, así como en las células germinales del testículo, que también presentan cambios durante el proceso.

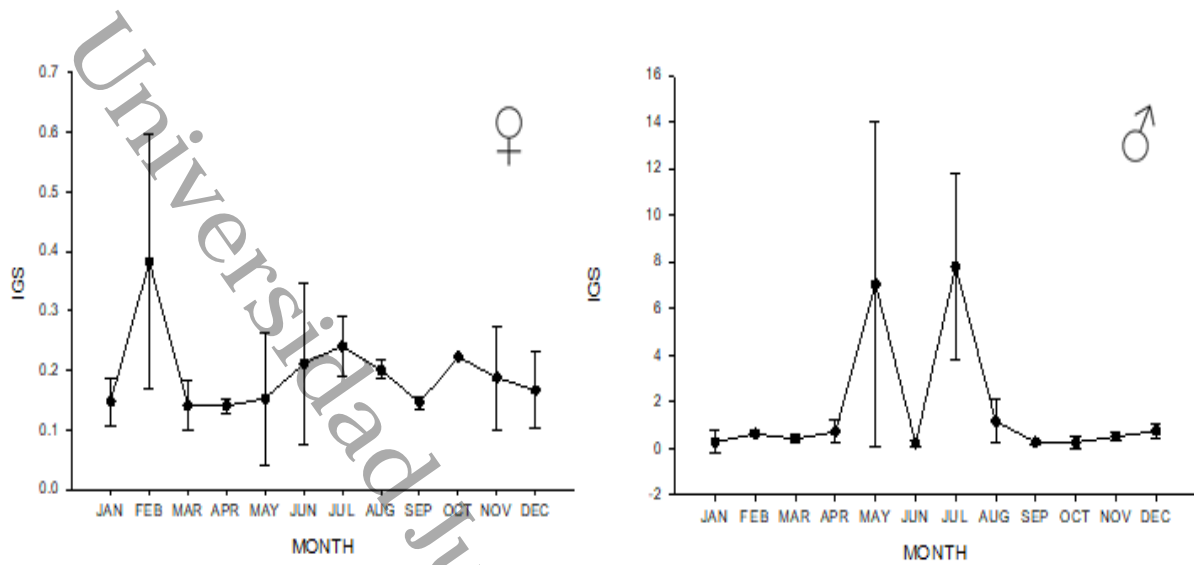
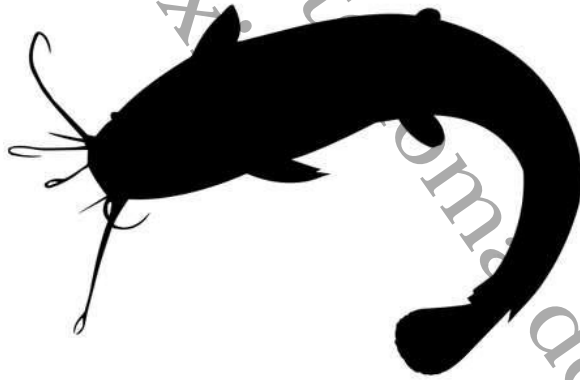


Figura 7. Valores de medianas del IGS \pm DAM de hembras y machos de *I. meridionalis* a lo largo del año de muestreo en el río San Pedro. Las hembras presentaron su pico de IGS en junio y julio, y los machos en mayo y julio.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Capítulo V

Conclusiones Generales



CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES GENERALES DE LA TESIS

El bagre bobo liso, *I. meridionalis*, es una especie de importancia comercial y de consumo local en diversos estados de México. A pesar de su relevancia pesquera, existían vacíos significativos en el conocimiento sobre su biología reproductiva, lo que motivó la realización del presente estudio. Esta investigación se enfocó en describir y analizar el ciclo reproductivo de la especie, así como las temporalidades reproductivas de hembras y machos.

Durante el año de muestreo se capturaron 58 hembras y 59 machos en el río San Pedro, Balancán, Tabasco, México, perteneciente a la ANP Wanha´. Este trabajo constituye el primer estudio que describe de manera integral el ciclo reproductivo de *I. meridionalis*. Los resultados incluyen la identificación del tipo de reproducción de la especie, la morfología ovárica y testicular, el desarrollo de la ovogénesis en hembras y la caracterización parcial del desarrollo y del tipo de espermatogénesis en machos.

Las hembras cuentan con un ovario cistovárico o sacular, de tipo sincrónico en grupo, y los machos presentan testículos pareados en forma de flecos (lóbulos digitiformes) y una espermatogénesis quística y estacional.

El bobo liso (*I. meridionalis*) presenta un patrón de ovogénesis similar al descrito en la mayoría de los peces teleósteos. El análisis histológico mostró que los estadios alveolar cortical y de gotas de aceite se desarrollan simultáneamente y con notable abundancia, lo cual es característico de especies con reproducción estacional. En los machos, los testículos presentan una organización tubular, en la que los túbulos no terminan en la periferia del testículo, sino que forman bucles antes de dirigirse hacia los conductos eferentes. Esta disposición y el desarrollo de la espermatogénesis coinciden con los patrones descritos en otros teleósteos.

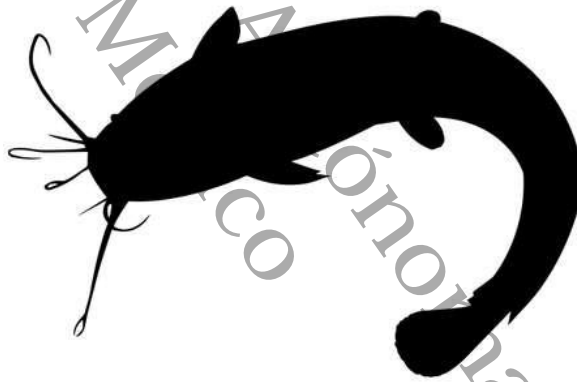
En relación con la pregunta de investigación, *I. meridionalis* presenta reproducción iterópara y estacional, con una sola reproducción durante el año, una temporada corta de reproducción en verano, entre los meses de junio y julio, y altos índices de IGS a pesar de contar con un número reducido de muestras. Los machos de *I. meridionalis* muestran un IGS elevado en los meses de febrero (0.383) y julio (0.223) y las hembras presentaron un incremento en los meses de mayo (7.052) y julio (7.242), teniendo su incidencia en este mes, pero contrastándolo con el análisis histológico y macroscópico

la mayoría de las hembras capturadas en el mes de julio mostraron ovocitos en hidratación (ovarios de mayor aumento de color amarillo intenso, ovocitos se observaban grandes y a simple vista) y los machos en espermatogénesis etapas de desarrollo temprano, desarrollo del epitelio germinal medio y desarrollo terminal tardío (testículos con gran aumento o grosor), concluyendo que el IGS anual indica que *I. meridionalis*, durante los meses de junio y julio es cuando los bagres bobo lisos se reproducen solo que igual el IGS nos indicó que igual presento desovadoras y espermiadores tardíos por los otros niveles altos de IGS, solo que en histología nos presentaban que se encontraban en estadios avanzados pero con indicios de reabsorción o atresia en el caso de las hembras y en los machos de regresión. También se observó que los parámetros ambientales analizados no mostraron relación con la reproducción de *I. meridionalis*. Tanto hembras como machos del bobo liso alcanzan la madurez sexual a partir de los 30 cm, ya que se identificaron tanto hembras como machos en estadios de ovogénesis y espermatogénesis avanzados, o incluso hembras ya desovadas y machos espermiando o completamente espermiados.

Los resultados de esta investigación proporcionan información clave para la pesquería artesanal. Se sugiere considerar la suspensión temporal de las capturas entre junio y agosto, periodo que abarca los últimos estadios de maduración gonadal y la temporada de reproducción. Asimismo, *I. meridionalis* se perfila como una especie con potencial para su introducción en sistemas de cultivo, particularmente en programas de inducción al desove. Sin embargo, se recomienda alojar a los reproductores en sistemas adecuados que minimicen el estrés, a fin de asegurar el éxito del desove en la temporada correspondiente.

ANEXOS

Principios Bioéticos y Alojamiento en el Repositorio
Institucional



PRINCIPIOS BIOÉTICOS

Se declara con seguridad que la captura y procesamiento de muestras de los peces se llevó a cabo conforme los lineamientos de sacrificio de las directrices de Batt et al. (2005). La recolección y el sacrificio de los peces se realizaron con la aprobación del Comité de Ética en Investigación de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA PALABRA... ACCIÓN EN LA FE"

CIEI
COMISIÓN INSTITUCIONAL DE
ÉTICA EN INVESTIGACIÓN



DICTAMEN ÉTICO

Meritxell Sanlucar González
División Académica De Ciencias Biológicas

Presente:

En atención a su solicitud de Revisión y Dictamen Ético del

Tesis De Licenciatura O Posgrado

Ciclo Reproductivo Del Bagre Bobo Liso *Ictalurus Meridionalis* En El Río San Pedro, Tabasco, México

Folio UJAT-CIEI-2025-093

Y despues de haber integrado al expediente las recomendaciones emitidas y entregadas por la

Subcomision de Biología, Química, Biotecnología Y Ciencias Agropecuarias

La CIEI resuelve lo siguiente

Aprobado Con Recomendaciones

Comentarios/Recomendaciones *

Revisor 1

Después de revisar el documento, se identificaron omisiones de carácter normativo en el apartado de Metodología, por lo que se recomienda atender los siguientes puntos:

- Declarar explícitamente en la Metodología el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, relativa al uso y cuidado de animales en investigación científica.
- Incorporar una sección de Consideraciones Éticas, en la que se describa la aplicación de los principios de bienestar animal, así como las medidas para la minimización del dolor y estrés en los organismos.
- Declarar la obtención del permiso de colecta científica emitido por la SEMARNAT, conforme a lo establecido en la Ley General de Vida Silvestre.

Revisor 2

El documento es una tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Ambientales; corresponde al estudio del ciclo reproductivo de hembras y machos del pez *Ictalurus meridionalis*, en el río San Pedro, en Balancán, Tabasco, México. Para ello se realizó un muestreo mensual durante un año, en el que en cada muestreo se capturaron 10 organismos reproductores, cinco hembras y cinco machos. A cada pez se le tomaron medidas de peso y de longitud; después de lo cual fueron sacrificados mediante una sobredosis de anestésico natural a base de aceite de clavo e hipotermia durante 10 minutos, para extraer las gónadas y describir el ciclo reproductivo a nivel macro y microscópico.

Es importante mencionar que la especie, *Ictalurus meridionalis*, no se encuentra en la Lista Roja



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**CIEI
COMISIÓN INSTITUCIONAL DE
ÉTICA EN INVESTIGACIÓN**



de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y, en México, es una especie nativa y común en la cuenca del río Usumacinta que no se encuentra listada como una de las especies amenazadas o en peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo; por lo que no se le considera una especie amenazada a nivel mundial ni nacional. Sin embargo, se sugiere revisar las recomendaciones del Código Sanitario para los Animales Acuáticos de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), en la versión de 2024, para asegurar la máxima adhesión a los estándares internacionales de bienestar para estos organismos, y citarle en su documento. En la metodología, específicamente en lo que se refiere al sacrificio de los organismos.

Revisor 3

El estudio se plantea dentro del marco de literatura científica publicada sin poner en riesgo o afectar cuestiones éticas en su desarrollo.

* Las recomendaciones se emiten en el entendido que será responsabilidad del investigador atenderlas.

Se extiende la presente a los 17 días del mes de diciembre del año 2025. Sin otro particular reciba un cordial saludo.

**DORIS TAURILEN PATRIZ DZIB MOO
PRESIDENTE**

c.c.p Archivo CIEI
Archivo Dirección de Investigación, UJAT
Coordinaciones de Investigación



Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040
Villahermosa, Tabasco
eticaeninvestigacion@ujat.mx
www.ujat.mx

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	Ciclo reproductivo del bagre bobo liso (<i>Ictalurus meridionalis</i>) en el río San Pedro, Tabasco, México.
Autora de la tesis:	Meritxell Sanlúcar González
ORCID:	https://orcid.org/0000-0002-5379-679X
Resumen de la Tesis:	<p>Esta investigación se realizó con el objetivo de obtener las temporalidades del ciclo reproductor de la especie <i>Ictalurus meridionalis</i>, así como contribuir al conocimiento de su biología reproductiva. <i>I. meridionalis</i> es una especie de interés comercial y de consumo local en la cuenca del río Grijalva, especialmente en los estados del sureste de México (Tabasco y Chiapas). El conocimiento del ciclo reproductor en especies de hábitat silvestre contribuye como herramienta para obtener aproximaciones al desarrollo de protocolos de manejo en cautiverio. Los muestreos se realizaron en el río San Pedro, Balancán, Tabasco, México, haciendo las colectas un mes por mes durante un año. Se capturaron, mediante pesca artesanal, al menos 10 organismos reproductores; a cada organismo se le tomaron medidas morfométricas, se sacrificó y se extrajeron las gónadas. Se registró la captura de parámetros ambientales: oxígeno disuelto, temperatura y niveles de agua. Se desarrollaron técnicas histológicas y se realizaron observaciones macroscópicas. Se obtuvo, en total, la captura de 58 hembras y 59 machos reproductores. Las hembras presentan ovarios de tipo cistovárico, con maduración sincrónica; los machos presentan testículos pareados digitiformes, emparejados, constituidos por varios lóbulos. Estos se dividen en tres regiones: craneal, media y caudal; la craneal y la media son zonas testiculares, y la</p>

	<p>caudal, la zona de conductos deferentes. Presentan una espermatogénesis de tipo quística y estacional. <i>I. meridionalis</i> presenta reproducción iterópara y se reproduce solo una vez en el año, disponiendo una etapa de reproducción entre los meses de junio y julio, ya que en los registros de Índice gonadosomático en las hembras presentaron un incremento en los meses de mayo 7.05 ± 6.97 y julio 7.24 ± 3.96 y los machos presentaron el índice elevado en los meses de febrero 0.38 ± 0.37 y julio 0.22 ± 0.07, coincidiendo las hembras que presentaban huevos en hidratación en los meses de junio a julio y los machos los machos presentaron su temporada reproductiva en los meses de mayo a julio, estando disponibles dos meses antes, coincidiendo estar las últimas etapas de la espermatogénesis al igual que las hembras, concluyendo que presentan una etapa de reproducción corta y se desarrolla en verano.</p>
Palabras clave	Ciclo reproductor, maduración, reproducción, ovario, testículo.
Referencias citadas	<p>Anzueto-Calvo, M., Velázquez-Velázquez, E., Gómez-González, A., Quiñonez, R.M., y Joysen-Olson, B. (2013). Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas, México. Colección Jaguar UNICACH. http://www.unicach.edu.mx/.</p> <p>Bessa, E., Brandão, M. L., y Gonçalves-de-Freitas, E. (2021). Integrative approach on the diversity of nesting behaviour in fishes. <i>Fish and Fisheries</i>, 23(3), 564–583.</p> <p>Bondari, K. (1990). Reproduction and genetics of the channel catfish (<i>Ictalurus punctatus</i>). <i>Reviews in Aquatic Sciences</i>. 2(3), 357-374</p> <p>Bucholtz, R.H., Tomkiewicz, J. y Dalskov, J. (2009). Manual</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Universidade Federal do Rio Grande</p>	<p>to determine gonadal maturity of herring (<i>Clupea harengus</i> L. DTU Aqua report. https://findit.dtu.dk/en/catalog/537f0d377401dbcc1200a671</p> <p>Chatakondi, N.G., y Kelly, A.M. (2013). Oocyte Diameter and Plasma Vitellogenin as Predictive Factors to Identify Potential Channel Catfish, <i>Ictalurus punctatus</i>, Suitable for Induced Spawning. <i>Journal of The World Aquaculture Society</i>. 1(44), 115-123.</p> <p>Chávez-Lomelí, M.O., Mattheeuws, A.E. y Pérez-Vega, M.H. (1988). Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. Instituto Nacional de Investigaciones sobre <i>Recursos Bióticos</i>, Villahermosa, Tabasco. 222 p.</p> <p>CONABIO (93. Río San Pedro), http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_093.html</p> <p>Dos Santos, J.E., Marcon, L., Guedes-Brito, M.F., Guimarães-Sales, N., Rizzo, E. y Bazzoli, N. (2019). Reproductive biology of the Neotropical catfish <i>Iheringichthys labrosus</i> (Siluriformes: Pimelodidae), with anatomical and morphometric analysis of gonadal tissues. <i>Animal Reproduction Science</i>, 209 (2019), 106173. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106173</p> <p>Engle, C. R., Hanson, T., y Kumar, G. (2022). Economic history of US catfish farming: Lessons for growth and development of aquaculture. <i>Aquaculture Economics and Management</i>, 26(1), 1–35.</p> <p>Grier, H., Uribe-Aranzabal, M., y Patiño, R. (2009). The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. <i>Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony</i></p>
---	---

	<p>Fishes) Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny. <i>Science Publishers</i>, Enfield, New Hampshire. In Jamieson BGM, editor, (8), 25–84.</p> <p>Grier, HJ. (2012). Development of the Follicle Complex and Oocyte Staging in Red Drum, <i>Sciaenops ocellatus</i> Linnaeus 1776 (Perciforms, Sciaenidae). <i>Journal of Morphology</i>. 273(8), 801–829.</p> <p>Grier, H. J., y Uribe-Aranzabal, M. C. (2009). The testis and spermatogenesis in teleosts. In Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes). Part A of Series: Reproductive <i>Biology and Phylogeny</i>. <i>Science Publishers</i>, Enfield, New Hampshire. In Jamieson BGM, editor, (8) 119–142.</p> <p>Hubenova, T., Iliev, I. & Zaikov, A. (2014). Reproductive Biology of the Channel Catfish (<i>Ictalurus punctatus</i> Raf.) Reared in Heated Water. <i>Bulgarian Journal of Agricultural Science</i>, 20(4), 957–961.</p> <p>Medina-Sánchez, B.E. (2013). Aspectos reproductivos del bobo liso <i>Ictalurus meridionalis</i> (Siluriformes: Ictaluridae) en la cuenca alta del río Usumacinta, México (Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco).</p> <p>Ruiz-G, K., Rodríguez-M, J.A. & Soto-R, R.L. (2001). Fecundidad de la anchoveta <i>Cetengraulis mysticetus</i> (PICES: Engraulidae) en la población de la parte interna del Golfo de Nicoya, Costa Rica. <i>UNICIENCIA</i>, 1(18), 43–49.</p> <p>http://hdl.handle.net/11056/25197</p>
--	--