



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGIA Y MANEJO DE
SISTEMAS TROPICALES

ALGUNOS ASPECTOS DE LA BIOLOGÍA PESQUERA DEL
TOPUCHE *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) EN LA
CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO,
MÉXICO

TESIS

PRESENTA:

M. C. RAÚL ENRIQUE HERNÁNDEZ GÓMEZ

ASESORES

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ (Asesor interno)
DRA. MARTHA ALICIA PERERA GARCÍA (Asesor externo)

JULIO, 2017



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



JULIO 07 DE 2017

**C. RAÚL ENRIQUE HERNÁNDEZ GÓMEZ
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES
P R E S E N T E.**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"ALGUNOS ASPECTOS DE LA BIOLOGIA PESQUERA DEL TOPUCHE *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO"**, asesorado por el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez y Dra. Martha Alicia Perera García sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Rafael Martínez García, Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dr. Manuel Mendoza Carranza, Dra. Wendi Arévalo Frías, Dra. Martha Alicia Perera García y Dra. Susana Camarillo Coop.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

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

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.

C.c.p.- Archivo

Miembro CUMEX desde 2006
**Consortio de
Universidades
Mexicanas**
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: dirección.dacbiol@ujat.mx

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



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



Villahermosa, Tab., a 07 de Julio de 2017

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. RAÚL ENRIQUE HERNÁNDEZ GÓMEZ** egresado del Doctorado en **CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **"ALGUNOS ASPECTOS DE LA BIOLOGIA PESQUERA DEL TOPUCHE *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MEXICO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado

CARTA AUTORIZACIÓN

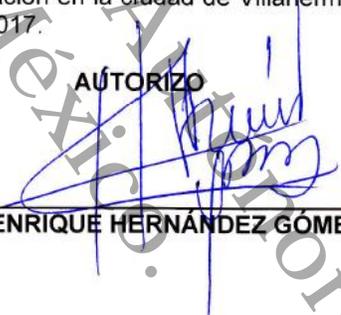
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **"ALGUNOS ASPECTOS DE LA BIOLOGIA PESQUERA DEL TOPUCHE *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 07 Días del mes de Julio de 2017.

AUTORIZO



RAÚL ENRIQUE HERNÁNDEZ GÓMEZ

DEDICATORIA

- A mi esposa Teresa de Jesús Zamudio Pérez por su apoyo y amor incondicional.

-A mis hijos, Enrique de Jesús, Fátima Guadalupe y Jesús Raúl con todo mi amor y cariño.

-A mis padres Lucia Gómez Ruiz y Otilio Hernández Pérez (†) por darme la existencia y su amor.

-A mi tía Victoria Gómez Ruiz por su apoyo y amor.

-A mis hermanos Hugo Arturo, Sergio David, Guadalupe y Tila del Carmen por su constancia y amor.

-A mi amigo y compadre Ignacio Valenzuela Córdova por su apoyo incondicional.

A mi amigos y compañeros de generación del doctorado: Rodimiro, Francisco, Carlos y Miguel.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma Tabasco por el apoyo y otorgamiento de la beca institucional para la realización del estudio de doctorado.

A la División Académica de Ciencias Biológicas por permitirme realizar los estudios del posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca para lograr un grado más en mi formación profesional.

Al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por la atención prestada en las actividades realización en el laboratorio de Pesquerías.

A Nicholls State University (NSU) por recibirme para realizar una estancia de investigación en sus instalaciones.

A la MTA. Sandra Aguilar Hernández por su gestión y apoyo administrativo para realizar el posgrado.

A mis Asesores Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez y la Dra. Martha Alicia Perera Gracia por su gran apoyo, sus valiosas recomendaciones y por su tiempo invertido en este trabajo.

A los miembros del comité de Tesis: Dr. Rafael Martínez García, Dr. Alfonso Álvarez González, Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dr. Manuel Mendoza Carranza, Dra. Wendy Arevalo Frias, Dra. Martha Alicia Perera Garcia, Dra. Susana Camarillo Coop

A los miembros del comité de examen Pre-doctoral: Dra. Eunice Pérez Sánchez, Dr. Arturo Garrido Mora, Dr. Everardo Barba Macías, y Dr. Luis José Rangel Ruiz.

A la M.C. Arlette A. Hernández Franyutti por su asesoría y apoyo durante la realización del trabajo de histología.

Al Biólogo Moisés González Valencia por su apoyo en las técnicas y métodos de histología.

A mis amigos, compañeros profesores-investigadores de la División Académica Multidisciplinaria de los Ríos por su apoyo moral.

CONTENIDO

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos.....	III
CAPITULO I.....	1
1. Introducción.....	2
2. Antecedentes.....	4
2.1. Distribución geográfica.....	4
2.2. Generalidades del topuche <i>Aplodinotus grunniens</i>	5
2.3. Hábitat y hábitos alimenticios de <i>A. grunniens</i>	6
2.4. Aspectos reproductivos y migratorios de <i>A. grunniens</i>	6
2.5. Estudios biológicos-pesqueros de <i>A. grunniens</i>	7
2.5. Estudios de edad y crecimiento de <i>A. grunniens</i>	8
2.6. Estudios de <i>A. grunniens</i> en México.....	10
3. Justificación.....	11
4. Objetivos.....	12
4.1. Objetivo general.....	12
4.2. Objetivos particulares.....	12
5. Literatura citada.....	13
CAPITULO II.....	16
CAPITULO III.....	31
CAPITULO IV.....	61
CAPITULO V.....	92
CAPITULO VI:.....	117
Discusión general.....	118
Conclusiones.....	120

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPITULO I

ALGUNOS ASPECTOS DE LA BIOLOGÍA PESQUERA DEL TOPUCHE
Aplodinotus grunniens (PERCIFORME: SCIAENIDAE) EN LA CUENCA MEDIA
DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO

PROTOCOLO DE TESIS DOCTORAL

(FEBRERO/2013)

1. Introducción

En México, los peces de la familia Sciaenidae son comúnmente conocidos como roncadores o corvinas. Son especies de escama que forma parte la pesca ribereña, y donde *Aplodinotus grunniens* (Rafinesque, 1819), es la única especie de agua dulce que se distribuye geográficamente en el continente Americano, siendo reportada en Canadá, Estados Unidos, México y Guatemala (Chao, 2002; Sluss and Harrel, 2006). Esta especie ha sido ampliamente estudiada en Norteamérica, donde existen estudios sobre su alimentación, reproducción, dimorfismo sexual, crecimiento, edad y variación morfológica en ambientes loticos y lenticos (Deiber, 1952; Rypel, et al, 2006; Rypel, 2007; Davis-Foust et al, 2009; Jacquemin and Pyron, 2013; Jacquemin et al., 2014).

Es una especie de importancia comercial de la comunidades riverenas que se encuentran a lo largo del río Usumacinta del estado de Tabasco, así como en otros estados cercanos al Golfo de México: Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chiapa (SAGARPA, 2004; SAGARPA, 2007; SAGARPA, 2014; Rivera *et al.*, 2015). La pesquería de esta especie está estrechamente relacionada con el comportamiento reproductivo asociado a la migración; y a la sobreexplotación de las capturas comerciales es indicativo de que es necesario reforzar las medidas de administración y fomentar el uso racional de este recurso (SAGARPA, 2010). Sin embargo, esta especie ha sido escasamente investigada en la región de los ríos del estado de Tabasco, resaltando el estudio de Chávez et al., (1989) sobre la biología de la especie en el río San Pedro en Balcan, Tabasco, con el objetivo de determinar el potencial para la piscicultura. Recientemente, Hernández-Gómez et al., (2013) describieron el desarrollo embrionario de *A. grunniens* con organismos mantenidos en cautiverio.

Con el fin de contribuir con el manejo de *A. grunniens* es importante orientar investigaciones que generen conocimientos biológicos relacionados a la migración, ecología, estructura poblacional y sobre aspectos reproductivos con la finalidad de establecer la temporada reproductiva. Debido a esta situación y a la actividad pesquera a la cual está siendo sometida la población de esta especie en el río Usumacinta, la cual se realiza con mayor frecuencia durante esa temporada reproductiva, el estiaje del río, es considerada la estación del año en la cual se afecta el ciclo reproductivo de la especie. Asimismo, podrían capturarse ejemplares con tallas y edades menores a la primera madurez sexual.

Con la finalidad de dar respuesta a estas interrogantes y de generar información que permita el manejo adecuado de este recurso, el presente estudio tiene por objetivo determinar aspectos relevantes sobre la biología poblacional y reproductiva de *A. grunniens*, entre estas determinar la estructura de tallas y edades, la temporada reproductiva y otros aspectos reproductivos como proporción de sexo y madurez sexual. Este trabajo también pretende complementar la información de la biología reproductiva con aspectos histológicos que determinen las etapas y estadios de desarrollo gonádico y gametogénico en la especie.

2. Antecedentes

2.1. Distribución geográfica

El topuche *A. grunniens*, es la única especie de agua dulce perteneciente a la familia Sciaenidae, que se distribuye en América del Norte, al este de las Montañas Rocosas en San Lorenzo-Grandes Lagos, la Bahía de Hudson, en el Golfo de la bahía Mobile en Alabama y Georgia, EE.UU., en el río Mississippi de Quebec a Manitoba y Saskatchewan, en Canadá y en América Central, en el Golfo de México, en el río Usumacinta, río Grijalva y río San Pedro, y sur de Guatemala (Chávez *et al.*, 1989, Smith, 2009, Froese y Pauly, 2011) (Fig.

1).

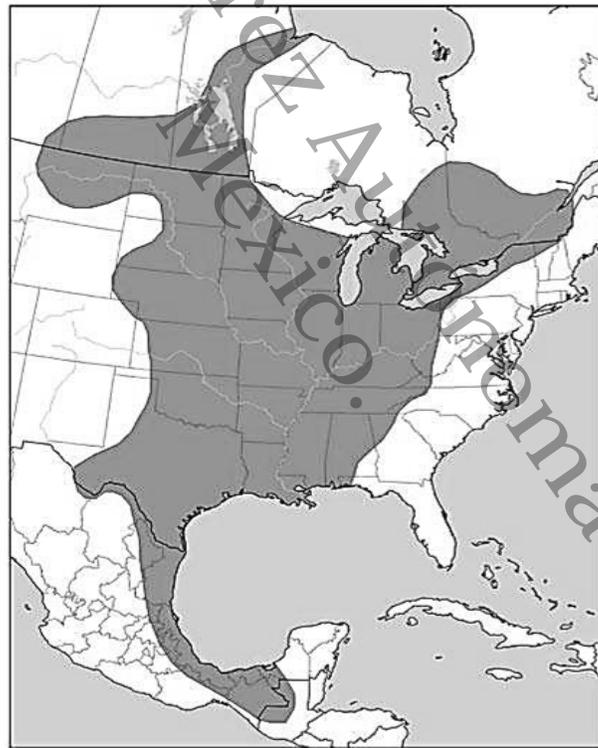


Figura 1. Distribución geográfica Freshwater Drum — *Aplodinotus grunniens*. (Mapa creado en abril 2010, Montana Natural Heritage Program) Montana Field Guide (2017).

2.2. Generalidades del topuche *Aplodinotus grunniens*

Este pez pertenece a la familia Sciaenidae que habitan ambientes marinos, salobres, y de agua dulce (sobre todo en América del Sur); en el océano Atlántico, Indico, y Pacífico.

A. grunniens, es un pez de color plateado como un aspecto distintivo. Una característica inusual de estos peces es que su línea lateral se extiende hasta la aleta caudal redondeada. Presenta una larga aleta dorsal con respecto a su longitud total de su cuerpo. La boca es subterminal con un hocico redondeado contundente, las escamas de la línea lateral pueden variar de 49 a 53 las cuales son de tipo ctenoideo. La aleta anal tiene dos espinas, la primera es mucho más corta que la segunda, y con siete radios suaves (Chao, 2002; Smith, 2009) (Fig. 2).

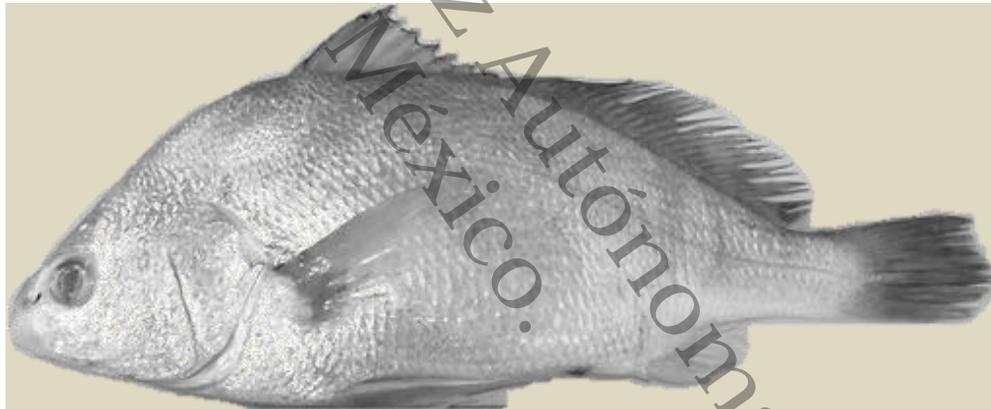


Figura 2. Hembra de *Aplodinotus grunniens* capturado en la cuenca media del Rio Usumacinta, Tabasco, México (LT=42cm).

Smith (2009) en un estudio realizado en E.U., reportó que los organismos de *A. grunniens* pueden alcanzar longitudes de hasta de 91 cm, en promedio su tamaño varían de 31-71 cm. Puede alcanzar pesos hasta de 24 kg., con un promedio entre 0.45-3.6 kg.

2.3. Hábitat y hábitos alimenticios de *A. grunniens*.

El topuche, vive en aguas estancadas, incluyendo zonas de profundidad, en medio de grandes ríos y fondo de ambientes lacustres superficiales. Es un pez bentónico adaptado especialmente a los sustratos rocosos limoso. Se alimenta principalmente de peces, crustáceos, cangrejos y macroinvertebrados (insectos inmaduros y bivalvos como mejillones) (Smith, 2009).

2.4. Aspectos reproductivos y migratorios de *A. grunniens*.

El ciclo de vida comienza cuando el óvulo de la hembra es fecundado por el espermatozoides del macho de manera externa. El huevo fertilizado eclosiona después de 48 a 96 hrs. Las larvas miden 3 mm al nacer y permanecen en la superficie durante tres días, o hasta que son capaces de nadar. Al alcanzar 15 mm migran a aguas más profundas para iniciar su alimentación (Sluss y Harrel, 2006).

Esta especie según Sluss y Harrel (2006) se reproduce una vez al año durante 6 u 7 semanas, a finales de primavera y comienzos de verano. El desove tiene lugar entre mayo y junio, cuando las temperaturas del agua alcanzan los 20°C. El número de alevines fluctúa aproximadamente entre 40,000 y 60,000. Estos investigadores reportan que la edad de primera madurez sexual o reproductiva en las hembras comienza entre los cinco a seis años y en los machos entre cuatro y seis años. A la vez mencionan que son bigamos, las hembras y machos dispersan los huevos y espermatozoides en la columna de agua donde la fertilización ocurre más bien al azar. Sin embargo, la evidencia científica para justificar esta afirmación no ha sido documentada.

2.5. Estudios biológicos-pesqueros de *A. grunniens*

Para esta especie existen estudios que datan desde 1952 realizados por Daiber relacionando el alimento y la alimentación con el tamaño en talla del pez en el Oeste del lago Erie, registrando principalmente a Hexagenia y anfípodos como las principales componentes de la dietas de peces juveniles de un año de edad y con tallas entre 13 a 108 mm en el Lago Erie. Para este mismo lago, Deiber (1953) realizó un estudio sobre la población reproductora de esta especie donde estableció picos de desoves en el mes de junio y con una tendencia al final del mes de julio. Registró, en el periodo de crecimiento una correlación significativa entre el peso de la gónada y el peso total del cuerpo de los ejemplares, $R=0.88$ en hembras y $R=0.77$ para machos con independencia del grado de madurez sexual. Davis (1959) realizó la descripción de huevos, embriones y larvas iniciales, colectados en la bahía del lago Erie de Estados Unidos y Canadá, indicando que presentan característica de huevos de peces pelágicos, con diámetros entre 1.15 a 1.70 mm. Para este mismo lago, durante un estudio de pesquería y limnología se evaluó la biología de la población de *A. grunniens* señalado que machos y hembras crecieron a la misma tasa a través del 4 ° año de vida, pero a partir de entonces las hembras crecieron más rápido, y que los machos requieren de más de los 13 años y las hembras de 11 años para alcanzar 43.18 cm de longitud (Edsall, 1967).

Otro tipo de investigación se realizó en esta misma localidad, evaluando el efecto de parásitos monogéneos (Heteraxinidae) donde registraron prevalencias entre 6.94-30.23% en peces macho y hembras respectivamente, intensidad media (1.40-3.23) y densidad relativa (0.10-0.98) de este parásito en branquias (Mergo y Crites, 1986). French y Love (1995) estudiaron en *A. grunniens* la limitación del tamaño en el consumo del mejillón cebra como

controlador biológico en el lago Erie. Registrando que peces de 55 cm consumen mejillones de 22 mm.

Blackwell *et al.*, (1995) evaluó una ecuación estándar del peso (Ws) de *A. grunniens* en 73 poblaciones en 11 estados de los Estados Unidos, usando la técnica de regresión lineal de percentiles para determinar si las poblaciones presentan una correlación entre peso y longitud.

French III y Bur (1996) examinaron el hábito alimenticio y anillos de crecimientos del *A. grunniens*, en el lago Erie para determinar si el incremento de la depredación del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) afecta el crecimiento en estos peces, uno de los resultados fue que a la edad de 3 a 4 años tanto machos como hembras se alimentan de dípteros. Hembras (325 a 375 mm) consumen más mejillones que los machos, y que los volúmenes mayores se presentan en hembras de 5 y 6 años de edad.

Bodensteiner y Lewis (1992) investigaron el papel de la temperatura, oxígeno disuelto, remansos y supervivencia de tambor de agua dulce durante el invierno en el río Mississippi, bajo laboratorio la mortalidad ocurre a los 135 días indicando que toleran temperaturas baja, pero las mortalidades más altas se registraron a los 10 ° C y las menores a 1 ° C.

2.5. Estudios de edad y crecimiento de *A. grunniens*

Phelps *et al.*, (2000) realizaron en el Río Rideau, Ottawa, Ontario, Canadá el primer registro una hembra de *A. grunniens* de 13 años de edad con 568 mm de longitud total y 2.76 kg. La edad fue determinada por escamas de la línea lateral.

Recientemente, se realizó un estudio en *A. grunniens* sobre el crecimiento en dos hábitats (lóticos y lénticos) en Alabama U.S.A., analizados a través de la función von

Bertalanffy para determinar la variación de la edad y crecimiento. Se registraron peces más grandes en ambientes lóticos y con edades de 12 años y aparentemente presentaron una vida más longeva (>30 años) (Rypel *et al*, 2006). Esta misma ecuación, fue utilizada y combinada con estadística no paramétrica para examinar el dimorfismo sexual en esta especie en cinco lagos y cuatro ríos de Alabama, demostrando que hembras y machos son similares entre los primeros años de vida (0-4), pero diferentes significativamente en las subsecuentes edades. Registrando hembras grandes (520.8 mm LT) en comparación con los machos (385.3 mm LT) (Rypel, 2007).

Rypel (2008) estimó la edad de cinco peces comúnmente estudiadas para el manejo de pesquerías en Norte América, entre ellas a *A. grunniens* los cuales fueron colectados en ríos y reservorios de Alabama y el Mississippi durante el verano, los otolitos fueron seccionados transversalmente y fueron colocados en un escáner de imágenes. Al comprar el método tradicional para determinar la edad, asume que ambas presentan una interrelación interanual en las medidas de crecimiento.

Davis-Foust *et al.*, (2009) realizaron la validación de la edad en otolitos de *A. grunniens* provenientes del lago Winnebago del Este de Wisconsin, Estados Unidos mediante la bomba de radiocarbono. Estimaron edades entre los 17 a 52 años.

Recientemente, Davis-Foust (2012) en el lago Winnebago, Wisconsin, estudio a largo plazo los disturbios por actividades antropogenicas sobre *A. grunniens*, en tres sitios de muestreos mencionando que las medias de los otolitos arqueológicos difirieron ($F(2,553)=39.277$, $p<0.0001$), así como los otolitos modernos ($F(2,478)=87.750$, $p<0.001$). Así mismo, investigó sobre la respuesta de esta especie por la introducción de mejillones cebra el cual se ve reflejado en su crecimiento cronológico en los otolitos. Donde menciona que las edades de los peces esta ente los 2 y 58 años con notables incremento en el

crecimiento entre 1948-2008, y que el más notables en 1987-1988 con un declive en 1992 y con una tendencia de incremento en 2001-2008.

2.6. Estudios de *A. grunniens* en México.

En Tabasco, México Chávez *et al.*, (1989) estudio en el río San Pedro, Balancán la relación peso-longitud de *A. grunniens* con un $P= 1.10 \times 10^6 L^{3.42}$ demostrando que no existen diferencia entre subgrupos de en la especie, y que presentan un tipo de crecimiento alométrico ($b > 3$), con una reproducción entre los meses de febrero-marzo a mayo-junio, presentando una fecundidad estimada de 4,272 óvulos para hembra de 30.2 cm y el máximo de 644, 922 en una hembra de 25.0 cm. Escobar-González (1997) realizo un estudio parasitológico de la especie en la laguna Salinillas, Anáhuac, Nuevo León y Hernández-Gómez *et al.*, (2013) describieron el desarrollo embrionario de *A. grunniens* empleando organismos mantenidos en cautiverio en laboratorios de la División Académica Multidisciplinaria de los Ríos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en Tenosique, Tabasco, México.

3. Justificación

La pesca artesanal o ribereña se realiza en los litorales y en las aguas continentales del Golfo de México. La explotación de la pesca comercial se basa en la organización cooperativa pesquera. Las políticas actuales no favorecen el desarrollo de esta actividad, existiendo carencias en el ordenamiento de las pesquerías con el consecuente uso/explotación no sustentable del recurso (Flores y Ramos, 2004). Las condiciones de conflicto por la que pasa la pesca artesanal, ha inducido que se constituyan estrategias de diferentes perspectivas gubernamentales, el sector social y el sector académico para la toma de decisiones.

La pesca de *A. grunniens* está sujeta a una pesquería responsable que señala el aprovechamiento de este recurso desde el 2004 (SAGARPA, 2004), y que según se complementa con la NOM-009-PESC-1993 que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas (SAGARPA, 2004). Sin embargo, en Tabasco se ha observado que esta normatividad no se respeta, y que para la especie no existe como tal veda, ya que su captura se realiza durante su periodo reproductivo (Chávez *et al.*, 1989). Y que probablemente se esté provocando una decadencia en la abundancia del recurso. Otras causas como el represamiento, pérdida del hábitat y contaminación de los ríos, pueden llegar a afectar severamente las poblaciones de esta especie.

Como respuesta a esta situación, se han realizados escasos estudios sobre su biología, ecología y pesquería de la especie. Por lo que es necesario incrementar el conocimiento sobre estos aspectos que permitan y que se utilicen como fundamento en la instauración de criterios y toma de decisiones, para favorecer la administración de este recurso.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

- ❖ Evaluar algunos aspectos de la biología poblacional y reproductiva del topuche *Aplodinotus grunniens* durante un ciclo anual con organismos provenientes de la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México.

4.2. Objetivos particulares

- ❖ Determinar la estructura poblacional de *A. grunniens*, a lo largo de un ciclo anual.
- ❖ Determinar la proporción de sexos de *A. grunniens* a lo largo de un ciclo anual.
- ❖ Describir la relación talla-peso de ejemplares de *A. grunniens*.
- ❖ Determinar el índice gonadosomático (IGS), el índice hepatosomático (IHS) y factor de condición (K) de *A. grunniens*.
- ❖ Determinar la talla media de primera madurez sexual (L_{50}) y la talla en que todos son aptos para la reproducción (L_{100}) en hembras y machos de *A. grunniens*.
- ❖ Evaluar la fecundidad gravimétrica de *A. grunniens*.
- ❖ Describir macroscópicamente y microscópicamente los estadios de madurez gonadal en machos y hembras de *A. grunniens*.
- ❖ Determinar la edad y crecimiento de hembras y machos de *A. grunniens* a través de la lectura de anillos de crecimiento en otolitos seccionados.

5. Literatura citada

- Blackwell, B. G., M. L. Brown, and B. R. Murphy. (1995). Development and evaluation of a standard weight (Ws) equation for freshwater drum. *Prairie Naturalist* 27:51–61.
- Bodensteiner, L. R. and W. M. Lewis. (1992). Role of temperature, dissolved oxygen, and backwaters in the winter survival of freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*) in the Mississippi River. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 173-184.
- Chao, N. L. (2002). Sciaenidae, Croakers (drums). In *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists.* (Carpenter, K. E., ed.), pp. 1583-1653. Vol. 3, Special Publications. Rome: FAO.
- Chávez, L. M. O., Mattheeuws, A. E., y Pérez, M. H. V. (1989). *Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura.* 1ra. Edición INIREB, Xalapa, Veracruz, México.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). (2012). Base de Datos 2011(Consultado: 26 de agosto de 2012, http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca).
- Davis, C.C. (1959). A planktonic fish egg from fresh water Notes and Comment. *Limnology and Oceanography*, 4(3):352-354.
- Davis-Foust, S. L. (2012). Long-term changes in population statistics of freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*), in Lake Winnebago, Wisconsin, using otolith growth chronologies and bomb radiocarbon age validation. Ph.D dissertation, The University of Wisconsin, Milwaukee.
- Davis-Foust, S. L., Bruch, R. M., Campana, S. E., Olynyk, R. P. & Janssen, J. (2009). Age validation of freshwater drum using bomb radiocarbon. *Transactions of the American Fisheries Society* **138**, 385-396.
- Daiber, F.C. (1953). Notes on the Spawning population of the Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens* Rafinesque) in Western Lake Erie. *American Midland Naturalist*, 50(1):159-171.
- Daiber, F.C. (1952). The food and feeding relationships of the freshwater drum, *Aplodinotus grunniens* Rafinesque in Western Lake Erie. *The Ohio Journal of Science*, 52(1), 35-46.

- Escobar G.B. (1997) Parasitos del besugo (*Aplodinotus grunniens*) Rafinesque, 1819 y la tilapia (*Sarotherodon aurea*) Steindacher, 1864 en la laguna de Salillas, Anáhuac, N.L., Mexico. Tesis Maestria, Universidad Autonoma de Nuevo León.
- Edsall, T.A. (1967). Biology of the freshwater drum in Western Lake Erie. *The Ohio Journal of Science*, 67(6), 321-340.
- Espinosa-Pérez, H., & A. Daza-Zepeda. (2005). Peces, p. 225-240. In J. Bueno, F. Álvarez & S. Santiago (eds.). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Biodiversidad, México. D.F., México.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2012). Estado mundial de la pesca y acuicultura 2012. (Roma). FAO.
- Flores H.D. y J.M. Ramos (2004) Las pesquerías Artesanales en el Golfo de México. Actividades productivas: Cap. 39 : en Rivera Arriaga, E., G. J. Villalobos, I. Azuz Adeath, y F. Rosado May (eds.), El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654p.
- French, J. R. P. and J. G. Love. 1995. Size limitation on zebra mussels consumed by freshwater drum may preclude the effectiveness of drum as a biological controller. *J. Freshwat. Ecol* 10:379–383.
- French, J.R.P., III, and Bur, M.T. 1996. The effect of zebra mussel consumption on growth of freshwater drum in Lake Erie. *J. Freshwater Ecol.* 11: 283–289.
- Froese R. & Pauly D. (2011). Fishbase. World Wide Web electronic publication. (ed. by R. Froese & D. Pauly). www.fishbase.org, version 12/2011. Froese y Pauly, 2011.
- Hernández-Gómez, R. E.; Perera-García, M. A.; Valenzuela, C. L.; Duran, M. T. & Mendoza Carranza, M. (2013) Embryonic development of *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) in Tenosique, Tabasco, Mexico. *Int. J. Morphol.*, 31(2):633-639, 2013.
- Jacquemin, S. J., & Pyron, M. (2013) Effects of allometry, sex, and river location on morphological variation of freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in the Wabash River, USA. *Copeia*, 4, 740-749.
- Jacquemin, S. J., Pyron M., Allen M. & Etchison L. (2014). Wabash River Freshwater Drum *Aplodinotus grunniens* Diet: Effects of Body Size, Sex, and River Gradient. *Journal of Fish and Wildlife Management* 5, 133-140.
- Mergo Jr, J. C., & Crites, J. L. (1986). Prevalence, mean intensity, and relative density of *Lintaxine cokeri* Linton 1940 (Monogenea: Heteraxinidae) on Freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*) in Lake Erie (1984).

- Freshwater Drum — *Aplodinotus grunniens*. Montana Field Guide. Montana Natural Heritage Program and Montana Fish, Wildlife and Parks. Retrieved on February 14, 2017, from <http://FieldGuide.mt.gov/speciesDetail.aspx?elcode=AFCQH01010>.
- Phelps A.; Renaud, C. B. & Chapleau, F. (2000). First record of a freshwater drum, *Aplodinotus grunniens* in the Rideau River, Ottawa, Ontario. *Can. Field-Nat.*, 114(1):121-5.
- Rypel, A. L. (2007). Sexual dimorphism in growth of freshwater drum. *Southeastern Naturalist*, 6(2), 333-342.
- Rypel, A. L., Bayne, D. R., & J. B. Mitchell. (2006). Freshwater drum growth from lentic and lotic habitats in Alabama. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135, 987–997.
- Rypel, A.L. 2008. An inexpensive image analysis system for fish otoliths. *North American Journal of Fisheries Management*, 28: 193-197.
- SAGARPA (2004). NOM-037-PESC-2004, Norma Oficial Mexicana Pesca responsable en el Sistema Lagunar formado por las humedales del Usumacinta, en los municipios de Catazajá, Palenque y La Libertad en el Estado de Chiapas, Jonuta, Emiliano Zapata y Balancán en el Estado de Tabasco, Ciudad del Carmen y Palizadas en el Estado de Campeche.
- SAGARPA (2005). NOM-051-PESC-2005, Norma Oficial Mexicana Pesca responsable en el embalse de la presa Venustiano Carranza, en el Estado de Coahuila.
- SAGARPA (2010) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA (2014). NOM-060-SAG/PESC-2014, Norma Oficial Mexicana Pesca responsable en cuerpos de aguas continentales dulceacuícolas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- Sluss, A. & Harrel, S. (2006). *Aplodinotus grunniens*. Animal Diversity. Available at http://141.213.176.11/site/accounts/information/Aplodinotus_grunniens.html. (last accessed June 14 2016).
- Smith, S.R. (2009). Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens*). Texas Parks & Wildlife fisheries (Consultado: 2 de June de 2011, <http://www.tpwd.state.tx.us/huntwild/wild/species/fwd/>).

CAPITULO II

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TAMBOR DE AGUA DULCE *Aplodinotus grunniens* RAFINESQUE, 1819 (PERCIFORMES: SCIAENIDAE) EN TABASCO, MÉXICO

REPRODUCTIVE BIOLOGY OF THE FRESHWATER DRUM *Aplodinotus grunniens* IN TABASCO, MEXICO

Publicado en la revista Ecosistemas y Recursos Ambientales

Hernández-Gómez, R. E., Contreras-Sánchez, W. M., & Perera-García, M. A. (2017). Reproductive biology of the freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in Tabasco, Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 317-330.

Reproductive biology of the freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in Tabasco, Mexico

Biología reproductiva del tambor de agua dulce *Aplodinotus grunniens* en Tabasco, México

Raúl Enrique Hernández-Gómez¹, Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez^{2*}, Martha Alicia Perera-García³

¹Laboratorio de Acuacultura, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, CP. 86901, Tenosique-Estapilla Km 1.0.

²Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. CP. 86039, Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5, Entronque a Bosques de Saloya.

³División Académica de Ciencias Agropecuarias, Villahermosa-Teapa Km. 25.0, Tabasco, México.

*Corresponding author: contrerw@hotmail.com

Scientific article received: November 25, 2015 accepted: October 25, 2016

ABSTRACT. *Aplodinotus grunniens* supports a sustained artisanal fishery in the Usumacinta River; however, there are few studies to understand the population dynamics of the species. Relevant aspects of the reproductive biology were documented over an annual cycle, using 593 specimens captured with seine nets. The results indicate that females had a median TL of 32.05 cm, while males had 29.71 cm. The estimated sex ratio was 1.2:1 (males: females). The length-weight relationship showed significant difference between sexes, observing an allometric-type growth represented by $TW=0.0013(TL)^{3.5985}$ with 89.17 % of the data variability explained by the model. Gonadosomatic index (GSI) in females was higher in September (4.29), with males displaying a higher GSI in October (1.02). The highest HSI increase in females was observed in October (1.0). The estimated relative fecundity was 138.74 (± 74.30) oocytes/g of female weight. The macroscopic analysis of gonads indicates that the highest frequency of mature females occurs in June (75 %), while in males it takes place in March and June (35 %). The estimated L_{50} for females was 31.89 cm (TL) and 28.78 cm (TL) for males. Though *A. grunniens* reproduces throughout the year, reproductive peaks coincide with the period when the river level decreases, and fishing increases considerably. Hence, preventive measures must be applied in regards to the size of the species at capture and the exploitation volumes of this resource.

Key words: Fishery biology, reproduction, Usumacinta river

RESUMEN. *Aplodinotus grunniens* soporta una pesquería artesanal sostenida en el río Usumacinta; sin embargo, existen pocos estudios que permitan entender su dinámica poblacional. Se documentaron aspectos relevantes de la biología reproductiva a lo largo de un ciclo anual, empleándose 593 especímenes capturados con redes de cerco. Los resultados indican que las hembras presentaron una mediana de 32.05 cm de LT y los machos de 29.71 cm. La proporción sexual estimada fue de 1.2:1 (machos: hembras). La relación longitud-peso presentó diferencias significativas entre sexos, observándose un crecimiento de tipo alométrico representado por $TW=0.0013(TL)^{3.5985}$, con un 89.17 % de la variabilidad de los datos explicada por el modelo. El índice gonadosomático (IGS) en hembras fue mayor en septiembre (4.29) y en machos en octubre (1.02), mientras que el mayor incremento de IHP en hembras se observó en octubre (1.0). La fecundidad relativa estimada fue de 138.74 (± 74.30) ovocitos/g de peso de la hembra. El análisis macroscópico de gónadas indica que la mayor frecuencia de organismos maduros en hembras se presenta en junio (75 %) y en machos en los meses de marzo y junio (35 %). La L_{50} estimada para hembras fue de 31.89 cm (LT) y para los machos de 28.78 cm (LT). *A. grunniens* se reproduce la mayor parte del año, con picos reproductivos que coinciden con la disminución en los niveles del río y un considerable aumento de la pesca. Por lo tanto, se deben establecer medidas preventivas sobre su talla de captura y los volúmenes de explotación del recurso.

Palabras clave: Biología pesquera, Reproducción, río Usumacinta

INTRODUCTION

The freshwater drum *Aplodinotus grunniens* belongs to a group of fish of the Sciaenidae family that includes organisms living in sea, salt and fresh water. This family comprises 70 genera with 270 species (Nelson 1994) that are distributed practically in all continents and constitute a major worldwide fishery resource. The freshwater drum is distributed throughout the Americas, in Canada from Quebec to Manitoba and Saskatchewan; in the US, east of the Rocky Mountains in San Lorenzo-Great Lakes, the Hudson Bay, the Gulf of the Mobile Bay in Alabama and Georgia, the Mississippi river, and in Central America, in the Gulf of Mexico, in the Usumacinta, Grijalva and San Pedro rivers and in southern Guatemala (Froese and Pauly 2011). The first studies of *A. grunniens* date back to 1950 and include information on its biology, feeding habits, spawning, and description of the egg, embryo and larva development (Edsall 1967). More recently, Rypel et al. (2006) studied its growth and age variation in rivers (lotic environment) where these fishes are significantly stronger and have longer life spans (>30 years), versus Alabama reservoirs (lentic environment). This same author conducted a study on sexual dimorphism in four Alabama rivers and found significant differences in the size of females and males (Rypel 2007). Other studies have been carried out in other species of the family on reproductive biology and population structure (Sirangelo and Ferreira 2004, Ramos-Miranda et al. 2009, Ferreira et al. 2011, Pombo et al. 2013, Militelli et al. 2013).

In Mexico, *A. grunniens* fishery takes place mainly in the states of Veracruz, Tamaulipas and Tabasco, with a reported production of almost 196.49 t (CONAPESCA 2016). In the state of Tabasco fish biodiversity registry, this species is known under the common name of roncadador de agua dulce (freshwater snorers or croakers) and has been catalogued as a vicarious species of the Usumacinta river basin (Espinoza-Pérez and Daza-Zepeda 2005). However, fishermen from the municipalities of Emiliano Zapata, Jonuta, Balancán

and Tenosique (river zone) call it topuche or roncadador. Investigations in Mexico on its biology, ecology, and fisheries are scarce; therefore, the objective of this study was to determine relevant aspects of the reproductive and population biology of *Aplodinotus grunniens* over an annual cycle.

MATERIALS AND METHODS

A total of 593 specimens of *A. grunniens* were collected between January and December 2013 from the commercial fishery of the Usumacinta river, Tenosique, Tabasco. The capture area covers the regions described by the inhabitants as the Usumacinta river Canyon Boca del Cerro (17° 25' 33" North and 91° 29' 29" West); the Isla (17° 28' 25" North and 91° 31' 40" West), the Recreo (17° 29' 05" North and 91° 25' 91" West); Chaculji (17° 29' 57" North and 91° 26' 48" West), and the Copo (17° 34' 74" North and 91° 29' 89" West). The specimens were captured during the low water months using seine nets with a mesh size of 2 cm, 80 m in length and 3.0 m in height; during the periods of increased water level, fish were captured using hook and line with crayfish *Procambarus llamas* as bait. Fish were killed rapidly by a blow to the head.

From each of the organisms collected, the total length (TL) was recorded using a standard ictiometer of 100 cm ± 1mm precision; the total weight (TW), liver and gonad weight were determined using a Scout Pro™ digital scale of 4 000.00 g and ± 0.01 g precision. Both sex and sexual maturity were determined on the basis of gonad morphological characteristics and color in accordance with a maturation scale for partial spawning fish proposed by Nikolsky (1963) that comprises six stages: immature (I), quiescent (II), maturing (III), mature (IV), spawning (V), and spent (VI). Monthly male: female ratios were calculated for different maturity stages. The gonadosomatic index (GSI) was determined with the equation $GSI = Wg/Wt * 100$, where Wg = gonad weight, and Wt = specimen weight (Rossendillum et al. 1987). The hepatosomatic index (HSI) was determined with the equation $HSI = Wh/Wt * 100$, where Wh = liver weight, and Wt =

specimen weight (Rodríguez-Gutiérrez 1992). The physiological state or condition factor (K) of each fish was obtained using the expression $K=W/L^{b*100}$ proposed by Ricker (1958).

The total length-weight relationship was calculated separately for both sexes by applying the mathematical relationship: $TW= aTL^b$, proposed by Ricker (1975), where TW is the total weight, a is the intercept, TL the total length, and b the slope (growth coefficient). The average size at sexual maturity, defined as the size and age at which 50 % of fish are sexually mature (L_{50}) and when all individuals are fit to actively participate in the reproductive process (L_{100}), was determined on the basis of accumulated relative frequencies of male and female individuals, in maturity stages II and V (Luksenburg and Pedersen 2002), using the logistic equation method of King (2007): $P=1/(1 + \exp^{-r(L-L_m)})$, where r = slope of the curve, and L_m = mean length of maximum gonad length to which 0.5 (50 %) of the ratio correspond.

Absolute fecundity was also calculated, understood as the number of mature or maturing oocytes found in the ovary. Estimates were conducted by taking three subsamples of 0.3 g (± 0.001) in three sections of the gonad (anterior, middle and posterior), and the equation $Fa= n*G/g$ was used; where G = total weight of gonad, g = weight of subsample, and n = average number of oocytes (Bagenal 1978). Relative fecundity was estimated with the formula $Fr = \text{Total oocytes/weight of fish in g}$. In each of these techniques weight was obtained using a Scout ProTM digital scale of 4 000.00 g and ± 0.01 g precision. Climate data such as water temperature ($^{\circ}\text{C}$), dissolved oxygen (DO), rainfall (mm), and river water level (masl) were taken from the records of the National Water Commission.

The median weight and length values of males and females were compared using the Mann-Whitney (W) test since data did not meet the parametric criteria (Zar 1999). A multiple correlation analysis and ANCOVA were applied to the TL-TW regressions between sexes to identify possible differences between them (Sparre and Venema 1998). The sex ratio per month was compared

using a Chi square test (X^2) (Underwood 1997). Growth allometric equations were obtained with a logarithmic transformation (Sokal and Rohlf 1996). A Student's t-test (t) was applied to the value of slope b to determine the type of growth (Ibáñez and Fernández 2006). All the statistical analysis were performed considering an error margin $\alpha = 0.05$.

RESULTS

Of the total number of specimens examined, 327 were males and 266 females. The males had a TL between 23.32 to 39.05 cm and a most frequent size of 29.00 cm. In females, TL was between 24.90 to 46.10 cm, with a most frequent size of 30.00 cm (Figure 1). Males showed significantly smaller weight and length with medians = 262.60 g and 29.71 cm, than females with medians = 362.85 g and 32.05 cm (Mann-Whitney, $W = 23\ 700.50$ and $23\ 430.00$, $p < 0.001$). The analysis of the length-weight relationship between females and males indicates that there are statistically significant differences between models (ANCOVA, $F_{1,589} = 144.46$, $p < 0.001$). The relationship for females was $TW=0.0007(TL)^{3.7834}$ and for males $TW=0.0079(TL)^{3.0693}$. For both sexes the model obtained was $TW=0.0013(TL)^{3.5985}$, and the percent of data variability explained by the model (R^2) was 90.78 % for females, 81.22 % for males and 89.17 % for both sexes. The observed value of b for the species (both sexes) is greater than three, an indication that the species presents an allometric-type growth ($t_2 = 4.48$, $p < 0.05$) (Figure 2). Males represented 55.15 % ($n=327$) of analyzed organisms, while females represented 44.85 % ($n = 266$), leading to a male: female ratio of 1.2:1. Males showed a higher ratio in the months of june (71 %) and october (72 %), while females had maximum values slightly over 50 % in april (54 %), august (55 %), and december (52 %). The total male and female ratios were statistically different in january. The general ratio between sexes showed statistically significant differences ($X^2_{11} = 21.40$, $p = 0.02$) (Figure 3). In july and september only females were captured (1 and 2, respec-

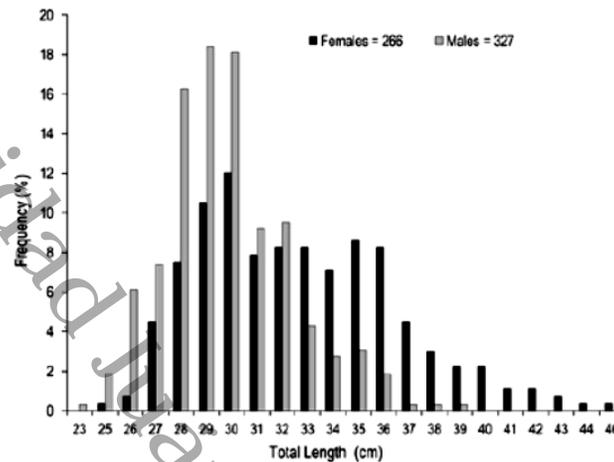


Figure 1. Total length frequency distribution of *A. grunniens* collected in the Usumacinta River, Tabasco, Mexico.

tively) due to the high river level. For this reason, the values of GSI, HSI, and K in males were impossible to determine for these months. The maximum GSI values in females occurred during June (3.78), August (3.95), September (4.29), and October (3.48). In the remaining months this value was below 2.5. In males, the maximum value appeared in October (1.02), and it was below 1.0 in the other months (Figure 4). The hepatosomatic index (HSI) values for females showed their maximum values in August (0.91) and October (1.00), while the minimum was recorded in July (0.56). In the case of males, the maximum value was recorded in December (0.82) and the minimum in April (0.46) (Figure 4). The estimated K values had little variability throughout the year for both sexes, showing a slight increase for females in August, September, and October. The K maximum values recorded for both sexes occurred in August (females 1.65 and males 1.41). The minimum values observed were 1.35 for females (July) and 1.24 for males (February and April) (Figure 5).

The average absolute fecundity (\pm SD) estimated for the species ($n = 50$) was 68 055.17 (\pm 49 120 .62) oocytes, within a range of 9 632 to 223 800. The obtained relative fecundity was 138.74 (\pm

74.30) oocytes/g of female weight, within a range of 33.43 to 323.87 oocytes/g of weight.

In terms of maturity stages, we found that the most frequently recorded stages in females were quiescent (II) and spawning (V). Females in maturing stage (III) showed the highest value in September, October, and November. Females in mature stage (IV) were found in February, April, June, October, and November. With the exception of September, there were females in spawning stage (V) throughout the reproductive cycle, with March, April, June, and August standing out for their higher frequency. Spent females (VI) were more frequently recorded in April, June, July, and October. Two females analyzed in July showed the higher frequency (Table 1, Figure 6). In regards to males, the quiescent (II) and maturing (III) stages were the most frequent during the annual cycle. The mature stage (IV) displayed the maximum values in February and October. The male specimens in spawning stage (V) were recorded throughout the annual cycle, but with a higher frequency in March and June. Spent males (VI) showed their maximum frequency in June and August, respectively (Table 1, Figure 6).

The average length at first maturity in females was 31.89 cm, the length at which they are

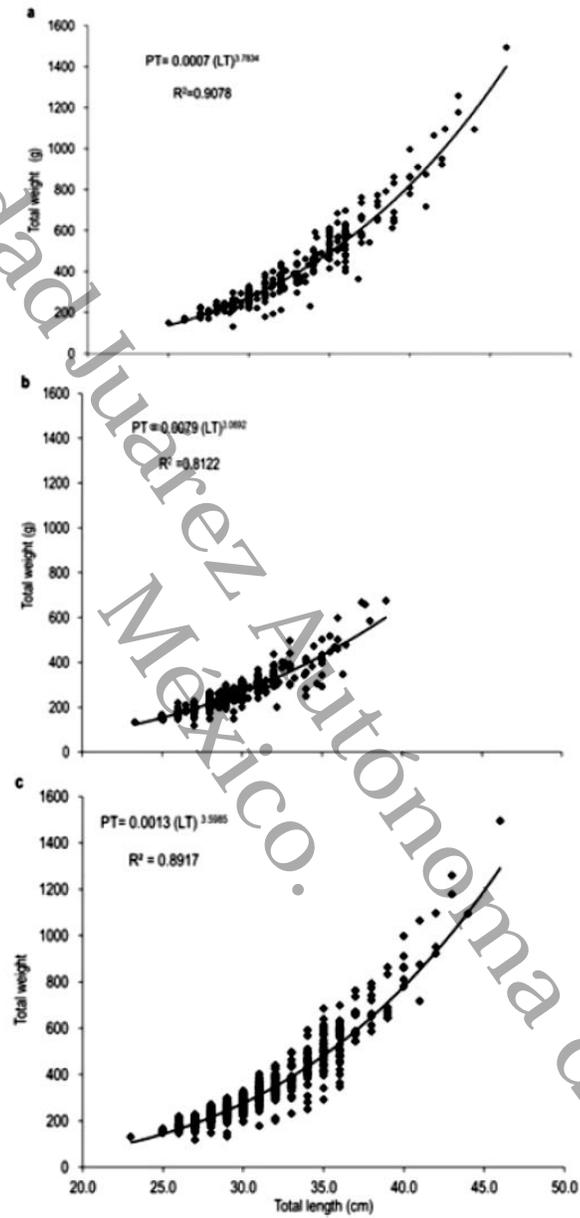


Figure 2. Length-weight relationship of *A. grunniens* from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico, (a) Females, (b) Males, and (c) both sexes (N=593).

fit for spawning (L_{100}) was 45.85 cm of TL. In

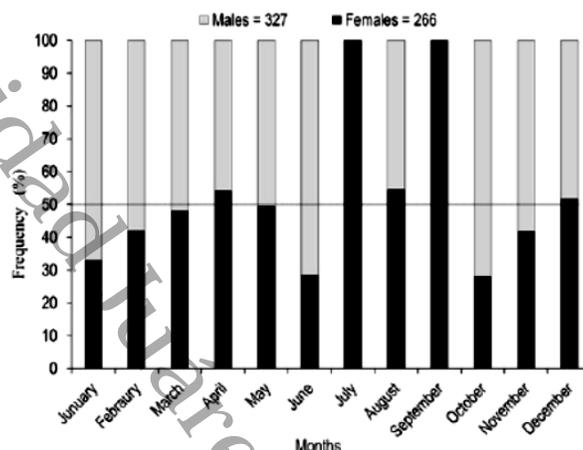


Figure 3. Monthly sex ratios of *A. grunniens* from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico.

Table 1. Macroscopic description of gonad maturity stages of *A. grunniens* from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico (based on Nikolsky, 1963).

Stage	Description
Immature (I)	Translucent ovaries, of reduced size, next to the dorsal wall under the swim bladder. They occupy approximately 1/2 of the coelomic cavity, with an extremely thin and dilated vascularized line. Translucent, narrow and threadlike testes, with a pink color. Their location is similar to that of ovaries.
Quiescent (II)	Vascularized and semitransparent ovaries, occupying 1/2 to 2/3 of the coelomic cavity. They are slightly narrower in the red to burgundy anterior part, with an apparently yellowish cylindrical posterior part. Oocytes are not distinguishable macroscopically. Testes in the shape of white bands with pinkish peripheries. They are wider in their posterior part versus the anterior.
Maturing (III)	Slightly bigger ovaries, occupying 2/3 of the coelomic cavity length. They are uniform in width, with visible oocytes that resemble whitish to yellowish granules. Testes notably wider and with a smooth consistency, white, with a light pink in their posterior part.
Mature (IV)	Ovaries with a big diameter, occupying 2/3 of the coelomic cavity. They are vascularized, with bigger oocytes, the contour of which is starting to be defined. Lobed, developed testes, wider in the anterior region. Their smooth structure is white and seminal liquid is expelled with a simple pressure.
Spawning (V)	Ovaries with a homogeneous development, mainly in regards to width, completely occupying the coelomic cavity and show slight vascularization. Oocytes are spherical, orange to yellowish, and visible at naked eye. Increased testicular size, both anteriorly and posteriorly, the latter being wider and lobed. With a milky consistency when exposed to a simple pressure, expelling abundant seminal liquid.
Spent (VI)	Flaccid ovaries, with distended membranes and hemorrhagic appearance in their anterior part. They occupy 1/3 of the coelomic cavity. Granule-like oocytes can be observed. Testes occupy the coelomic cavity like female ovaries do. Their anterior part is thinner and more flaccid than their posterior part. The posterior part is lobed, white, with a soft consistency.

males, the average length at first maturity was 28.78 cm and all males are fit for spawning from 41.90 cm of TL (Figure 7). Throughout the annual cycle studied, a mean water temperature of 26 (± 1.44) °C was recorded in the Usumacinta river, with a minimum of 24 °C in December and a maximum of 29 °C in May. The DO recorded an average of 8.25 (± 0.62) mg L⁻¹, with a minimum of 7

mg L⁻¹ during June and a maximum of 9 mg L⁻¹ during April, May, July, and August. pH averaged 7.83 (± 0.38), with a minimum of 7.00 in April and September and a maximum of 8.00 for the remaining months of the annual cycle. Rainfall averaged 8.70 (± 5.33) mm, with a minimum of 4 mm in April and a maximum of 19 mm in November. The river

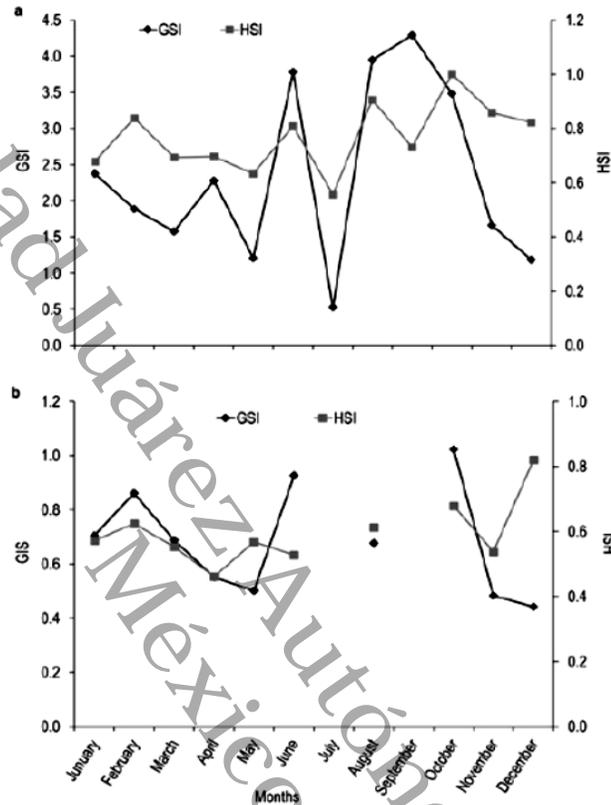


Figure 4. Gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) in (a) females and (b) males from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico. Empty spaces in the lines indicate lack of organisms during sampling (N=593).

level was 15.18 (± 2.78) masl, with a minimum of 11.70 in april and may and a maximum of 18.90 in september and november, respectively.

DISCUSSION

Despite the small mesh size used (2 cm) for seining, during the period of study of *A. grunniens*, a size distribution between 20.00 and 46.00 cm (TL) was recorded. These values are similar to the range recorded by Chávez *et al.* (1989) at the San Pedro river in Tabasco, Mexico, which was from 19.00

to 47.10 cm. Although there are no studies reporting freshwater drum juveniles or larvae in the area, we speculate that early stages of the life cycle may occur in the lower portion of the river, since floating eggs and larvae are transported downstream by currents. Furthermore, Rypel *et al.* (2006) reported that size distributions of freshwater drums captured in Alabama habitats using electrofishing and gill nets, were skewed toward juveniles in lentic reservoirs and adults in rivers; proposing that freshwater drum make movements of some scale across aquatic landscapes during their lives. Marcano *et al.*

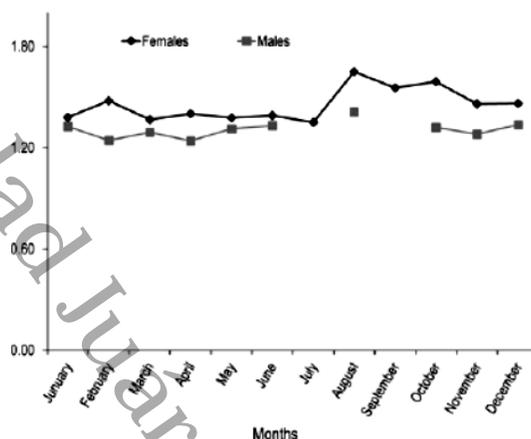


Figure 5. Condition factor (K) in females and males of *A. grunniens* from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico. Empty spaces in the lines indicate lack of organisms during sampling (N=593).

(2002) suggest that size structure depends on the environment they live in, mainly in terms of food availability, population density and ecological factors. Therefore, the recording of large sizes in our sampling grounds may be conditioned by a migratory behavior of the species, as is the case with other fish species. Reports of the early life history of this species indicate that movements between habitats may also be associated with changes in diet (Swedberg and Walburg 1970). This behavior stands out as an adaptation to exploit the seasonal productivity in different areas, at different times of the year, and among specific feeding, habitat and spawning areas (Saborido 2005). Our data suggest that freshwater drum use this portion of the Usumacinta river as spawning grounds, using other areas of the system as nursery grounds. Unfortunately, there have been no attempts at documenting this behavior.

In this study, *A. grunniens* females were significantly bigger than males, a condition similar to that reported by Rypel (2007) in the lakes and rivers of Alabama, US. However, it differs from the data recorded by Edsall (1967) in Lake Erie, where the specimens showed similar sizes for both sexes. The difference observed in the size of females may

be attributed to intrinsic (genetic) factors of the species, type of habitat, and time of year (Gómez and Guzmán 2005). Nevertheless, Saborido (2005) considers that the main factor in controlling growth, survival, and reproduction is the energy acquired by fish through feeding.

The observed length-weight relationship showed an allometric-type growth similar to that reported by Chávez et al. (1989), for organisms captured in the San Pedro river, Balancán, Tabasco, Mexico. In relation to the allometry observed in *A. grunniens*, Jacquemin and Pylon (2013) pointed out that body size contributes more importantly to morphological variation than sex variations or river location. At the same time, they established that the interaction between body size, maturity, and river location indicates that an individual's morphology is not necessarily a direct relation between the fish and their environment, but rather it is multifaceted and results from the combination of allometry, sex and river location (local habitat). They also mention that the most noticeable change in size occurs during ontogeny, the time when embryos, larvae and/or juveniles grow, and that many allometry examples are ontogenetic in type. This allomet-

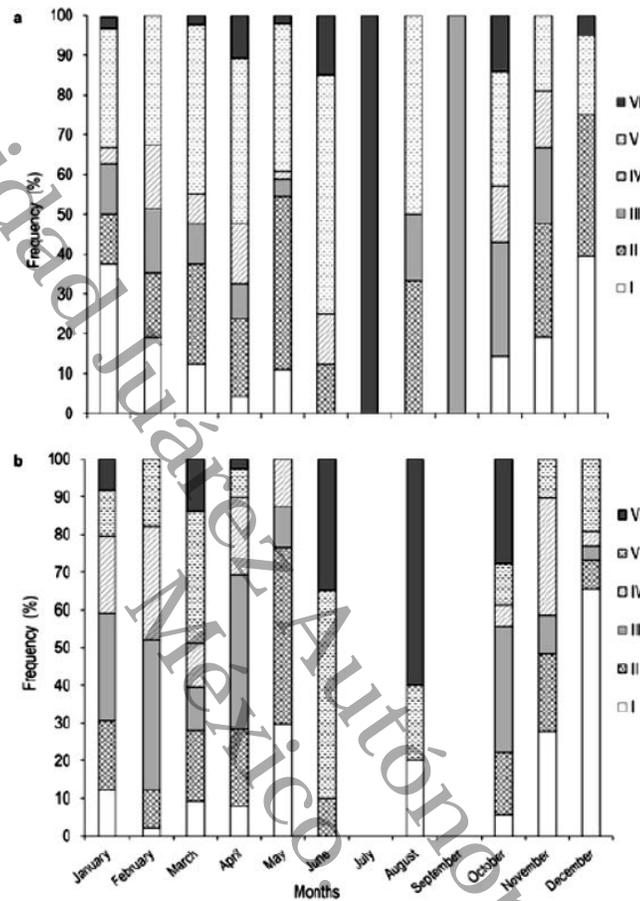


Figure 6. Maturity stage distribution frequency in (a) females and (b) males of *A. grunniens* from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico. Empty spaces indicate lack of organisms during sampling.

ric condition is similar to that of other Sciaenidae species, such as the *Micropogonias furnieri* in the Gulf of Paria, State of Sucre, Venezuela, and the Ciénega Grande de Santa Marta in the Caribbean region of Colombia (Gómez and Guzmán 2005, Cancio et al. 2006). The data of this study differed from those recorded for other marine origin species of the same family with isometric growth, such as *Stellifer lanceolatus*, from the southern region of the Gulf of Mexico, and *Pogonias cromis*, in northeast Florida

(Ramos-Miranda et al. 2009).

The sex ratio obtained in this study is close to an equilibrium between males and females in the population (55 % males: 45 % females), so apparently this species conforms to fisher's theory on equal sex ratios. In other studies with *A. grunniens* and despite using different sampling methods, several authors have reported proportions close to the one found in this study, indicating slight biases toward one or the other gender. Jacquemin

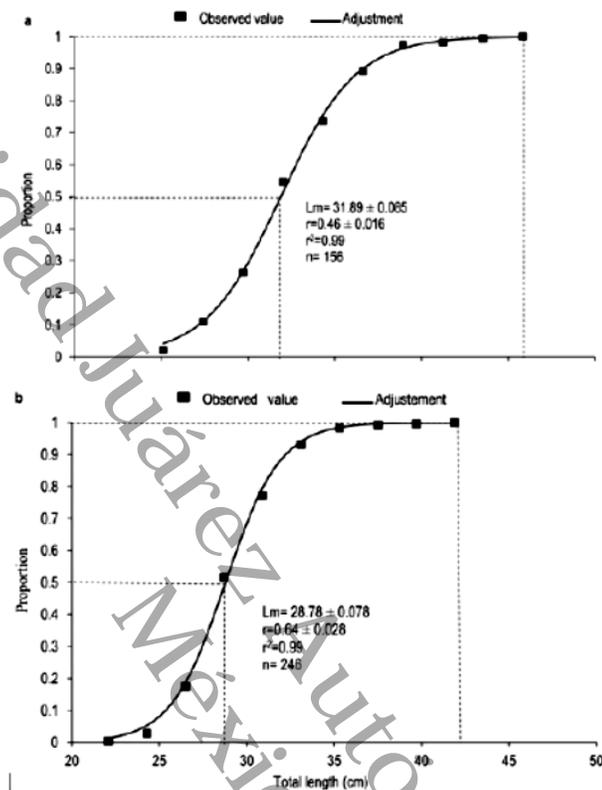


Figure 7. Mean maturity length (L50) and maximum maturing length (L100) of females (a) and males (b) (stage II to VI) of *A. grunniens* from the Usumacinta River, Tabasco, Mexico.

and Pyron (2013) reported a ratio of 1.01:1.00 in specimens captured in the Wabash river, being similar to the ratio recorded by Edsall (1967) for the same species in Lake Erie. In turn, this ratio also resembles the one reported by Grua *et al.* (2009) for marine origin species of the same group (*Sciaena umbra* and *Cynoscion albus*) in the Gulf of Montijo, Panama, and in the Balearic Islands, Spain, respectively, while Potts *et al.* (2010) reported 1.00:1.40 for *Argyrosomus coronus* in the mouth of the Kunene Estuary and Baia Farte, Angola. On the other hand, Chávez *et al.* (1989) in the San Pedro river and Rypel (2007) in different habitats in Alabama found sex ratios favoring females (0.65:1.00 and 0.71:1.00, respectively).

The GSI is used in gonadal development studies as an indicator that helps describe the reproductive cycle. In this work, four reproductive peaks were noted in June, August, September, and October for females, while there were only three peaks for males in February, June, and October. The GSI consistency for both sexes in some months establishes a synchronization of reproduction. These data indicate that *A. grunniens* is a sequential spawning species that reproduces most of the year. Similar results were reported for southern US, in the Ohio river, where the spawning of this species spans over five months, from April to September. However, the spawning season in the western region of Lake Erie was reported for June, July, and November,

and for may and June in Texas, with temperatures ranging between 18 to 26 °C (Wallus and Simon 2006, Chad et al. 2007). In the case of Mexico, gonads in an advanced stage of maturity were observed most of the year in the San Pedro river, Tabasco (Chávez et al. 1989). Moreover, in the current study *A. grunniens* showed a reproductive behavior that is similar to that of other Sciaenidae species, such as *Larimichthys polyactis* (yellow sea bass), *Sciaena umbra* (banded sea bream), and *Plagioscion squamosissimus* (sea bass), in Korea, the Balearic Coast, Spain, and the Ucayali Coast, Peru, respectively (Grau et al. 2009, Lim et al. 2010).

The HSI in females is considered as an indicator directly linked to the reproductive cycle and decreases right before spawning (Rodríguez-Gutiérrez 1992). This relationship is based on the fact that the liver produces vitellogenin during vitellogenesis, a protein that is taken by oocytes in development as reservoirs of nutrients and energy for embryos and larvae. Taking into account this physiological activity, the female HSI in this study shows a decrease in March, April, May, and July, while in males it is reduced in March, April, June, and November. The trend is not clear since this index decreases like the GSI and later diverges in the other sampling months. Nevertheless, to ensure that reproduction is established in this way, it is necessary to have a greater number of specimens during July and September. Moreover, Grau et al. (2009) pointed out that there is a similar behavior in *Sciaena umbra*, where both the HSI and GSI decrease from May to August, and then diverge from September to October.

In this study, the K factor indicates that, during the reproductive cycle, *A. grunniens* showed a good condition, was feeding and using energy constantly for the maturation of the ova mainly from February to June. However, the values of K increased from August to December, the period with the highest rainfall in the study area. Hence, this increase may be related to the accumulation of energy in the form of fat, an adaptive physiological strategy used for generating an energy reservoir as observed for the *Menticirrhus littoralis* species (Sirangelo and

Ferreira 2004). Rypel et al. (2006), noted that the lipids and physical condition of *A. grunniens* are significantly related with the type of habitat and vary with the age of the fish. However, this increase in the value of K may be conditioned by food availability during the period of increased river level which, in turn, reduces the possibility of feeding for species like this that have benthonic habits and mainly consume clams, bottom crustaceans and worms, and occasionally fish (Jacquemin and Pylon 2013). Nevertheless, the observed variation of K may be interpreted as the period of sexual conditioning of the population prior to reproduction and spawning. This factor is associated with the biological and ecological phenomena of recruitment, growth, maturity and spawning like in the case of *Cynoscion arenarius*, in the southern Gulf of Mexico, and *Euthynnus lineatus*, in the coastline of Oaxaca, Mexico (Ramos-Cruz 2009).

In regards to fecundity, Rypel (2007) mentions that *A. grunniens* is a highly fecund species (> 1 million eggs). However, in this study, female fecundity (n=50) was significantly lower than this value, as well as for other reported fecundity data for the species, like the findings of Chávez et al. (1989) in the San Pedro river, Balancán, Mexico, and Daiber (1953), in Lake Erie, as well as the case reported by Chad et al. (2007) for a 3.5 kg female in Texas with 600 000.00 eggs. For the Lewis and Clark Lake, US, 6 to 9-year-old females (n=17), with a TL between 30.70 and 38.60 cm and a weight of 295.00 to 670.00 g, were reported to have a range of 34 000.00 to 65 500.00 eggs. However, the average fecundity of 68 055.00 eggs recorded in the current study is within the ranges mentioned above. This variation may be due to differences in maximum sizes of females present in the Usumacinta system. In this sense, Wallus and Simon (2006) established that the reproductive potential variation of the species may be modified by feeding, reproductive status, age, length and weight, as well as temperature.

The highest proportion of sexual maturity (stage V) found in this study for the period from January to June and from October to December, with

an average temperature of 27°C, is in line with the study carried out in the San Pedro river, Balancán, Tabasco, Mexico, as well as for the data recorded from the beginning of May to July in Texoma Lake, from May to July in the Mississippi river, and in June for Lake Winnebago and Lake Erie, and Canada, respectively. It differs from those of mature specimens captured in the Tennessee river, in September (Chávez et al. 1989, Wallus and Simon 2006).

The mean lengths at first maturity (L_{50}) of *A. grunniens* in this study were higher than those determined for females (28.6 cm) and males (25.1 cm) of the San Pedro river, Balancán, Tabasco, Mexico, as well as those of another species of the family in the Balearic Islands, Spain (Chávez et al. 1989, Gil et al. 2013). However, they are similar to the values obtained in marine Sciaenids, such as the catfish (*Plagioscion squamosissimus*) in Ucayali, Peru, *Micropogonias furnieri* in the Gulf of Paria, Sucre, Venezuela, *Macrodon ancylodon* in the Estuary of Caete, northern Brazil; and from those reported for *Plagioscion magdalenae* in the Bay of Marajo, estuary of the Amazon river (Gómez and Guzmán 2005, Barbosa et al. 2010). This shows that L_{50} may be the consequence of genetic variability and size among the species of Sciaenidae. The data

generated by L_{50} are relevant since they are used as a management strategy for fishing management plans, for the species to be captured at sizes greater than those of first maturity (Perera-García et al. 2008).

CONCLUSIONS

Aplodinotus grunniens can reproduce practically during the entire year. The species presents a marked sexual dimorphism, with females being larger than males, and differences in the mean maturity length and growth indicators. This research provides baselines to propose a strategy for fisheries management in the region, with the intention of incorporating strategies for the conservation of the species.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper resulted from joint efforts between the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, the Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) and Fondos Mixtos CONACYT-Government of Tabasco.

LITERATURE CITED

- Bagenal TB (1978) Method for assessment of fish production in fresh waters. Blackwell Scientific Publications, London. 365p.
- Barbosa SN, Da Rocha RM, Fredou FL (2010) Reproductive biology of *Plagioscion magdalenae* (Teleostei: Sciaenidae) (Steindachner, 1878) in the bay of Marajo, Amazon Estuary, Brazil. *Neotropical Ichthyology* 8: 333-340.
- Cancio ME, Narváez BJC, Blanco RJ (2006) Dinámica poblacional del coroncoro *Micropogonias furnieri* (pisces: sciaenidae) en la ciénaga grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 35: 37-58.
- Chad T, Bonner TH, Bobby G (2007) Freshwater fish of Texas: a field guide: freshwater drum *Aplodinotus grunniens*. Texas freshwater fishes. Texas State University-San Marcos. 5p.
- Chávez LMO, Mattheeuws AE, Pérez MHV (1989) Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. 1ra. Edición INIREB, Xalapa, Veracruz, México. 222p
- CONAPESCA (2016) Base de datos producción anuario 2014. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca. Date consulted: August 12, 2016.

- Daiber FC (1953) Notes on the spawning population of the freshwater drum (*Aplodinotus grunniens* Rafinesque) in Western Lake Erie. *American Midland Naturalist* 50:159-171.
- Edsall TA (1967) Biology of the freshwater drum in Western Lake Erie. *The Ohio Journal of Science* 67: 321-340.
- Espinosa-Pérez H, Daza-Zepeda A (2005) Peces. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (ed). *Biodiversidad del estado de Tabasco*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Biodiversidad, México. DF. pp: 225-240.
- Ferreira CH, Abilhoa V, Oliveira FM, Maia CMF, Hostim-Silva M (2011) Estrutura populacional e biología reproductiva de *Menticirrhus americanus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei, Sciaenidae) na baía de Ubatuba-Enseada, Santa Catarina, Brasil. *Biotemas* 24: 47-59.
- Froese R, Pauly D (2011) FishBase. World Wide Web electronic publication. URL: www.fishbase.org. Date consulted: August 7, 2015.
- Gil MM, Grau AG, Basilone RF, Palmer M (2013) Reproductive strategy and fecundity of meagre *Argyrosomus regius* Asso, 1801 (Pisces: Sciaenidae): implications for restocking programs. *Scientia Marina* 77: 105-118.
- Gómez G, Guzmán R (2005) Aspectos de la dinámica reproductiva y poblacional del rocador, *Microgonias furnieri*, en el golfo de Paria, Estado de Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 23: 69-90.
- Grau A, Linde M, Grau AM (2009) Reproductive biology of the vulnerable species *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (Pisces: Sciaenidae). *Scientia Marina* 73: 67-81.
- Ibáñez AAL, Fernández BLA (2006) Manual técnico de crecimiento relativo y análisis morfométrico. Universidad Autónoma Metropolitana, México. DF. 145p
- Jacquemin SJ, Pyron M (2013) Effects of allometry, sex, and river location on morphological variation of freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in the Wabash river, USA. *Copeia* 4: 740-749.
- King M (2007) *Fisheries biology, assessment and management*. Second edition. Blackwell. Oxford. 349p.
- Lim HK, Le MH, An CM, Kim SY, Park MS, Chang YJ (2010) Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in southern waters off Korea. *Fish Sciences* 76: 971-980.
- Luksenburg JA, Pedersen T (2002) Sexual and geographical variation in life history parameters of the short-horn sculpin. *Journal Fish Biology* 61: 1453-1464.
- Marcano L, Alió J, Altuve D (2002) Biometría y talla de primera madurez de la tonquicha, *Cynoscion jamaicensis*, de la costa norte de la península de Paria, estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 20: 83-109.
- Militelli MI, Macchi GJ, Rodrigues KA (2013) Comparative reproductive biology of Sciaenidae family species in the río de la Plata and Buenos Aires Coastal Zone, Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 93: 413-423.
- Nelson JS (1994) *Fishes of the World*. 3th Edition Wiley and Sons. New York, NY. 600p.
- Nikolsky GV (1963) *The ecology of fishes*. Academic, London and New York, USA. 352p.
- Perera-García MA, Mendoza-Carranza M, Páramo-Delgadillo S (2008) Dinámica reproductiva y poblacional del robalo, *Centropomus undecimalis* (Perciforme: Centropomidae), en Barra San Pedro, Centla, México. *Universidad y Ciencia* 24: 49-60.

- Pombo M, Denadai MR, Santos FB, Bessa ECM, Turra A (2013) Population biology of the barbel drum *Ctenosciaena gracilicirrus* (Metzelaar, 1919) (Perciformes: Sciaenidae) in Caraguatatuba Bay, South-eastern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 61:169-175.
- Potts WM, Sauer WHH, Henriques R, Sequesseque S, Santos CV, Shaw PW (2010) The biology, life history and management needs of a large sciaenid fish, *Argyrosomus coronus*, in Angola. *African Journal of Marine Science* 32: 247-258.
- Ramos-Cruz S (2009) Relación longitud-peso y factor de condición en el barrilete negro *Euthynnus lineatus* (Kishinouye, 1920) (Perciformes: Scombridae), capturado en el litoral de Oaxaca, México. *Revista Investigación Marina* 30: 45-53.
- Ramos-Miranda J, Bejarano-Hau K, Flores-Hernández D, Ayala-Pérez LA (2009) Growth, mortality, maturity, and recruitment of the star drum (*Stellifer lanceolatus*) in the southern Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 35: 245-257.
- Ricker WE (1958) Handbook of computations for biological statistics of fish population. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 119: 1-302.
- Ricker WE (1975) Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 191: 1-382.
- Rodríguez-Gutiérrez M (1992) Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT. México, DF. 79p.
- Rypel AL (2007) Sexual dimorphism in growth of freshwater drum. *Southeastern Naturalist* 6: 333-342.
- Rypel AL, Bayne DR, Mitchell JB (2006) Freshwater drum growth from lentic and lotic habitats in Alabama. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 987-997.
- Saborido RF (2005) Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en poblaciones de peces marinos. Instituto de Investigaciones Marinas, Universidad de Vigo, España. 155p.
- Sirangelo BA, Ferreira FN (2004) Reproductive biology of *Mentecirrus littoralis* in southern Brazil (Actinopterygii: Perciformes: Sciaenidae) *Neotropical Ichthyology* 2:31-36.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1996) *Biometry: The principles and practice of statistics in Biological Research*. Freeman, New York, USA. 887p.
- Sparre P, Venema SC (1998) *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales, Parte 1 manual*. FAO, Santiago de Chile, Chile. 420p.
- Swedberg DV, Walburg CH (1970) Spawning and early life history of the freshwater drum in Lewis and Clark Lake, Missouri River. *Transactions of the American Fisheries Society* 99: 560-570.
- Underwood AJ (1997) *Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University, Cambridge, United Kingdom 506p.
- Wallus R, Simon TP (2006) *Reproductive Biology and Early Life History of Fishes in the Ohio River Drainage: Aphredoderidae through Cottidae, Moronidae, and Sciaenidae, Vol. 5*. 336p.
- Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*. 3th Edition. Prentice-Hall, New Jersey, USA. 929p.

CAPITULO III

CICLO ANNUAL REPRODUCTIVO DE HEMBRAS DE *Aplodinotus grunniens* (RAFINESQUE; 1819), EN LA PORCIÓN MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, MÉXICO

ANNUAL REPRODUCTIVE CYCLE OF *Aplodinotus grunniens* (Rafinesque; 1819), FEMALES IN THE MIDDLE PORTION OF THE USUMACITA RIVER, MEXICO

**Sometido a la revista *Neotropical Ichthyology*
(10/02/2017)**

Annual reproductive cycle of *Aplodinotus grunniens* (Rafinesque; 1819), females in the middle portion of the Usumacinta river, México

Raúl E. Hernández-Gómez¹, Arlette A. Hernández-Franyutti², Wilfrido M. Contreras-Sánchez^{2*} and Martha A. Perera-García³

¹División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Col. Solidaridad, Tenosique-Estapilla Km. 1, CP 86900. Tabasco, México. ORCID ID orcid.org/0000-0002-4865-6485. Email: h_raul_e@hotmail.com.

²División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya, CP 86039, Tabasco. ORCID ID orcid.org/0000-0002-5242-2841. Email: arhefr@hotmail.com.

*ORCID ID orcid.org/0000-0001-8072-2182. Email: contrerw@hotmail.com

³División Académica de Ciencias Agropecuarias, División Académica de Ciencias Agropecuarias, Km. 25.0 Villahermosa-Teapa, Tabasco, México. Km. 25.0. Villahermosa-Teapa, CP 86900, Tabasco, México. ORCID ID orcid.org/0000-0003-2142-186X. Email: pereragarcia@hotmail.com.

Running headline: Reproductive cycle of *A. grunniens* females

*Corresponding author: División Académica de Ciencias Biológicas. Km 0.5, Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Centro, Tabasco. CP 86039. Tel. 52 (993) 358 1500 ext. 6425. Email address: contrerw@hotmail.com

ABSTRACT

Aplodinotus grunniens is the only freshwater fish of the Sciaenidae family present in the American continent. In the Mexican Southeast, it is common to find it in the middle part of the Usumacinta River, where it is known by the name of topuche. This study was carried out with the intention of supplying detailed information on the reproductive cycle of this species, providing histological details. The different stages of gonadal maturity are described, including the observed stages of oogenesis and the measurements of the oocytes from 88 adult females. Results indicate that *Aplodinotus grunniens* is an iteroparous species that reproduces all year long, presenting a peak of reproductive activity during the flooding season. The histological analysis of the ovaries and the distribution of frequencies of the diameter of the oocytes show the different maturity stages throughout the year, with a great dispersion of data and the presence of different modal groups. This reveals that the species has an asynchronic ovarian development, confirming that it is a partial spawner. The generated information is relevant for the implementation of a management plan for the species, emphasizing on its long period of reproductive activity.

Running headline: Reproductive cycle of *a. grunniens* females

Keywords: Reproductive Biology, histological analysis, oogenesis, spawning season, topuche.

RESUMEN

Aplodinotus grunniens es el único pez de agua dulce de la familia Sciaenidae presente en el continente americano. En el Sureste Mexicano, es común encontrarla en la parte media del río Usumacinta, donde es conocida con el nombre de topuche. El presente estudio se llevó a cabo con la intención de aportar información detallada del ciclo reproductivo de la especie, proporcionando información histológica de las diferentes etapas. Se describen los diferentes estadios de madurez gonadal, incluyendo los diferentes estadios de la ovogénesis observados y la medición de ovocitos de 88 hembras adultas. Los resultados indican que *Aplodinotus grunniens* es una especie iterópara que se reproduce a lo largo del año, presentando un pico de actividad reproductiva en los meses de lluvia e inundación. El análisis histológico de los ovarios y la distribución de frecuencias del diámetro de ovocitos muestran los diferentes estadios de madurez a lo largo del año, con una gran dispersión de los datos y la diferencia de diferentes grupos modales. Esto revela que la especie tiene un desarrollo ovárico asincrónico, confirmando que es un desovador parcial. La información generada es relevante para implementar un plan de manejo de la especie, poniendo énfasis en el periodo de mayor actividad reproductiva.

Título corto: Ciclo reproductivo de hembras de *A. grunniens*.

Palabras clave: Biología reproductiva, análisis histológico, ovogénesis, temporada reproductiva, topuche.

Introduction

Within the Sciaenidae family, *Aplodinotus grunniens* is the only freshwater species spread out geographically in the American continent (Nelson; 1994), it has been reported in Canada, the United States, Mexico and Guatemala (Chao, 2002; Sluss and Harrel, 2006). This species has been studied in North America, where studies focused on its diet, reproduction, sexual dimorphism, growth, age and morphological variation in river ecosystems (Deiber, 1952; Rypel, *et al.*, 2006; Rypel, 2007; Davis-Foust *et al.*, 2009; Jacquemin and Pyron, 2013; Jacquemin *et al.*, 2014). However, this species has been scarcely investigated in the tropical zone of its range, standing out the study conducted by Chávez *et al.* (1989) on the biology of the species in the San Pedro River in Balancán, Tabasco, with the intention of determining the species potential for fish farming. Recently, Hernández-Gómez *et al.*, (2013) described the embryonic growth of *A. grunniens*, using captive organisms. In North America, it has been reported that this species spawns between the months of May and July in several lakes within the USA and Canada; while for the Tennessee River it has been mentioned that it spawns during the month of September (Wallus & Simon, 2006). On the histological level, there is one study on the oogenesis stages in females of the Red Lakes in Minnesota, USA (Palmer *et al.*, 1995), which are described by the authors as the northernmost limit of the range of the species. In the Mexican Southeast, this species has an economical importance due to it withstanding artisan fisheries, and being appreciated for the quality and taste of its meat. Due to a continuous lack of knowledge about the biology of *A. grunniens* within the region, this study was carried out with the intention of describing with detail the stages of gonadal development and histologically characterizing the changes that occur in the female gonads throughout the annual reproductive cycle, using organisms from a localized population in the middle part of the Usumacinta River in Tabasco, Mexico.

Materials and methods

Study area and sampling. The study was carried out between the months of January and December 2013. The catch area was delimited from the Usumacinta River Canyon “Boca Del Cerro” (17° 25’33” N y 91° 29’29” W) all the way up to the locality of El Copo (17° 23’33”N y -91.28’23”W). The specimens were captured during the dry months with a 80 m long dragging net, with a height of 3 m and 2 cm of net opening; while during the flood months (July – November), the captures were conducted using hooks baited with freshwater

shrimp (*Procambarus llamas*). A total of 88 females were captured, with an average weight and length of 457.4 g and 33.53 cm, respectively. The captured fish were sacrificed by a sharp blow to the head.

Specimen processing. Each month, the samples of up to 10 females were preserved, though during the months of greater river depth, only one to five specimens were obtained. For each female, the total length (TL) data was measured with a conventional ichthyometer (± 0.1 cm); total weight (TW) and gonadal weight (GW) were obtained with a ScoutTMPro™ digital scale (± 0.01 g). For each gonad; length, maximum and minimum width (mm) were measured to the nearest 0.1 mm using a metric vernier caliper. Sex was identified through macroscopic observation. For each fish, the right gonad was sampled by making three 3.0-cm-thick cuts (anterior, middle and posterior); placing them into a small bag made of sterilized gauze, labeled with the collection data; and fixing them in Bouin solution. Samples were maintained during 24-hour periods for small gonads and 48-hour periods for large gonads. Afterwards, the samples were washed in tap water to eliminate excessive fixative. Samples were dehydrated in ethylic-alcohol and xylene solutions during one hour (small gonads) or during 1.5 – 2 hours (large gonads), and finally being embedded in paraffin. A series of 7 μ m-thick cuts were done using a Reichert-Jung, sliding microtome. The selected sections were dyed with hematoxylin-eosin (Humason, 1979; Hinton, 1990; and Aguilar, 1996).

Microscopic analysis. The histological analysis of the series of plates from the ovaries of *A. grunniens* was carried out with the help of a Zeiss™ optic microscope (Axiostar Plus model) coupled with a Zeiss camera (AxioCam MRC 5 model). The ovarian development stages were classified monthly based on the morphological traits of the ovaries and the oogenesis stages considering the listing proposed by Grier *et al.*, (2009) and Grier (2012). With the purpose of determining the synchronization of gonadal growth, a plate from the middle portion of the gonad was selected from each female, proceeding then to measure the diameter of 30 oocytes. This measurement was done using the same Zeiss™ optic microscope linked to the AC AxioVision r4.5 program, designed to carry out morphometric measurements with an accuracy of $\pm 0.1 \mu$.

Environmental conditions. Data for rainfall and temperature were obtained from CONAGUA weather station number 30019, close to the study zone, and located at the village of Boca Del Cerro.

Data analysis. To determine the best indicators of the annual reproductive cycle of *A. grunniens*, some of the traits of the fish were considered; liver weight and macroscopic and microscopic gonad characteristics, and the following indexes were calculated: gonadosomatic index (GSI), determined with the equation $GSI = Wg/Wt * 100$, where Wg = weight of the gonads in grams, and Wt = total weight of the specimen in grams (Rossendillum *et al.*, 1987). The hepatosomatic index (HSI) was calculated with the equation $HSI = Wh / Wt \times 100$, where Wh = weight of the liver, and Wt = total weight of the specimen in grams (Rodríguez-Gutiérrez, 1992). The physiological stage or condition factor (K) of each fish was obtained with the expression $K = W/Lb \times 100$, proposed by Ricker (1958) and Medina (1979), where W = total weight of the specimen in grams and L = total length of the specimen in millimeters. The volume of the gonads was calculated using the equation for the volume of an ellipsoid: $Vg = 4/3\pi abc$, where a = width of the gonad in millimeters, b = height of the gonad in millimeters, and c = length of the gonad in millimeters. To determine the relation between the volume of the gonad and the GSI, as well as with the weight of the fish, regression analyses were applied. All the statistical analyses were carried out with a confidence level of 95 %, using the Statgraphics Centurion™ v16 package.

Results

Macroscopic and microscopic ovarian traits. *A. grunniens* presents a pair of ovaries suspended by the mesovarium from the dorsal body wall (Fig. 1). The ovarian structure is saccular, with a variable texture and appearance, from dough-like consistency in the immature ovaries, to granular, densely packed when fully developed. After spawning, ovaries are flaccid and they present a few oocytes that were not expelled during the reproductive event. The ovaries communicate with the exterior through a gonoduct that opens at the common genital pore. Ovaries are cystovarian, since they present a cavity or ovocele. The ovarian wall is made up of the peritoneal epithelium, smooth muscle, conjunctive tunica and the ovarian stroma. From the conjunctive tunica, small trabeculae that contain blood vessels set off and join the ovarian stroma. The germinal epithelium that limits the ovarian cavity is made up of two types of cells: germinal cells and somatic epithelial cells or prefollicular cells; this type of epithelium makes up creases that are called lamellae, which project into the ovarian lumen. The lamellae consist of germinal cells in different stages of development (oogonium nests, oocytes in early stages of development, and developing ovarian follicles).

The ovarian stroma consists of lax conjunctive tissue with collagen fibers, fibroblasts and blood vessels (Fig. 1).

Development stages of A. grunniens ovaries during an annual cycle. Throughout the studied annual cycle, sampled females presented all four stages of gonad development, described by Grier (2012): Pre-vitellogenesis (PV), Vitellogenesis (VT), Maturity (MD), and Post-Spawning (PS). The observed stages of oogenesis were: oogonia (OG), primary growth (PG), secondary growth (SG), and mature oocyte stage (MO). The characteristics of each stage are described below:

Stage I: Pre-vitellogenesis (PV). This stage occurred more frequently during the months of April and September (Fig. 2), it was observed in females whose size was between 29.03 and 36.56 cm (average = 31.82 ± 2.44 TL cm), and their total weight range was between 222.61 and 583.80 g (338.49 ± 109.56 g). In this stage, ovaries have an elongated shape, are located between the dorsal wall and the swim bladder, and they occupy approximately 1/3 – 1/2 of the coelomic cavity. Ovaries are hardly vascularized with discreet blood capillaries. Their color can range from cream-colored to reddish towards the cephalic region, and in the caudal region it turns lighter; macroscopically, oocytes are indistinguishable (Fig. 3a). Ovarian size during this stage varied from 34.96 to 70.20 mm (56.17 ± 6.69 mm), with total weight between 0.30 - 4.9 g (2.31 ± 1.14 g), an average volume of $1,333.62 \pm 1,837.06$ mm³, and an average GSI of 1.02 ± 1.28 . Oocytes varied in shape and size. Throughout this stage, the primary-growth oocyte with multiple nucleoli (PGmn) was the most frequent (42.7 %), presenting a diameter of 100 µm with a range of 50 to 150 µm. The stages of oogenesis corresponding to primary growth (PG) were observed: one nucleolus (PGon), multiple nucleoli (PGmn), peripheral nucleoli (PGpn), lipid vesicles (PGlv), and cortical alveoli (PGca). The oocytes presented a densely basophile cytoplasm during the earlier stages, making them more acidophilic as development progressed (Fig. 3; b-g).

Stage II: Vitellogenesis (VT). This stage presented its highest frequency during the months of October and November (Fig. 2), and it belonged to females between 29.13 and 40.45 TL cm (35.51 ± 3.07 cm), with a total weight between 232.71 and 997.82 g (572.20 ± 187.39 g). Ovaries are bigger than in the previous stage, they are homogenous in shape, with a slight dilatation in the cephalic region, occupying close to 2/3 of the coelomic cavity. Vascular circulation is located ventrally, going across each ovary lengthwise. Oocytes are visible as

milky to yellowish granules (Fig. 4a). Ovarian size during this stage varied from 47.55 to 100.66 mm (76.68 ± 14.21 mm), weighing between 5.60 and 32.90 g (16.19 ± 7.45 g), an average volume of $4,516.42 \pm 2,751.84$ mm³, and an average GSI of 2.73 ± 1.60 . In this stage, the 300 µm early secondary-growth oocyte (SGe) was the most frequent (27.7 %), with a variation of 200 – 500 µm. The following stages of oogenesis were determined: early secondary growth (SGe), advanced secondary growth (SGI), and final secondary growth (SGf). These stages are characterized by the presence and growth of yolk platelets that are deposited in the ooplasm, producing a meaningful increase in the size of the oocytes (Fig. 4; b-g).

Stage III: Maturity (MD). Throughout the months of March, June and August, this stage occurred more frequently (Fig. 2), corresponding to females between 28.15 and 39.34 cm of TL (33.09 ± 3.56 cm), with a total weight ranging from 231.10 to 698.56 g (437.44 ± 163.44 g). Ovaries are homogenous in their growth, filling the coelomic cavity, they show lesser vascularization when compared to the previous stage (Fig. 5a). Oocytes have a spherical shape and a coloring ranging from yellow to orange. The gonad size in this stage varied between 45.61 and 111.29 mm (80.73 ± 15.30 mm), weighing between 8.42 and 41.30 g (18.19 ± 10.02 g), with an average gonad volume of $5,788.17 \pm 4,510.08$ mm³, and an average GSI of 3.77 ± 1.48 . In this stage, migrating oocytes with a germinal vesicle and a maximum diameter of 620 µm were the most frequent (45 %). This stage is also known for presenting mature oocytes (MO) with lipid droplets fusing together and the germinal vesicle moving towards one of the edges of the cell (MOegv), increasing its diameter. Furthermore, some hydrated oocytes were observed, in which the germinal vesicle has migrated towards the animal pole (MOgvm), along with almost fully-hydrated mature oocytes (MOgvb) (Fig. 5; b-e).

Stage IV: Post-Spawning (PS). Ovaries in this stage presented their highest frequency during the months of May and July (Fig. 2), belonging to females between 27.03 and 41.23 cm of TL (33.40 ± 4.55 cm), with a total weight between 173.41 and 717.52 g (399.64 ± 177.67 g). Generally, ovaries are shown flaccid, with a hemorrhagic appearance towards the caudal region, and occupying 1/3 of the coelomic cavity (Fig. 6a). Ovarian size during this stage varied between 40.12 and 77.31 mm (63.19 ± 11.03 mm), with a weight between 1.01 and 10.42 g (3.52 ± 2.60 g), and an average volume of 814.53 ± 490.91 mm³. The GSI averaged

0.70 ± 0.63. On a histological level, this stage is characterized by presenting a thickened ovarian wall, scattered primary-growth stage oocytes with one nucleolus (PGon) or peripheral nucleoli (PGpn), as well as early (SGe) and advanced (SGI) secondary-growth stage oocytes, along with oocytes in the process of atresia (AF) (Fig. 6b).

Monthly variation in oocyte diameter, GSI, HSI, Vg and K in A. grunniens females. The annual female reproductive cycle presents indicators that suggest that *A. grunniens* is a species that spawns practically all year long. Distribution of the oocyte diameter frequencies in different maturity stages throughout the year show a large dispersal with different modal groups (Fig. 7) indicating that *A. grunniens* is a partial spawner. Individually, this trend is more evident when clearly observing the dispersal of mature females throughout the year, presenting mature oocytes with diameters between 579 and 672 µm (Fig. 8).

Gonadosomatic index (GSI) of the captured fish shows a pattern of higher reproductive activity that begins in the month of June, with a maximum value in October (Fig. 9), though the month of July presents a drop, due to the capture of only one female being in the post-spawning stage. The HSI presented a similar fluctuation pattern, with peaks in June, August and October. Drops in this indicator during the months of July and September might be due to the presence of post-spawning and pre-vitellogenic females. The average monthly volume of the gonads also presented variations throughout the year that confirm this reproductive pattern, with a maximum value registered in October (Fig. 9). Their fluctuations coincide during the months of July and September, generated by the presence of post-spawning and pre-vitellogenic females. The condition factor was relatively continuous during the annual reproductive cycle, where maximum values were registered during the months of August, November and December.

The search for associations between reproductive indicators using regression analysis between the gonad volume and the GSI indicates that a moderate statistical association ($p < 0.05$) exists between these variables ($r = 0.66$), with a 44% of data variability explained by the model (r^2). The generated model for this association is $Volg = 772.42 + 1077.69 * IGS$. Meanwhile, the regression analysis for the weight of the fish and gonad volume indicated that a weak association ($r = 0.47$) exists, and only 22% of data variability is explained by the model (r^2). The obtained equation is $Volg = -212.4413 + 7.4181 * Wt$.

Environmental parameters. Water temperature presented a shift between 24° C during the month of December and 29° C towards the month of May. Rainfall varied between 1.5 mm in the month of March and 19 mm during the month of November. The level of the Usumacinta River presented its lowest value during the month of April at 12 meters above (AMSL), and increasing its depth of 6.17 m, by reaching a maximum value of 18.17 m during the month of October (Table 1).

Discussion

The obtained results indicate that *Aplodinotus grunniens* is an iteroparous species that reproduces throughout the year, with reproductive activity peaking in October. Histological analysis of the ovaries revealed the presence of oocytes in all development stages at the same time, consistent with the definition of asynchronous ovarian development (Wallace and Selman, 1981). Asynchronous development of the oocytes is regularly found associated with an indefinite fertility strategy, where the annual potential fertility is not fixed before spawning, since the pre-vitellogenic oocytes are maturing continuously and they are released along the reproductive season (Murua and Saborido-Rey, 2003), which for *A. grunniens* lasts all year. Combined with this, the absence of a spacing (hiatus) in the oocyte diameter frequencies that separates the mature ones from the reserved pre-vitellogenic ones clearly shows that the production of new mature oocytes is continuous. All this evidence indicates that *A. grunniens* is a heterochronic (partial spawner), with ovaries that have a simultaneous presence of re-absorbing post-ovulatory follicles and oocytes with different degrees of development, from pre-vitellogenic up to advanced maturity, which suggests that females liberate oocyte batches at different moments. These results agree with those registered for the same species in the United States (Daiber, 1953) and Canada (Palmer *et al.*, 1995). Grau *et al.* (2009) mention that all the studied species from the Sciaenidae family have been classified as synchronous group spawners or as asynchronous. Thus, for other Sciaenidae family species that occur in the tropical and sub-tropical regions, such as *Atractoscion nobiles*, *Cilus gilberti*, *Cynoscion nebulosus* and *Sciaena umbra*, are all mostly asynchronous and iteroparous (Brown-Peterson, 1988; Cárdenas, 2012). However, there are several saltwater species from the same family that have a synchronous spawn type as a reproductive strategy, such as: *Sciaenops ocellatus*, *Argyrosomus regius* and *Umbrina cirrosa* (Wilson & Nieland, 1994; Mylonas *et al.*, 2004; Shabana *et al.*, 2012; Gil *et al.*, 2013).

The reproductive strategy set by the female *A. grunniens* of being partial asynchronous spawners with an indefinite fertility indicates that in the Usumacinta River, favorable conditions exist for the development and survival of their offspring throughout the entire year, especially towards the second semester, coinciding with the heavy rainfall and strong swelling of the river that cause flooding. This could be generating an environment that has the appropriate conditions for the growth of the brood.

During *A. grunniens* reproductive cycle, described in this study, four maturity stages in the gonad of the females were identified. In these maturity stages, the different oogenesis stages can be observed throughout the year, indicating that the species is in constant gametogenesis and reproductive activity in the Usumacinta River. These results were similar to those reported by Daiber (1953) and Palmer *et al.* (1995) in females of the Red Lakes in Minnesota, and the Lake Erie in the United States and Canada. These authors also noted between three and four maturity stages in females, respectively. These stages were similar to those described in other species of the same family, such as: *Sciaenops ocellatus*, *Sciaena umbra*, *Micropogonias furnieri*, *Umbrina robinsoni*, *Umbrina roncadorensis*, *Bairdiella chrysoura*, *Argyrosomus regius*, *Larimichthys polyactis*, *Menticirrhus americanus* and *Plagioscion squamosissimus* (Valdebenito *et al.*, 1995; Felix *et al.*, 2009; Grau *et al.*, 2009; Miller *et al.*, 2009; Hutching and Griffiths, 2010; Lim *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2011; Grier, 2012; Gil *et al.*, 2013), and other teleosts, such as: *Sphoeroides annulatus*, *Carassius auratus*, *Centropomus undecimalis* and *Oreochromis niloticus* (Uribe 2002; Peña-Mendoza *et al.*, 2011; Shultz and Nóbrega, 2011; Kobelkowsky, 2012). Nevertheless, the selection of spawning season by a species is based on the disposition and condition of the females. These females must have accumulated enough energy reserves (Saborido-Rey, 2006).

Daiber (1953) and Palmer *et al.*, (1995) report ovulation with the presence of post-ovulatory follicles as indicators of spawning. During this study such follicles were not observed, thus the post-spawning stage was identified according to the observed conditions on a histological level, such as the presence of follicles in the process of re-absorption and atresia, a thickened ovarian wall and a broad dispersion of oocytes in primary and secondary growth stages. This same situation was reported for *Otolithes ruber* in the Arabian Gulf (Dadzie, 2007). The absence of post-ovulatory follicles in this study may be conditioned to the moment of capture of the specimens, the manipulation period after its capture and water temperature. Usually,

post-ovulatory follicles in the ovaries of sciaenids last around 24 hours and are identified easily when they are recent, but they degenerate rapidly depending on the temperature, as it is mentioned for the species *Umbrina robinsoni* (Saborido-Rey, 2006; Hutchings and Griffiths, 2010). The absence of post-ovulatory follicles registered in this study differs from species found in estuaries of the Gulf of Mexico, such as *Bardiella chrysoura*, in which these follicles are present during ovulation. Likewise, for the species *Micropogonias furnieri*, in which the presence of oocytes beginning hydration related to the remaining post-ovulatory follicles from a previous spawn were observed (Macchi *et al.*, 1996; Grammer *et al.*, 2009). The observed reproductive indicators (GSI, HSI and Vg) for *A. grunniens* in the Usumacinta River show a pattern that reveals a peak of maximum activity in the month of October, though the species reproduces all year long. This peak begins with a noticeable rise in the month of June, and despite the limited capture of mature females during flood-season sampling, a continuous rise in reproductive activity can be distinguished. Regarding this, Wootton (1979) mentions that in some species of fishes the allocation of energy in the gonads happens simultaneously with somatic growth, while in other species there is an annual cycle of energy for somatic growth with a subsequent transfer of nutrients to the gonads. This regulation of the distribution of energy assures that the ovaries mature during the right season of the year, when the conditions are more appropriate for the production of brood, even if it hinders the growth of the fish, due to the low food intake of the adults (Wootton, 1985). Thus, in the case of *A. Grunniens*, it is possible that in this part of the Usumacinta River the species finds the conditions that allow the development of its offspring all year long. Regardless, the channeling of energy towards reproduction clearly increases towards the months of July – October, as shown by the gonadosomatic and hepatosomatic indexes. This peak of activity possibly coincides with a season of more food availability both for the reproducers and the offspring, and for our study, these conditions could be favorable during flood season. The relation between the GSI and, in particular, the spawning with the rainy season has been widely debated by several authors, with an association to the flooding of areas surrounding the rivers (Hoar 1969).

The hepatosomatic index is considered as a meaningful indicator of energy reserves (lipids, proteins, glycogen and total energy), and in many cases it has also been employed as a metabolism indicator for the production of yolk reserves in growing oocytes. The HSI variability of the females in the current study maintained a low variation throughout the

annual cycle, showing a maximum peak in October and a minimum value in July, coinciding with the observed pattern for the GSI.

The GSI, which represents the maturity stage of the gonads in *A. grunniens* females, presented a variability similar to the one registered by Palmer *et al.* (1995), who reported that this indicator decreases in the summer. Fish from the Usumacinta River presented the lowest value during the month of July. While the maturity patterns are similar, the GSI values differ in intensity with those registered for the same species in Red Lake, Minnesota, since they were higher in those latitudes. These data also differ in magnitude and seasonality with the reproductive peak of other species from the Sciaenidae family, like *Micropogonias furnieri*, which has a higher reproductive activity in December and January (Valdebenito *et al.*, 1995); *Larimichthys polyactis*, which also has a reproductive peak towards December (da Rosa and Chaves, 2008; Lim *et al.*, 2010); *Sciaena umbra*, presents it in May and June (Grau *et al.*, 2009); and for the species *Menticirrhus americanus*, its spawning has been reported for April (Ferreira *et al.*, 2011).

A. grunniens females registered an almost constant condition factor (K) during the reproductive cycle with maximum values in August, November and December. These values indicate that this factor associates the well-being and reproduction of the species, pointing out that the robustness of the species is appropriate during its reproductive cycle. According to Fuentes *et al.* (2012), the maximum K values are associated to the reproductive cycle, without counting out that it is also associated with the period of major food availability. The registered K values in this study were similar to the one reported for the species belonging to the family Sciaenidae *Larimichthys polyactis* (1.80) from the south of Korea; nonetheless, they differ with the one registered for the species *Argyrosomus regius* (1.0) and *Sciaena umbra* (1.20) in the Balearic Islands in Spain (Grau *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2010; Gil *et al.*, 2013).

The fact that the sampled females from the Usumacinta River show a reproductive peak towards September and October makes them differ from what has been registered for the species by Daiber (1953) and Palmer *et al.* (1995) in the western part of Lake Erie and the Red Lakes in Minnesota, where the highest reproductive activity happens in June. It is likely that in colder regions, the species finds better conditions for its offspring during the summer. Other species from the Sciaenidae family have been reported to have a summer reproductive activity. Such is the case for *Bairdiella chrysoura* in the north of Mexico, which spawns

during the month of June; it is also the case for *Larimichthys polyactis*, *Sciaena umbra* and *Umbrina roncadora*, which spawn during May – June, May – August, and June, respectively (Grammer *et al.*, 2009; Grau *et al.*, 2009; Miller *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2010). Regarding this, Rochet (2000) considers that the life history of a particular species is defined as a complex pattern of life traits, co-evolved for a specific environment, and that the tactic is the plasticity of these characteristics, allowing it to face environmental variability.

The association of the gonad volume and the GSI with the weight of the females was moderate to low, though indicative of a meaningful relationship between the variables. Several authors have used these associations with the intention of explaining changes during the reproductive cycle; however, for this species there is little information. Saborido-Rey (2006) mentions that some of the qualities of a species can be plastic, showing a wide variation, while others may be rigid, with the environment that they experiment determining the expression of these qualities, just like the combination of the reproductive traits of the specimens belonging to the same genetic group; this may be considered as the reproductive strategy of the species.

In relation to the environmental parameters, such as temperature, river level, and rainfall, without a doubt they play an important role in the reproduction of *A. grunniens*, due to the increase of the parameters coinciding with the rise of GSI and the frequencies of the maturity stages (reproductively active females) during the studied annual cycle. Spawning temperature in the present study varied from 25.0°C to 27.0°C, presenting a similarity to those registered during the 24.8°C-25.0°C spawning in 1997 and the 25.6°C-26.1°C spawning in 1998 in the Missouri River in the United States (Braaten and Guy, 2004). However, spawning temperature for this species was different to the one registered in Lewis and Clark L., S.D. in the United States (18.9°C-24.5°C) (Wismer and Christie, 1987). Thus, it can be considered that this species adapts to highly diverse environmental conditions. The spawning moment and length of several fish species, among them sciaenids, has been linked to water temperature; in the case of long spawning periods, beginning with the rise in water temperature and ending when it (Hutchings and Griffiths, 2010). According to Valdebenito *et al.* (1995), the reproductive cycle of fishes is mainly regulated by environmental factors, like temperature and photoperiod, which are important in the maturity and spawning. Additionally, in the river there are different annual nutrient cycles that coincide with the rise

of the river level; environments that are favorable for the survival and growth of larvae and juveniles, as it is mentioned for *Sciaena umbra* and *Umbrina robinsoni* (Grau *et al.*, 2009). The rainy season is an environmental factor that significantly influences on the reproductive cycle of a species, for it is the system that provides better locations for the larvae, just like the abundance of food for the juveniles (Peña-Mendoza *et al.*, 2011).

The contribution of this research on the reproductive cycle of female *A. grunniens* in a portion of the Usumacinta River must be considered to implement or develop a management plan in the region, with an emphasis on the highest reproductive activity period, which coincides with the highest fishing activity period in the zone. This species has a high biological, ecological, economical and nutritional value in the zone, which is why these measures will allow the conservation of the species.

Acknowledgments

This paper resulted from joint efforts between the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, the Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) and Fondos Mixtos CONACYT-Government of Tabasco. The authors thank Moises González-Valencia for his outstanding technical assistance in preparation of histological material.

References

- Aguilar MM, Coutiño BB, Salinas PR. Manual general de técnicas histológicas y citoquímicas, México D. F., México: Editorial Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM; 1996.
- Braaten PJ, Guy CS. First-Year Growth, Condition, and Size-Selective Winter Mortality of Freshwater Drum in the Lower Missouai River. *Trans Am Fish Soc.* 2004; 133(2): -398.
- Brown-Peterson N, Thomas P, Arnolos CR. Reproductive biology of the spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*, in South Texas. *Fish Bull.* 1988; 86(2):373-388.
- Cárdenas S. Biología y acuicultura de corvinas en el mundo. *Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura. Rev AquaTIC.* 2012; 37:1-13.
- Chao, N. L. Sciaenidae, Croakers (drums). In Carpenter KE, editors. *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. FAO Species Identification Guide for Fishery*

- Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Rome: FAO. 2002. p. 1583-1653. (Special Publications, 3).
- Chávez LMO, Mattheuws AE, Pérez MHV. Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. Xalapa, Veracruz, México; 1989.
- Cifuentes R, González J, Montoya G, Jara A, Ortiz N, Piedra P, Habit E. Relación longitud- peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuena del río Valdivia, Chile) Gayana (Concept). 2012; 76(supl.1):101-110.
- Dadzie S. Vitellogenesis, oocyte maturation pattern, spawning rhythm and spawning frequency in *Otolithes ruber* (Schneider, 1801) (Sciaenidae) in the Kuwaiti waters of the Arabian Gulf. Sci Mar. 2007; 71(2):239-248.
- Daiber FC. The food and Feeding Relationships of the Fresh-water Drum, *Aplodinotus grunniens* Rafinesque in Western Lake Erie. Ohio J Sci 1952; 52(1):35-46.
- Daiber FC. Notes on the Spawning Population of the Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens* Rafinesque) in Western Lake Erie. Am. Midl. Nat. 1953; 50(1):159-171.
- Davis-Foust SL, Bruch RM, Campana SE, Olynyk RP, Janssen J. Age validation of freshwater drum using bomb radiocarbon. Trans Am Fish Soc. 2009; 138(2):385-396.
- Félix RTDS, Severi W, Santos AJG, EL-Deir ACA, Soares MG, Evêncio Neto J. Ovarian development of *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Actinopterygii, Perciformes), from the Pedra reservoir, Contas river, Bahia. Biota Neotrop. 2009; 9(3):131-136.
- Freitas MO, Haluch CF, Abilhoa V, Corrêa MFM, Hostim-Silva M. Estrutura populacional e biologia reprodutiva de *Menticirrhus americanus* (Linnaeus, 1758) (Teleostei, Sciaenidae) na baía de Ubatuba-Enseada, Santa Catarina, Brasil. Biotemas. 2011; 24(1):47-59.
- Gil MM, Grau A, Basilone G, Ferreri R, Palmer M. Reproductive strategy and fecundity of meagre *Argyrosomus regius* Asso, 1801 (Pisces: Sciaenidae): implications for restocking programs. Sci Mar. 2013; 77(1):105-118.

- Grammer GL, Brown-Peterson NJ, Peterson MS, Comyns BH. Life history of silver perch *Bairdiella chrysoura* (Lacepede 1803) in north-central Gulf of Mexico estuaries. *Gulf Mex Sci.* 2009; 27(1):62-73.
- Grau A, Linde M, Grau AM. Reproductive biology of the vulnerable species *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (Pisces: Sciaenidae). *Sci Mar.* 2009; 73(1):67-81.
- Grier HJ, Aranzabal-Urbe MC, Patiño R. 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. p. 25–84. (Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny; vol 8).
- Grier HJ. Development of the Follicle Complex and Oocyte Staging in Red Drum, *Sciaenops ocellatus* Linnaeus 1776 (Perciforms, Sciaenidae). *J Morphol* 2012; 273(8): 801-829.
- Hernández-Gómez RE, Perera-García MA, Valenzuela CI, Duran MT, Mendoza-Carranza M. Desarrollo Embrionario de *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) en Tenosique, Tabasco, México. *Inter J Morphol.* 2013; 31(2):633-639.
- Hinton DE. Histological techniques. In Schreck, CB, Moyle PB. editors. *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 1990. p. 191-211.
- Humason GL. *Animal Tissue Techniques*. 3rd. edition. San Francisco, CA: WH. Freeman, Co Ltd; 1979.
- Hutchings K, Griffiths MH. Life-history strategies of *Umbrina robinsoni* (Sciaenidae) in warm-temperate and subtropical South African marine reserves. *Afr J Mar Sci* 2010; 32(1):37-53.
- Jacquemin SJ, Pyron M. Effects of allometry, sex, and river location on morphological variation of freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in the Wabash River, USA. *Copeia* 2013; (4):740-749.
- Jacquemin SJ, Pyron M, Allen M, Etchison L. Wabash River Freshwater Drum *Aplodinotus grunniens* Diet: Effects of Body Size, Sex, and River Gradient. *J Fish and Wildl Manage.* 2014; 5(1):133-140.
- Kobelkowsky A. Morphological Diversity of the Ovaries of the Mexican Teleost Fishes. *Int J Morphol.* 2012; 30(4):1353-1362.

- Lim HK, Le MH, An CM, Kim SY, Park MS, Chang YJ. Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in southern waters off Korea. *Fish Sci.* 2010; 76(6):971-980.
- Macchi GJ, Acha EM, Lasta CA. Desove y fecundidad de la corvina rubia *Micropogonias furnieri* Desmarest, 1823 del estuario del Río de la Plata, Argentina. *Bol Inst Esp Oceanogr.* 1996; 12(2):99-113.
- Medina M. El factor de condición múltiple (KM) y su importancia en el manejo de las carpas de Israel (*Cyprinus carpio*); hembras en estado de madurez V (Nikolsky, 1963). *Manuales Técnicos de Acuicultura.* Departamento de Pesca. México D.F., México; 1979.
- Miller EF, Goldberg S, Nunez J, Burkes N, Kuratomi J. The reproductive biology of two common surfzone associated sciaenids, yellowfin croaker (*Umbrina roncadorensis*) and spotfin croaker (*Roncadorensis stearnsii*), from southern California. *Bull South Calif Acad Sci.* 2009; 108(3):152-159.
- Muniz ER, Chaves PTC. Condição reprodutiva da betara preta, *Menticirrhus americanus* (Teleostei, Sciaenidae), na pesca realizada no litoral norte de Santa Catarina, Brasil. *Acta Sci Biol Sci.* 2008; 30(4):339-344.
- Murua H, Saborido-Rey F. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *J Northw Atl Fish Sci.* 2003; 33: 23-31.
- Mylonas CC, Kyriakou Y, Sigelaki I, Georgiou G, Stephanou D, Divanach P. Reproductive biology of the shi drum (*Umbrina cirrosa*) in captivity and induction of spawning using GnRH α . *Isr J Aquacult-Bamid.* 2004; 56(2):75-92.
- Palmer EE, Sorensen PW, Adelman IR. A histological study of seasonal ovarian development in freshwater drum in the red Lakes, Minnesota. *J Fish Biol.* 1995; 47(2), 199-210.
- Peña-Mendoza B, Gómez-Márquez JL, García-Alberto G. Ciclo reproductor e histología de las gónadas de tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciforme: Cichlidae). *Cienc Pesquera.* 2011; 19(2):23-36.
- Ricker WE. Handbook of computations for biological statistic of fish population. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations; 1958. (Fisheries Research Board of Canada; Bulletin 119).

- Rochet MJ. A comparative approach to life-history strategies and tactics among four orders of teleost fish. ICES. J Mar Sci. 2000; 57: 228–239.
- Rodríguez-Gutiérrez M. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT México, D.F., México; 1992.
- Rossendillum M, Pudney J, Gallard I. Gonadal morphology enzyme histochemistry and plasma steroid levels during the annual reproductive cycle of male and female brown bullhead catfish, *Ictalurus nebulosus* Lesueur, J. Fish Biol. 1987; 31(3):325-341.
- Rypel AL, Bayne DR, Mitchell JB. Growth of Freshwater Drum from Lotic and Lentic Habitas in Alabama. Trans Am Fish Soc. 2006; 135(4):987-997.
- Rypel AL. Sexual Dimorphism in Growth of Freshwater Drum. Southeast Nat. 2007; 6(2):333-342.
- Saborido-Rey F. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso doctorado. Instituto de Investigaciones Marinas, Universidad de Vigo. CSIC; 2006.
- Shabana NMA, El Rahman SHA, Al Absawy MA, Assem SS. Reproductive biology of *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) inhabiting the south eastern Mediterranean Sea, Egypt. Egypt J Aquat Res. 2012; 38(2):147-156.
- Sluss A, Harrel S. *Aplodinotus grunniens*. Animal Diversity. (2006). Available from: http://141.213.176.11/site/accounts/information/Aplodinotus_grunniens.html.
- Uribe AM Aparato reproductor femenino. In: Atlas de histología de vertebrados (Estrada FE, Uribe AM, editores), Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México; 2002. p. 149-171.
- Valdebenito I, Peredo S, González K, Sobarzo C. Ciclo reproductivo anual del “Huaiquil o Roncador” (*Micropogonias furnieri* Desmarest, 1823 Sin. *Micropogonia manni* Moreno, 1970) (Pisces: Sciaenidae) del lago Budi. Estud Oceanol. 1995; 14:29-37.
- Wallace RA, Selman K. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Amer Zool. 1981; 21(2):325-343.

- Wallus R, Simon TP. Reproductive biology and early life history of fishes in the Ohio River Drainage, Aphredoderidae through Cottidae, Moronidae, and Sciaenidae. Vol. 5. CRC Press; 2006.
- Wilson CA, Nieland DL. Reproductive biology of red drum, *Sciaenops ocellatus* from the neritic waters of the northern Gulf of Mexico. Fish Bull. 1994; 92(4):841-850.
- Wismer DA, Chistie AE. Temperature relationships of great lakes fishes. Gt Lakes Fish Comm. Spec. Pub; 1987.
- Wootton RJ. Energy costs of egg production and environmental determinants of fecundity in teleost fishes. Symp Zool Soc Lond. 1979; 44:133-159.
- Wootton RJ. Energetics of reproduction. In Tytler P, Calow P, editors Fish energetics, Netherlands Springer; 1985. p. 231-254.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

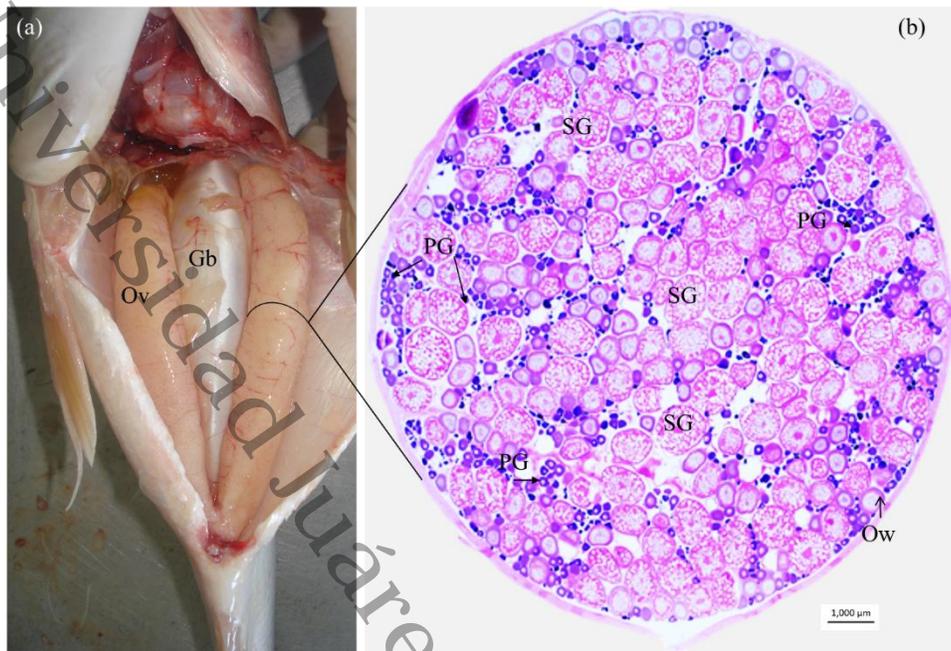


Fig. 1. (a) Macroscopic appearance and anatomical position of *A. grunniens* ovaries. (a) Microscopic view of a complete section of an ovary during the secondary growth stage. (b) Ovary (Ov); gas bladder (Gb); ovary wall (Ow); primary growth oocytes (PG); secondary growth oocytes (SG).

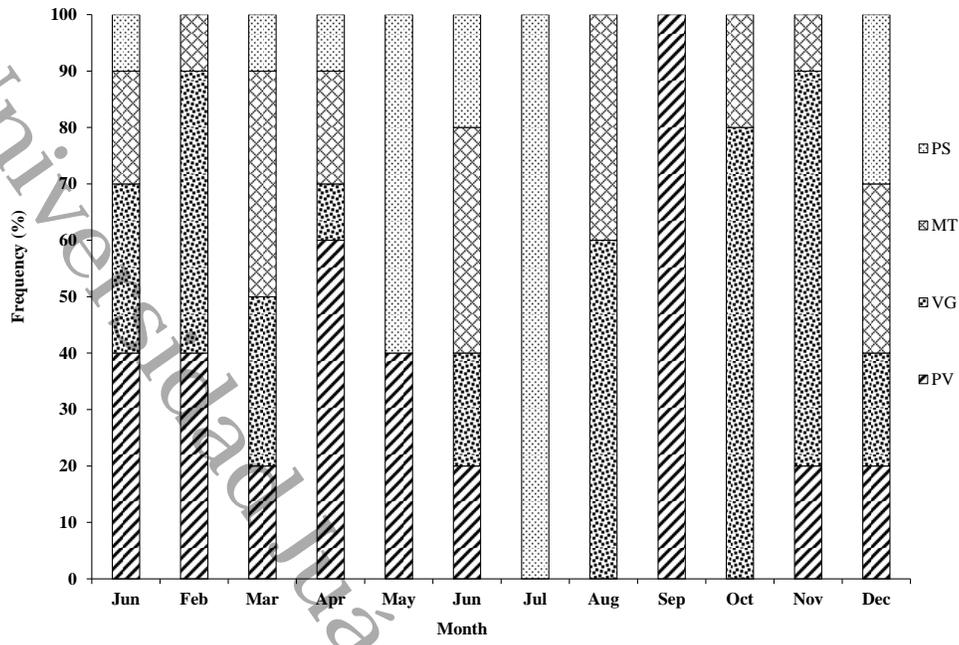


Fig 2. Monthly frequency distribution of the different reproductive stages from female *A. grunniens* capture in the middle Usumacinta River. Previtelogenesis (PV); Vitelogenesis (VG); Maturation (MT); and post-spawning (PS).



Fig 3. *A. grunniens* ovaries during primary growth stage. (a) Macroscopic appearance with peach color, blood vessels are evident, but thin. (b) Cross-section the ovary showing developing lamellae (LM) containing a large number of oocytes in various stages of growth, with predominance of primary growth oocytes (PG). (c) Augmented view of ovarian lamellae delimited by the germinal epithelium containing oogonia (og), PG oocytes can be observed at one-nucleolus stage (PGon), multiple nucleolus stage (PGmn) and peripheral nucleolus stage (PGpn). (d) Detail of an oogonial nest (ON) and one-nucleolus stage oocyte. (e) Details of PG oocytes at different nucleolar stages. (f) Augmented detail showing PG oocytes at different stages, germinal epithelium with oogonia and a blood vessel. (g) Magnification of a PG oil drop stage (PGod) oocyte showing lipid vesicles (black arrow), cells from the flat follicular epithelium (fe) conforming the granulosa layer are visible. Ovary wall (Ow), blood vessels (bv), nucleolus (nu), nucleus (N), lumen (L), germinal epithelium (GE). Hematoxylin and eosin stained.

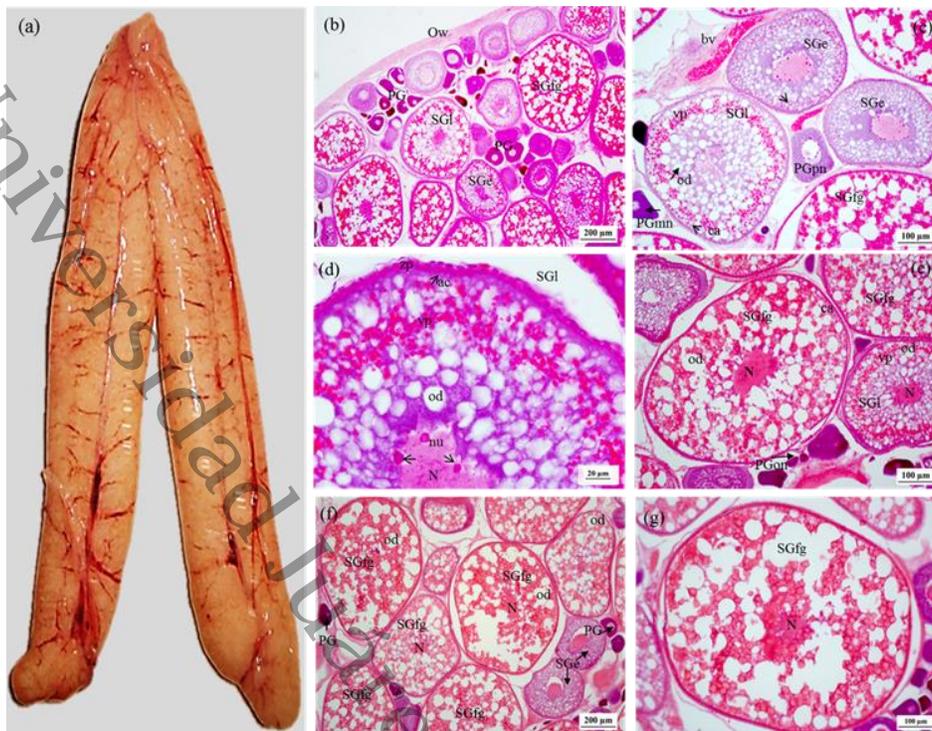


Fig 4. *A. grunniens* ovaries during secondary growth stage. (a) Macroscopic appearance showing a gold-sand color, gonads are well vascularized. (b) Cross-section of a lamellae showing oocytes in different stages of development there is a predominance of secondary growth oocytes (SG) in early (SGe), late (SGL) and final (SGfg) phases. The concurrence of developing primary growth oocytes (PG) is indicative of asynchronous ovarian development. Ovarian wall (Ow). (c) Magnified view of PG and SG oocytes; PG oocyte undergoing perinuclear phase (PGpn), with oil droplets (od) present, a SG oocyte in the early phase shows vitelline plaquets (vp) while the SGL oocyte shows cortical alveoli (ca). (d) Details from a SGL oocyte, the zona pellucida (zp) is evident. Nucleolus (nu) are found surrounding the nucleus (N). (e, f & g) Magnification of SG oocytes in early, late and final phases, showing microstructural features. Hematoxylin and eosin stained.



Fig 5. *A. grunniens* ovaries during maturity stage. (a) Macroscopic appearance showing a sweet-corn color, gonads are highly vascularized and eggs are visible with a naked eye. (b) Cross section of a lamellae showing oocytes in different stages of development, there is a predominance of mature oocytes (OM) with eccentric germinal vesicle (OMegv). (c) During this stage the germinal vesicle (gv) undergo hydration and migration (OMgvm) fluids (fd) and large oil droplets (od) are visible. Atresic Follicles (AF) are also present. (d & e) Magnification of oocytes mature hydrated (OM) and neighboring primary growth oocytes (PG). Hematoxylin and eosin stained.

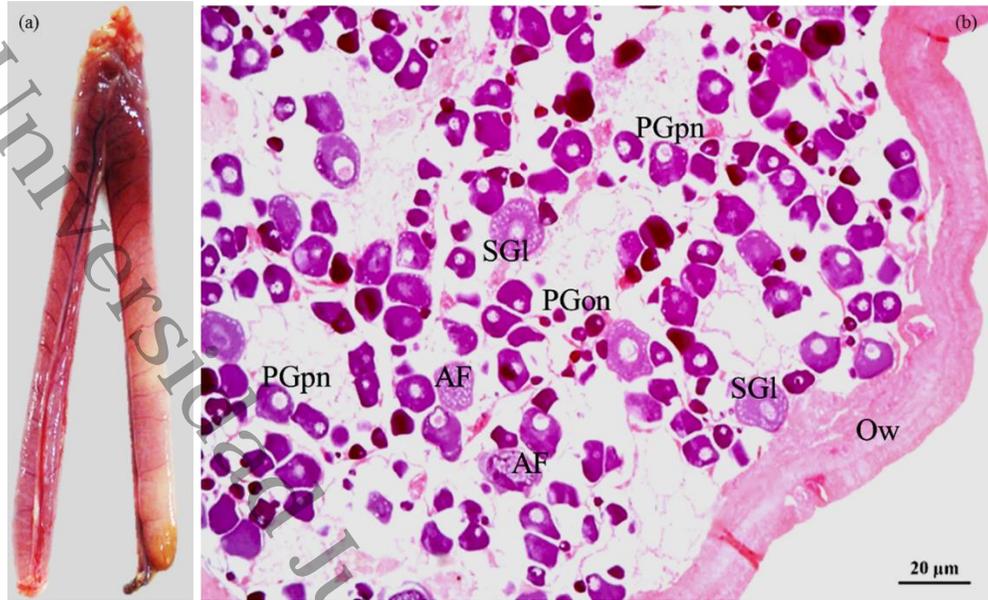


Fig 6. Post-spawning *A. grunniens* ovaries. (a) Macroscopic appearance of the ovary indicative of a spent female. The color varies between pink and plumb, in some cases residual mature eggs can be seen. (b) Histologically, the ovaries show a swollen ovarian wall (Ow), atresic follicles (AF) are scattered surrounded by oocytes under primary (PG) and secondary (SG) growth. Primary growth oocytes at one nucleolus phase (PGon); Primary growth oocytes at peripheral nucleolus phase (PGpn); secondary growth oocytes at late phase (SGl). Hematoxylin and eosin stained.

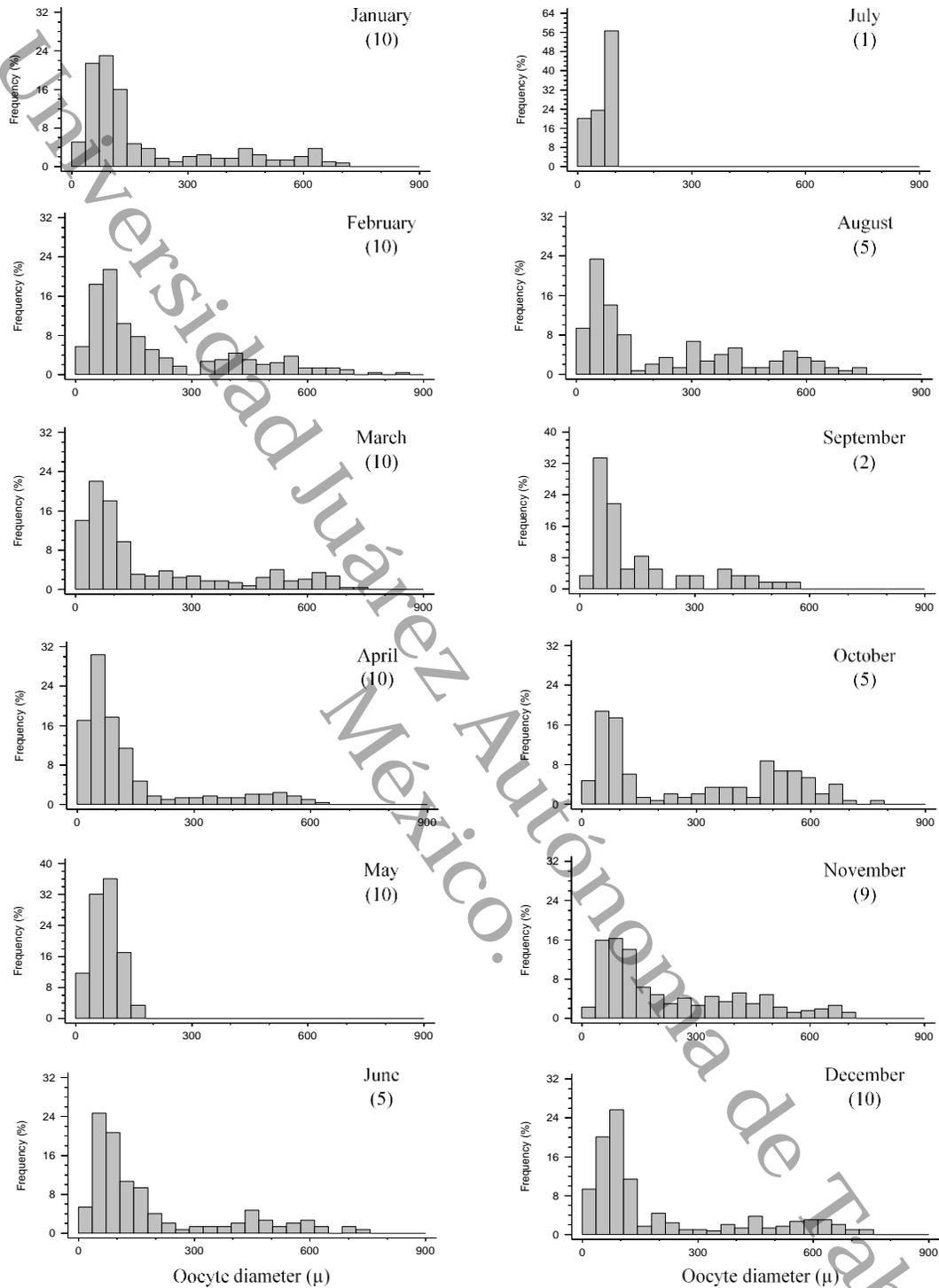


Fig 7. Monthly size frequency distributions of the oocyte diameters measured microscopically (n=30 oocytes from each female). The number of females sampled per month is indicated in parenthesis.

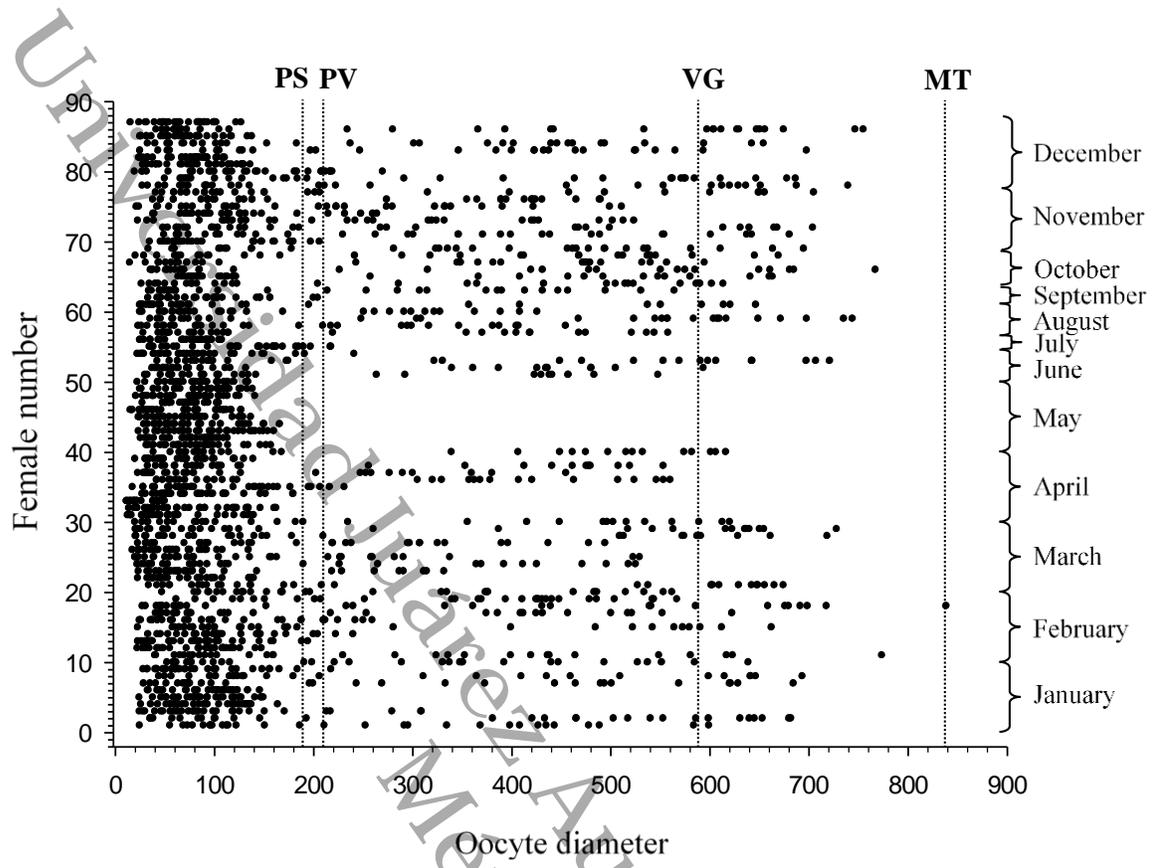


Fig 8. Scatter plot of all egg diameters measured during the entire year. Dotted lines indicate the upper limits for egg diameter at different stages of development. Post-spawning (PS); Previtelogenesis (PV); Vitelogenesis (VG); Maturation (MT). n=30 oocytes per female.

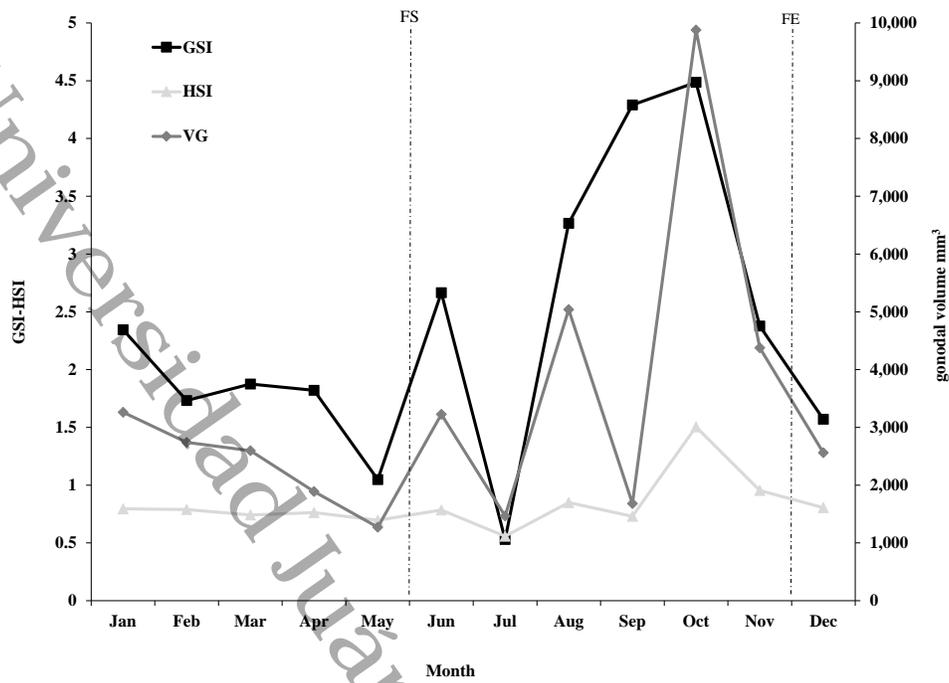


Fig 9. Contrast of reproductive indices of *A. grunniens* females and flooding season. Gonadosomatic index (GSI), Hepatosomatic Index (HSI), Gonadal Volume (GV). Dotted lines indicate the beginning (FS) and the end (FE) of the flooding season.

CAPITULO IV

**CICLO ANUAL REPRODUCTIVO DE MACHOS DE *Aplodinotus grunniens* EN LA
CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO**

**CICLO ANUAL REPRODUCTIVO DE MACHOS DE *Aplodinotus grunniens* EN LA
CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO**

R. E. HERNÁNDEZ-GÓMEZ†, A. A. HERNÁNDEZ-FRANYUTTI‡, W. M.
CONTRERAS-SÁNCHEZ‡, M. A. PERERA-GARCÍA††,

† Laboratorio de Acuicultura, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, UJAT
Tenosique-Estapilla Km 1.0, CP 86901.

‡ Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT
Km. 0.5 Villahermosa-Cárdenas, Entronque a Bosques de Saloya, CP 86039.

†† División Académica de Ciencias Agropecuarias, UJAT Km. 25.0 Villahermosa-Teapa,
Tabasco, México.

RESUMEN

Aplodinotus grunniens es una especie que se localiza en Norte y Centro América, es un pez estrictamente de agua dulce y es el único miembro de la familia Sciaenidae que presenta esta condición dentro de un gran número de especies marinas. En México, es común encontrarlo en la región de los ríos del estado de Tabasco, donde es comúnmente conocido con el nombre de topuche o roncador. El presente estudio se realizó con la intención de contribuir con información básica del ciclo reproductivo de machos, aportando información histológica detallada de las diferentes etapas de desarrollo. Durante un ciclo anual se determinaron los índices reproductivos y se describieron las etapas de desarrollo gonádico y estadios de la espermatogénesis con base en 95 organismos. El estudio histológico de los testículos muestra diferentes etapas de madurez y estadios de la espermatogénesis, indicando que la especie se reproduce más de una vez durante la temporada de reproducción. La información generada es relevante porque contribuye con la biología de la especie, a su conservación e implementación de un plan de manejo; poniendo interés en el periodo de mayor actividad reproductiva.

Palabras clave: histología, ciclo reproductivo, espermatogénesis.

INTRODUCCION

Las corvinas son peces marinos costeros; algunas especies de los géneros *Pachypops*, *Pachyurus* y *Plagioscion* en Sudamérica y *Aplodinotus grunniens* en Norte y Centroamérica están confinadas a ecosistemas de agua dulce –principalmente ríos- (Chao, 2002). *A. grunniens* se caracteriza por ser una especie de hábito bentónico de aguas turbias a claras en ríos y lagos que recorre distancias menores a 161 km con profundidades de 12-18m (Chad *et al.*, 2007). Desova en aguas abiertas, sus huevos son pelágicos y son transportados por la corriente (Sluss & Harrel, 2006). Esta especie es conocida comúnmente en Estados Unidos, Canadá y México, como roncador de agua dulce. En Francia también se le conoce como pez cabeza de oveja y perca, (Froese & Pauly, 2016). En el estado de Tabasco, México es conocida con el nombre de topuche o roncador. Los diversos estudios realizados en esta especie se han enfocado a estudiar aspectos de la biología pesquera, como la determinación de edad y crecimiento, hábitos alimenticios, reproducción y distribución (Daiber, 1953; Swedberg, 1965; Bur, 1984; Rypel *et al.*, 2006; Rypel, 2007, Davis-Foust *et al.*, 2009; Richard & Rypel, 2013; Jacquemin & Payron, 2013; Jacquemin *et al.*, 2014). Más recientemente se han realizado estudios sobre la cladogénesis (Lo *et al.*, 2015; Deary & Hilton, 2017), la ontogenia (Essner *et al.*, 2014), así como al análisis de otolitos para determinar la estacionalidad continental y cambios climáticos durante el último milenio y finales del holoceno, a través de isótopos estables (Patterson, 1998; Wurster & Patterson, 2001). Por otro lado, Watanabe *et al.*, (2003) y Rypel *et al.*, (2007) enfocaron sus estudios a determinar la calidad del tejido y la variación en las concentraciones de compuestos organoclorados (policlorobifenilos o PCBs). En el sureste Mexicano, se han realizados estudios sobre la biología de la especie en el río San Pedro (Chávez *et al.*, 1989), y el desarrollo embrionario con organismos obtenidos del río Usumacinta (Hernández-Gómez *et*

al., 2013). Además, se abordó su taxonomía y sistemática en la reserva de la biosfera selva El Ocote y la presa Nezahualcóyotl en el estado de Chiapas (Anzueto-Calvo *et al.*, 2016). Con respecto a su reproducción, se ha reportado que la especie presenta desoves múltiples y que su ciclo reproductivo contempla una extensa temporada reproductiva comprendida entre los meses de mayo a septiembre (Daiber 1953, Simon & Wallus 2006, Chad *et al.*, 2007). A nivel histológico, Palmer *et al.* (1995) describieron el desarrollo del ovario en hembras de los lagos rojos de Minnesota. Sin embargo, no existe información detallada sobre el ciclo reproductivo y la espermatogénesis en machos de la especie, razón por la cual, se realizó el presente estudio con la finalidad de describir las etapas de desarrollo gonádico y caracterizar histológicamente los cambios que ocurren en los testículos durante un ciclo anual, a partir de ejemplares capturados en la cuenca media del río Usumacinta en Tabasco, México.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio y muestreo. El estudio se realizó entre los meses de enero a diciembre de 2013. El sitio de captura se localiza entre el Cañón del río Usumacinta “Boca del Cerro” (17° 25’33” N y 91° 29’29” W); hasta la localidad el Copo (17°57’16” N y 91°50’23” W) (Fig. 1). Los peces fueron capturados durante los meses de caudal mínimo del río con redes de arrastre con 80m longitud, 3m de altura y 2cm de abertura de luz de malla; mientras que durante los meses de inundación (junio-noviembre), las capturas se realizaron empleando anzuelos teniendo como cebo camarón de río: *Procambarus llamasii*. Se capturaron 95 machos de *A. grunniens*, con peso promedio de 280.4g y 30.22cm de longitud total, los cuales fueron sacrificados con un fuerte golpe en la cabeza.

Procesamiento de ejemplares. Cada mes, se preservaron las gónadas de hasta diez machos, aunque en los meses de mayor profundidad del río, las capturas de ejemplares fueron escasas

--principalmente entre julio y septiembre. De cada organismo se obtuvo la longitud total (LT) con un icetiómetro convencional de 100cm y ± 1 mm de precisión. El peso total (PT), peso del hígado y peso de las gónadas (PG) se obtuvieron con una balanza digital ScoutTMPro™ de 4000g y ± 0.01 g de exactitud. El sexo se determinó por observación macroscópica y de cada gónada se tomaron los siguientes datos: longitud, ancho máximo y mínimo (mm) empleando un calibrador Vernier de 1mm de precisión. De cada organismo, se muestreó la gónada derecha obteniéndose tres secciones de 3 cm de grosor de las regiones anterior, media y posterior. Las muestras fueron colocadas dentro de un pequeño saco de gasa estéril, etiquetados con los datos de colecta, y fijadas en solución Bouin para su conservación durante periodos de 24h. Posteriormente, las muestras fueron lavadas en agua corriente para eliminar el exceso de fijador, fueron deshidratadas con soluciones de alcohol etílico y xilol por una hora, siendo posteriormente empotradas en parafina. Se realizaron cortes seriados de $7\mu\text{m}$ de espesor con un micrótopo de deslizamiento marca Reichert-Jung Modelo Hn40. Las mejores secciones fueron seleccionadas y teñidas con hematoxilina-eosina (Humason, 1979; Hinton, 1990; Aguilar *et al.*, 1996).

Análisis microscópico. Se realizó el análisis histológico de las laminillas seriadas de testículos de *A. grunniens* con ayuda de un microscopio óptico Zeiss™ (modelo Axiostar plus) acoplado a una cámara Zeiss (model Axiocam MRc 5). Las etapas del desarrollo testicular se determinaron con base en las características morfológicas de la gónada y los estadios de desarrollo de la espermatogénesis, considerando la clasificación propuesta por Grier & Taylor (1998) y Grier & Uribe (2009). Con la finalidad de determinar la sincronización del desarrollo de la gónada, de cada macho se seleccionó una laminilla de la porción media de la gónada.

Condiciones ambientales. Se obtuvieron los datos de precipitación pluvial, temperatura y precipitación pluvial de la estación meteorológica número 30019 de CONAGUA; cercana a la zona de estudio y que se encuentra ubicada en el poblado Boca del cerro.

Análisis de datos. Para determinar los principales indicadores que describen el ciclo reproductivo anual de *A. grunniens* se calculó el índice gonadosomático (IGS) determinado con la ecuación: $IGS = Wg/Wt * 100$, donde Wg = peso de la gónada y Wt = peso del ejemplar (Rossendillum *et al.*, 1987). El índice hepatosomático (IHS) fue calculado con la ecuación $IHS = Wh / Wt \times 100$ donde: Wh = Peso del hígado y Wt = Peso del ejemplar (Rodríguez-Gutiérrez, 1992). El estado fisiológico o factor de condición (K) fue obtenido mediante la expresión $K = W/L^b \times 100$ propuesto por Ricker (1958) y Medina (1980). El volumen de la gónada fue calculado con la ecuación para el volumen de un elipsoide $Vg = 4/3\pi abc$ donde: a = ancho de la gónada en milímetros, b = alto de la gónada en milímetros y c = longitud de la gónada en milímetros (Rendón-Estrada, 2009). Para determinar la asociación entre el volumen de la gónada con el IGS, así como con el peso del pez, se realizaron análisis de regresión lineal. Los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%, empleando el paquete Statgraphics Centurion™ v16.

RESULTADOS

Características macroscópicas y microscópicas del testículo. Los testículos de *A. grunniens* son alargados y de color blanco. Se encuentran ubicados ventralmente a la vejiga gaseosa y dorsal a los intestinos en la cavidad abdominal, sujetos a la pared dorsal del cuerpo por el mesorquio. Están cubiertos de una capa de tejido conjuntivo fibroso vascularizado conocida comúnmente como túnica albugínea. Se extiende hacia el interior del testículo formando septos que separa los lóbulos entre sí, los cuales están rodeados por una membrana basal que divide al testículo en dos compartimentos: el compartimento intersticial (o interlobular) y el

compartimento germinal (o espermatogénico). El compartimento intersticial está conformado por las células de Leydig, vasos sanguíneos y tejido conectivo. El compartimento germinal está formado de células Sertoli y células germinales en diferentes estadios de desarrollo. *A. grunniens* estructuralmente presenta lóbulos tipo no restringido debido a que las espermatogonias se disponen a lo largo de la pared del lóbulo. Dentro de los lóbulos seminíferos ocurre la formación de los gametos masculinos a través de la espermatogénesis quística, y en la que la célula de Sertoli encierra a las células germinales formando un quiste y dentro del quiste las células se encuentran en el mismo estadio de desarrollo, por lo que durante la espermatogénesis podemos encontrar espermatocitos con diferentes estadios: espermatogonias, espermatocitos, espermátidas y espermatozoides (Fig. 2).

Etapas de desarrollo del epitelio germinal en testículos de A. grunniens. Durante el ciclo anual estudiado, los machos muestreados presentaron cinco etapas de desarrollo testicular (de acuerdo con Grier & Taylor, 1998): etapa I regresión avanzada (RA), etapa II madurez temprana (MT), etapa III madurez media (MM), etapa IV madurez avanzada (MA) y etapa V regresión temprana (RT). Los estadios de la espermatogénesis observados fueron: espermatogonias (Sg), espermatocitos (Sc), espermáticas (Sd) y espermatozoides (Sz). Las características de cada etapa se describen a continuación:

Etapa I: Regresión avanzada (RA). Esta etapa se presentó con mayor frecuencia durante el mes de agosto (Fig. 3). Los testículos son estrechos y filiformes de una coloración blanca, y rosácea en la periferia, ubicados debajo de la vejiga gaseosa, ocupando 1/2 de la cavidad celómica. Se caracterizan por ser más anchos hacia la región cefálica (Fig. 4; a). El tamaño del testículo en esta etapa varió entre 38.56mm-54.32mm ($47.61\text{mm} \pm 4.89\text{mm}$), con un peso de 0.32g-1.52g ($0.67\text{g} \pm 0.42\text{g}$), volumen promedio de la gónada de $167.66\text{mm}^3 \pm 166.08\text{mm}^3$

y un IGS promedio de 0.26 ± 0.17 , que corresponde a machos entre 26.23cm - 35.24cm ($29.66\text{cm} \pm 2.82\text{cm}$) de LT, con un peso total entre 199.12g - 349.82g ($256.74\text{g} \pm 56.81\text{g}$). A nivel microscópico, los testículos presentaron túnica albugínea delgada, se caracterizan por la presencia de epitelio germinal continuo en los lóbulos (Lb) formado principalmente con espermatogonias (Sg) acompañados de células de Sertoli. Se observó, la proliferación de estas células germinales desde parte proximal del lóbulo hasta la parte distal. Algunos espermatocitos (Cy) se observan escasamente distribuidos en la periferia de los lóbulos, siendo característica la presencia de espermatogonias en actividad mitótica. El lumen (L) de los lóbulos (Lb) frecuentemente se observó vacío o con espermatozoides remanentes. El tejido intersticial es abundante con grandes vasos sanguíneos próximos al conducto espermático; y hacia la región distal estos vasos son de menor tamaño (Fig. 4; b-e).

Etapa II: Madurez temprana (MT). En el mes de enero esta etapa presentó su mayor frecuencia (Fig. 3). Los testículos incrementan en tamaño en comparación con la etapa anterior. La región cefálica presentó mayor volumen. Los testículos son lisos de color blanco, ocupan cerca de $2/3$ de la cavidad celómica (Fig. 5, a). El tamaño del testículo en esta etapa varió entre 36.32 mm y 65.72 mm ($49.02\text{ mm} \pm 8.03\text{ mm}$), con un peso de 1.02g - 7.23g ($2.35\text{ g} \pm 1.75\text{ g}$), un volumen promedio de las gónadas de $393.44\text{mm}^3 \pm 342.38\text{ mm}^3$ y un IGS promedio de 0.64 ± 0.57 , que corresponden a machos entre 26.02cm-34.92cm ($30.38\text{cm} \pm 2.50\text{cm}$) de LT, con un peso total entre 179.81g - 395.01g ($286.53\text{g} \pm 70.78\text{g}$). Esta etapa, se caracteriza porque el epitelio germinal es continuo (EGC) desde la región proximal hasta la región distal del lóbulo, se incrementa el número de quistes lo que indica el desarrollo de la espermatogénesis. Durante esta etapa las células de Sertoli encierran a las espermatogonias formando un quiste (Cy). Dentro de cada quiste la espermatogénesis continua, ocurriendo la formación de quistes con células germinales en diferentes estadios de desarrollo;

espermaticos primarios (Sc), espermáticas (St), y espermatozoides (Sz) en el lumen de algunos lóbulos (Fig. 5, b-e).

Etapa III: Madurez media (MM). Esta etapa presentó su mayor frecuencia en el mes de marzo (Fig. 3). Los testículos han incrementado en tamaño en relación a la etapa anterior, son elongados y lisos, con el mismo patrón de coloración que en la etapa anterior, ocupan 2/3 parte de la cavidad celómica (Fig. 6, a). El tamaño del testículo en esta etapa varió entre 33.04mm - 72.30mm ($52.75\text{mm} \pm 10.23\text{mm}$), con un peso de 2.23g - 14.56g ($2.77\text{g} \pm 2.41\text{g}$) y un volumen de la gónada de $773.84\text{mm}^3 \pm 464.37\text{mm}^3$. El IGS promedio es de 0.86 ± 0.29 , correspondiendo a machos con una longitud total entre 25.23cm - 36.34cm ($32.34\text{cm} \pm 2.92\text{cm}$) y con un peso total entre 181.02g - 501.1g ($290.45\text{g} \pm 78.08\text{g}$). Esta etapa se caracteriza por la formación de espermatozoides y la transición del epitelio germinal continuo (EGC) al epitelio germinal discontinuo (EGD) en la región media del testículo, y la disminución sucesiva de quistes de espermaticos (Sc), con un incremento de quistes de espermáticas (St) y espermatozoides (Sz) en los lóbulos. La región distal presenta lóbulos con presencia de epitelio germinal continuo con el lumen lleno de espermatozoides (Sz) e intensa cantidad de espermatoquistes (Cy) en diferentes estadios de desarrollo; los lóbulos de la región proximal cerca de los conductos espermáticos se encuentran llenos de espermatozoides (Sz) y con escasos espermatoquistes (Cy) en estadios de desarrollo avanzado de la espermatogénesis. El epitelio germinal es discontinuo en esta región de los lóbulos (Fig. 6, b-e).

Etapa IV: Madurez avanzada (MA). La MA registró la mayor frecuencia en el mes de enero, abril, junio, octubre y noviembre (Fig. 3). Los testículos presentan mayor volumen hacia la región cefálica que hacia la región caudal, son de coloración blanca y cuando son expuestos a una simple presión expulsan abundante líquido seminal de consistencia lechosa (Fig. 7; a).

El tamaño del testículo en esta etapa varió entre 34.20mm - 67.96mm ($55.13\text{mm} \pm 9.10\text{mm}$), con un rango de peso de 2.45g - 5.32g ($3.12\text{g} \pm 0.97\text{g}$) y con un volumen promedio de la gónada de $1,178.66\text{mm}^3 \pm 564.91\text{mm}^3$. La MA presentó un IGS promedio de 1.02 ± 0.36 que corresponden a machos entre 26.24cm-35.25cm ($30.94\text{cm} \pm 2.43\text{cm}$) de LT, con un peso total promedio entre 182.51g-440.25g ($309.07\text{g} \pm 80.76\text{g}$). Esta etapa se caracterizó porque el epitelio germinal es discontinuo (EGD) y notándose en los lóbulos desde la parte proximal hasta la distal. En la región distal se observaron abundante espermatoquistes (Cy) y espermatozoides remanentes en etapas avanzadas de la espermatogénesis. Con la región de los conductos central del testículo llena de espermatozoides (Sz) (Fig. 7; b-e).

Etapa V: Regresión temprana (RT). Esta etapa fue frecuente en el mes de mayo (Fig. 3). Los testículos ocupan 1/3 de la cavidad celómica. Hacia la región caudal se observan flácidos y de menor volumen. Presentando el mismo patrón de coloración de la fase anterior (Fig. 8; a). El tamaño del testículo en esta etapa varió entre 36.64mm y 74.34mm ($53.15\text{mm} \pm 9.38\text{mm}$), con un peso promedio de 1.01g - 3.87g ($2.08\text{g} \pm 0.82\text{g}$) y un volumen de $799.55\text{mm}^3 \pm 468.42\text{mm}^3$. Durante esta etapa el IGS promedio fue de 0.74 ± 0.30 que corresponden a machos entre 27.23cm - 38.67cm ($30.33\text{cm} \pm 2.49\text{cm}$) de LT, con un peso total entre 156.2g - 585.46g ($285.31\text{g} \pm 93.16\text{g}$). La túnica albugínea es delgada en esta etapa (Fig. 8, b-e).

Variación mensual en IGS, IHS, K. El ciclo anual reproductor de machos presentó indicadores que hacen suponer que *A. grunniens* es una especie que produce espermatozoides todo el año. Se observó también que presenta gónadas en desarrollo, maduras y en eyaculación, así como diferentes estadios de madurez a lo largo de todo el año lo cual indica que los machos presentan eyaculaciones parciales de esperma. A nivel individual, esta tendencia es evidente observándose en la frecuencia mensual de machos maduros durante todo el año.

El IGS de los peces capturados muestra un patrón de mayor actividad reproductiva en el mes de abril donde presentó su valor máximo (Tabla 1). La caída de este indicador en el mes de mayo se debe a que existen machos en regresión avanzada y regresión temprana. El IHS para este mismo periodo presentó un patrón similar de fluctuaciones con picos en abril, agosto y octubre. Durante el mes de julio y septiembre no se capturaron ejemplares machos principalmente por el incremento en el nivel del río. Lo cual, hace suponer que la abundancia de los peces sea más dispersa en el río. El volumen mensual de las gónadas (Vol.g.) también presentó dos variaciones a lo largo del año que confirma este patrón reproductivo. Las fluctuaciones coinciden con el IGS e IHS, con caídas en el mes de mayo, generadas por la presencia de machos en regresión avanzada (Tabla 1). El factor de condición (K) fue relativamente constante durante el ciclo anual estudiado, donde los valores máximos fueron registrados en junio, agosto y diciembre.

Con respecto a las asociaciones entre indicadores reproductivos, el análisis de regresión lineal entre el volumen de la gónada y el IGS indican que existe una asociación estadística moderada entre estas variables ($p < 0.05$; $r = 0.61$), con un 37% de la variabilidad de los datos explicada por el modelo (r^2). El modelo generado para esta asociación es $\text{Vol.g.} = 125.0826 + 834.192 * \text{IGS}$. Mientras que el análisis de regresión para el peso de los peces y el volumen de la gónada indicó que existe una asociación débil ($r = 0.44$) y solamente el 19% de la variabilidad de los datos es explicado por el modelo (r^2). La ecuación derivada es $\text{Volg.} = -50.1831 + 2.8992 * \text{Wt}$.

Parámetros ambientales. La temperatura del agua presentó una variación entre 24°C durante el mes de diciembre y 29°C hacia el mes de mayo. La precipitación fluvial varió entre 1.5mm en el mes de marzo y 19mm durante el mes de noviembre. El nivel del río Usumacinta

presento el valor más bajo durante el mes de abril, con solo 12 metros sobre el nivel del mar (msnm) y alcanzando un valor máximo de 18.17msnm en el octubre (Tabla 1).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que los machos de *A. grunniens* producen y liberan espermatozoides durante todo el año, presentando un pico máximo de actividad reproductiva en el mes de abril, por lo que se le puede considerar un pez iteróparo. El análisis histológico de los testículos reveló la presencia de todas las etapas de desarrollo gonadal durante el ciclo anual, presentó células masculinas en diferentes estadios durante la espermatogénesis, indicando que la especie está en constante actividad gametogénica y reproductiva en ambientes dulceacuícolas. Esto corrobora la información obtenida de las hembras, de la que se concluye que son desovadoras parciales con producción de ovocitos maduros todo el año (Hernández-Gómez et al., en prensa). Grier y Uribe (2009), mencionan que los testículos de *A. grunniens*, microscópicamente presentan desarrollo de tipo lobular no restringido, evidenciando un desarrollo gonadal asincrónico y liberación parcial de espermatozoides debido a que en los lóbulos de los testículos hay presencia simultánea de espermatozoides y quistes en diferentes estadios de desarrollo --desde los espermatoцитos primarios hasta los espermatozoides-- liberando lotes de espermatozoides en diferentes lapsos de tiempo. Estos resultados coinciden con lo descrito en otras especies de esciénidos tales como: *Cynoscion nebulosus*, *Sciaenops ocellatus*, *Argyrosomus regius*; *Larimichthys polyactis*; y *Sciaena umbra* (Parenti & Grier, 2004; Grau et al., 2009; Lim et al., 2010; Gil et al., 2013; Prista et al., 2014).

En la clasificación de los estadios y etapas de desarrollo en gónadas de machos de la familia Sciaenidae existe mucha variabilidad (Nunez & Duponchelle, 2009). Sin embargo, las etapas

de *A. grunniens*, son afines a las descritas por Grier & Taylor (1998). La etapa de desarrollo epitelial III (madurez media) en machos pueden ser considerados para estimar y determinar la talla de primera madurez, como se señala en machos de *Argyrosomus regius* (Prista *et al.*, 2014). Las etapas de madurez sexual y estadios de la espermatogénesis, no se han validado con estudios previos para esta especie; esto posiblemente se debe, a que las gónadas masculinas han recibido poca atención para establecer la temporada reproductiva de una especie como señala Prista *et al.* (2014). Siendo las hembras, los organismos más estudiados. Durante este estudio, los machos sexualmente activos (estadio de madurez avanzada) presentaron sus máximas frecuencias en el mes de enero, abril, junio, octubre y noviembre, meses en los cuales se asocia el sonido que producen los machos en forma de ronquido con la finalidad de atraer a la hembra para reproducirse, tal y como lo señala Priegel (1967). Este comportamiento es semejante a los machos de *Umbrina roncadorensis* durante el mes de junio y que generalmente está asociado con el periodo de desove.

Los resultados histológicos de la presente investigación, detallan una estrategia reproductiva de peces que presentan liberaciones espermáticas múltiples (Brown-Peterson *et al.*, 1988; Muniz & Chaves 2008; Miller *et al.*, 2009; Gil *et al.*, 2013). Coincidiendo con lo presentado por Waggy *et al.* (2006) quienes señalan que en general los esciénidos tienen una estación reproductiva amplia y múltiples liberaciones de espermatozoides durante el año. Esta estrategia reproductiva también se ve reflejada en los valores obtenidos para IGS, IHS y Vg, pues estos indicadores muestran un patrón reproductivo amplio. Aunque el muestreo indica valores más altos del IGS en abril, con una caída significativa en mayo, los valores en general muestran relativamente poca variabilidad a lo largo del año. Registros similares del IGS en machos han sido registrados para *Argyrosomus regius* (Gil *et al.*, 2013), aunque difieren en magnitud y estacionalidad del pico reproductivo en especies de la misma familia como es el

caso de *Sciaena umbra* (Grau *et al.*, 2009), *Larimichthys polyactis* (Lim *et al.*, 2010), *Otolithes ruber* (Dadzie & Abou-Seedo, 2004), *Micropogonias furnieri* (Valdebenito *et al.*, 1995) y *Menticirrhus americanus* (Muniz & Chaves, 2008); mostrando la gran variabilidad de estrategias reproductivas entre los Sciaénidos.

Huss (1999) menciona que durante todo el año, un pez sexualmente maduro gasta energía en el fortalecimiento de sus gónadas (ovarios y testículo). Este desarrollo gonadal provoca el agotamiento de las reservas de proteínas y lípidos. Con el comienzo de la actividad reproductora, el individuo entra en una fase en la que una parte importante de los recursos disponibles debe ser asignada a la reproducción. El éxito reproductivo puede estar muy ligado a la cantidad y calidad de reservas alimenticias y por tanto a la capacidad del individuo de acumularlas durante los meses de alimentación (Wotton, 1990). Por lo tanto, es muy probable que en el río Usumacinta, *A. grunniens*, encuentra condiciones que le permiten a sus crías desarrollarse todo el año. Para el caso de nuestro estudio, estos ambientes pueden ser más viables durante la temporada de inundación, pues la información generada por las hembras indica que el máximo de actividad reproductiva se presenta en dicha temporada (Hernández-Gómez *et al.*, en prensa). La relación de las temporadas reproductivas ha sido discutida ampliamente por diversos autores, habiendo una asociación con las adaptaciones biológicas que están en estrecha sincronía con los cambios cíclicos ambientales de luz, temperatura y temporadas de lluvias. Estos, a su vez, generan patrones hormonales rítmicos que regulan eficazmente los procesos reproductores (Carrillo *et al.*, 2009).

El factor de condición (K) de los machos de *A. grunniens* presentó valores relativamente constantes. Este factor es un descriptor de gran interés en la biología de poblaciones de peces, ya que aporta información fundamental del estado nutricional y fisiológico de una especie. Según Cifuentes *et al.*, (2012), los máximos valores de K están asociados con el

aprovechamiento de áreas de inundación para la alimentación de crías y juveniles o probablemente con eventos de maduración gonadal. Los valores de K registrados en esta investigación fueron similar al reportado para *Larimichthys polyactis* (1.2-1.7) perteneciente a familia Sciaenidae, así como para *Sciaena umbra* (0.9-1.2) y *Argyrosomus regius* (0.9-1.0) (Grau *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2010; Gil *et al.*, 2013).

En relación de los parámetros ambientales como la temperatura, el nivel del río y la precipitación, sin duda juegan un papel importante en la reproducción de *A. grunniens*, debido a que el incremento de los parámetros coincide con el aumento del IGS y las frecuencias de machos reproductivamente activos. El periodo y la duración reproductiva de muchas especies de peces, entre ellos Sciaenidos, se asocia a la temperatura del agua; con periodo de desove largos, iniciando con el aumento de la temperatura y terminando cuando esta disminuye (Hutchings & Griffiths, 2010). Según, Valdebenito *et al.* (1995) la maduración y reproducción, son reguladas principalmente por los factores ambientales, por lo que aparentemente, el periodo de lluvias juega un papel, proporcionando mejores sitios para las larvas, así como abundancia de alimento para la progenie (Peña-Mendoza *et al.*, 2011).

La contribución de esta investigación sobre la reproducción de machos de *A. grunniens* a nivel microscópico, es el primero en realizarse en la cuenca media del río Usumacinta. El contar con la descripción detallada del ciclo reproductivo de hembras y machos permitirá establecer estrategias para implementar un plan de manejo y conservación de esta especie.

References

- Abou, S. N. M., El Rahman, S. H. A., Absawy, M. A. Al. & Asswm S. S. (2012). Reproductive biology of *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) inhabiting the south eastern Mediterranean Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* **38**, 147–156. doi: 10.1016/j.ejar.2012.12.002.

- Aguilar, M. M., Coutiño, B. B. & Salinas, P. R. (1996). *Manual general de técnicas histológicas y citoquímicas*, Mexico D.F.: Editorial Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Anzueto-Calvo, M. de J., Velázquez-Velázquez, E. & Gómez-González, A. E. (2016). Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote y presa Nezahualcóyotl (Malpaso) Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**, 972–979. doi:10.1016/j.rmb.2016.07.002.
- Braaten, P. J. & Guy, C. S. (2004). First-Year growth, condition, and size-selective winter mortality of freshwater drum in the lower Missouai river. *Transactions of the American Fisheries Society* **133**, 385–398. doi:0.1577/01-136.
- Brown-Peterson, N., Thomas, P. & Arnold C. R. (1988). Reproductive biology of the spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*, in South Texas. *Fishery Bulletin* **86**, 373–388.
- Bur, M. T. (1984). Growth, reproduction, mortality, distribution, and biomass of freshwater drum in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research*, **10**, 48–58. doi:10.1016/S0380-1330(84)71806-5.
- Carrillo, M. Zanuy, S. & Bayarri, M. J. (2009). El control ambiental de la reproducción de los peces con especial referencia al control del ciclo sexual, de la pubertad y de la precocidad En *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura Publicaciones* (Carrillo E., M. A., Muñoz C. J. A., Zanuy S., Carrillo M., Rocha, A. Molés G., Carrillo M., Zanuy S., Bayarri M. J., Piferrer F., Fernández-Palacios H., Izquierdo M.S., Cerdà J., Herráez P. M. Navas J. M, Cañavate J. P., Gracia L. V., Valdebenito I. I., eds), pp. 175-246. España: Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Chad T., Bonner, T. H., & Whiteside B. G. (2007). *Freshwater fishes of Texas: A Field Guide* 1ra edn. Texas A&M University Press.
- Chao, N. L. (2002). Sciaenidae, Croakers (drums). In *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists*. (Carpenter, K. E., ed.), pp. 1583–1653. Vol. 3, Special Publications. Rome: FAO.
- Chávez, L. M. O., Mattheeuws, A. E. & Pérez, M. H. V. (1989). *Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura*. 1ra. Edición INIREB, Xalapa, Veracruz, México.

- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P. & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile) *Gayana (Concepción)* **76**,101-110.
- Dadzie S. & Abou-Seedo F. (2004). Testicular structure and spawning cycle in the silvery croaker, *Otolithes ruber* (Perciformes: Sciaenidae) in the Kuwaiti waters of the Arabian Gulf. *Ichthyological Research* **51**, 263–268. doi:10.1007/s10228-004-0228-4
- Daiber F.C. (1953). Notes on the spawning population of the freshwater drum (*Aplodinotus grunniens* Rafinesque) in Western Lake Erie. *American Midland Naturalist*, **50**, 159-171. doi: 10.2307/2422161
- Davis-Foust S. L., Bruch, R. M., Campana S. E., Olynyk, R.P., & Janssen, J. (2009). Age validation of freshwater drum using bomb radiocarbon. *Transactions of the American Fisheries Society* **138**, 385–396. doi:10.1577/T08-097.1
- Deary, A.L., & Hilton, E.J. (2016). Influence of cladogenesis on feeding structures in drums (Teleostei: Sciaenidae). *Zoology*. **120**, 53-61. doi.org/10.1016/j.zool.2016.08.004
- Essner R.L. Jr, Patel R. & Reilly S.M. (2014). Ontogeny of Body Shape and Diet in Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens*). *Transactions of the Illinois State Academy of Science* **107**, 27–30.
- Gil, M. M., Grau, A., Basilone, G., Ferreri, R. & Palmer, M. (2013). Reproductive strategy and fecundity meagre *Argyrosomus regius* Asso, 1801 (Pisces:Sciaenidae); implications for restocking programs. *Scientia Marina* **77**, 105-118. doi: 10.3989/scimar.03688.28A
- Grau, A., Linde M. & Grau, A. M, (2009). Reproductive biology of the vulnerable species *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (Pisces: Sciaenidae), *Scientia Marina* **73**, 67-81.
- Grier H.J. & R.G. Taylor (1998). Testicular maturation and regression in the common snook. *Journal of Fish Biology* **53**, 521-542.
- Grier, H. J., & Aranzabal-Uribe, M. C. (2009). The testis and spermatogenesis in teleosts. In *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)*. Volume 8, Part A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny (Jamieson, B. G. M., ed.), pp 119-142. Science Publishers, Enfield, New Hampshire.
- Hernández-Gómez, R. E., Perera-García, M. A., Valenzuela, C. I., Duran, M. T. & Mendoza-Carranza, M. (2013). Embryonic development of *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) in Tenosique, Tabasco, Mexico. *International Journal Morphology* **31**, 633-639. doi: 10.4067/S0717-95022013000200047

- Hinton, D. H. (1990). Methods for fish biology, p. 191-211. In C.B. Schreck & M. Pete (eds.). Washington D.C., EEUU.
- Humason, G. L. (1979). Animal tissue techniques. 3th. edn. Freeman, WH y Co. Estados Unidos.
- Huss, H.H., 1999. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Documento Técnico de pesca 348. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, Roma, Italia.
- Hutchings, K. & Griffiths, M. H. (2010). Life-history strategies of *Umbrina robinsoni* (Sciaenidae) in warm-temperate and subtropical South African marine reserves. *African Journal of Marine Science* **32**, 37-53. doi: 10.2989/18142321003714252
- Jacquemin, S. J., & Pyron, M. (2013). Effects of allometry, sex, and river location on morphological variation of freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in the Wabash River, USA. *Copeia* **4**, 740-749. doi: 10.1643/CI-13-022
- Jacquemin, S. J., Payron, M., Allen M. & Etchison L. (2014). Wabash river freshwater drum *Aplodinotus grunniens* Diet: Effects of body size, sex, and river Gradient. *Journal of Fish and Wildlife Management* **5**, 133-140. doi: 10.3996/032013-JFWM-027R
- Lim, H. K., Le, M. H., An, C. M., Kim, S. Y., Park, M. S. & Chang, Y. J. (2010). Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in southern waters off Korea. *Fisheries Science* **76**, 971-980. doi: 10.1007/s12562-010-0288-5.
- Lo, P. C., Liu, S. H., Chao, N. L., Nunoo, F. K., Mok, H. K., & Chen, W. J. (2015). A multi-gene dataset reveals a tropical New World origin and Early Miocene diversification of croakers (Perciformes: Sciaenidae). *Molecular phylogenetics and evolution*, **88**, 132-143.
- Medina, M. (1980). *El factor de condición múltiple Km y su importancia en el manejo de las poblaciones de carpa de Israel (Cyprinus carpio specularis)*. Hembras en estado de madurez V. 1th edn. Manuales técnicos de Acuicultura, México: Departamento de pesca.
- Miller, E. F., Goldberg, S., Nunez, J., Burkes, N. & Kuratomi J. (2009). The reproductive biology of two common Surfzone associated Sciaenids, yellowfin croaker (*Umbrina roncadorensis*) and spotfin croaker (*Roncador stearnsii*), from Southern California. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences* **108**, 152-159. doi: 10.3160/0038-3872-108.3.152
- Muniz E. da R., & Chaves, P. de T. da C. (2008). Condição reprodutiva da betara preta, *Menticirrhus americanus* (Teleostei, Sciaenidae), na pesca realizada no litoral norte de

- Santan Catarina, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* **30**, 339-344. doi: 10.4025/actascibiolsci.v30i4.1230
- Nunez, J. & Duponchelle F. (2009). Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish Physiology Biochemistry*. **35**, 167-180. doi: 10.1007/s10695-008-9241-2.
- Palmer, E.E., Sorensen, P. W. & Adelman, I. R. (1995). A histological study of seasonal ovarian development in freshwater drum in the red Lakes, Minnesota. *Journal of Fish Biology* **47**:199-210. doi: 10.1111/j.1095-8649.1995.tb01889.
- Parenti, L. R. & Grier, H. J. (2004). Evolution and phylogeny of gonad morphology in bony Fishes. *Integrative and Comparative Biology* **44**, 333-348. doi: 10.1093/icb/44.5.333
- Patterson W. P. (1998). North American continental seasonality during the last millennium: high-resolution analysis of sagittal otoliths. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **138**, 271-303. doi:10.1016/S0031-0182(97)00137-5
- Peña-Mendoza, B., Gómez-Márquez, J. L. & García-Alberto G. (2011). Ciclo reproductor e histología de las gónadas de tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciforme: Cichlidae). *Ciencia Pesquera* **19**; 23-36.
- Priegel, G. R. (1967). The freshwater drum: its life history, ecology and management. Department of Natural Resources, Madison, WI.
- Prista N., Gordo L., Costa J.L., Costa M.J., & Jones C. (2014). Reproductive phase determination in male meagre (*Argyrosomus regius*, Sciaenidae): testis development and histologic corroboration of a gross anatomical scale. *Scientia Marina* **78**, 65-80. doi: 10.3989/scimar.03837.31A
- Richard J. C. & Rypel A.L. (2013). Water body type influences climate–growth relationships of freshwater drum *Transactions of the American Fisheries Society* **142**,1308–1320. doi:10.1080/00028487.2013.806350
- Ricker, W. E. (1958). Handbook of computations for biological statistic of fish population. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fisheries Research Board of Canada, Bulletin* **119**, 300.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. (1992). Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT, México, D.F., México.
- Rypel A.L. 2007. Sexual dimorphism in growth of freshwater drum. *Southeastern Naturalist* **6**, 333-342.

- Rypel A.L., Findlay R.H., Mitchell J.B., & Bayne D. R. (2007). Variations in PCB concentrations between genders of six warmwater fish species in Lake Logan Martin, Alabama, USA. *Chemosphere* **68**, 1707–1715. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.03.046
- Rypel, A. L., Bayne, D. R. & Mitchell, J. B. (2006). Growth of freshwater drum from lotic and lentic habitat in Alabama. *Transactions of the American Fisheries Society* **135**, 987-997. doi: 10.1577/T05-126.1
- Simon, T. P. & Wallus, R. (2006). Reproductive Biology and Early Life History of Fishes in the Ohio River Drainage: Aphredoderidae Through Cottidae, Moronidae, and Sciaenidae. CRC Press.
- Swedberg, D. V. (1965). Age and rate of growth of freshwater drum, Lewis and Clark Lake, Missouri River. *Proceedings of the South Dakota Academy of Science* **44**, 160-168.
- Valdebenito I., Peredo, S. F., Gonzalez, K. G. & Sobarzo C. A. (1995). Ciclo reproductivo anual del “Huaiquil o Roncador” (*Micropogonias furnieri* Desmarest, 1823 Sin. *Micropogonia manni* Moreno, 1970) (Pisces: Sciaenidae) of the Lake Budi. *Estudios Oceanológicos*. **14**, 29-37.
- Waggy, G.L., N.J. Brown-Peterson & M.S. Peterson (2006) Evaluation of the reproductive life history of the Sciaenidae in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea: “Greater” versus “Lesser” Strategies? 57th Gulf and Caribbean Fisheries Institute 263-282.
- Watanabe, K. H., Desimone, F. W., Thiyagarajah, A., Hartley, W. R. & Hindrichs, A. E. (2003). Fish tissue quality in the lower Mississippi River and health risks from fish consumption *The Science of the Total Environment* **302**, 109–126.
- Wismer, D. A., & Christie, A. E. (1987). Temperature relationships of Great Lakes fishes. Special publication Great Lakes fishery commiss.
- Wotton, R. J. (1990). Ecology of Teleost fishes. Chapman and Hall, Fish and fisheries Series, 1.
- Wurster C.M and W.P. Patterson (2001) Late holocene climate change for the Eastern interior United States: evidence from high-resolution $\delta^{18}\text{O}$ values of sagittal otoliths. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **170**: 81-100.

Electronic References

- Froese, R and D. Pauly. (Eds). (2016). *Fishbase*. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, (Last accessed 6/2016).

- Mancini, M. A. (2002). Introducción a la biología de los peces. Cursos Introducción a la Producción Animal y Producción Animal I, FAV UNRC. http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/07-introduccion_biologia_peces.pdf (Last accessed 9 October 2015).
- Rendón-Estrada, J. (2009). ¿Cómo calcular el volumen de una sandía? Reportado de <http://es.scribd.com/doc/15691466/como-calculer-el-volumen-de-una-sandia>.
- Sluss, A. & Harrel, S. (2006) *Aplodinotus grunniens*. Animal diversity. Available in: http://141.213.176.11/site/accounts/information/Aplodinotus_grunniens.html. (Last accessed 23 December 2016).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

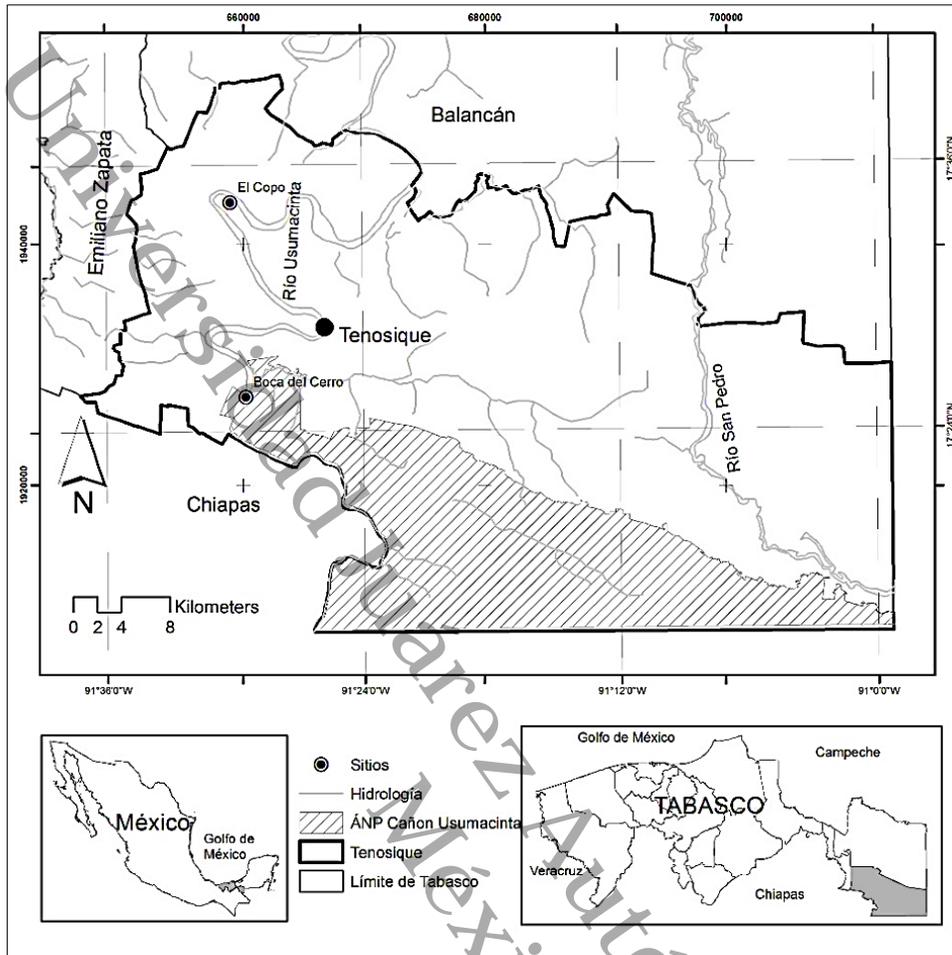


Fig. 1. Sitios de captura de organismos adultos de *A. grunniens* en el río Usumacinta, Tabasco, México.

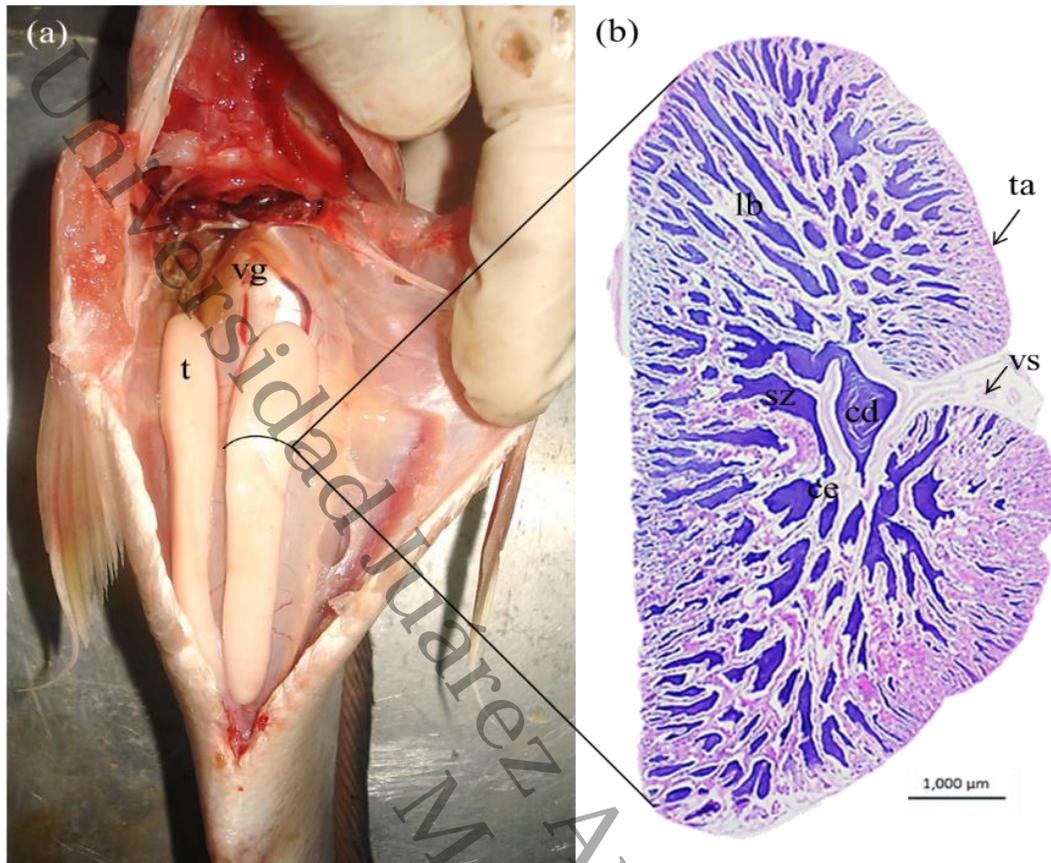


Fig. 2. Ubicación y características generales de los testículos de *A. grunniens*. (a) Apariencia macroscópica y posición anatómica de los testículos. (b) Vista microscópica de una sección transversal completa de un testículo durante el desarrollo del epitelio germinal en madurez avanzada. Testículo (t); Vejiga gaseosa (vg), Conducto eferente (cd); red de conducto eferente (Ce); Espermatocitos (sz), Túnica albugínea (ta), Vasos sanguíneos (vs), Lóbulos (lb). Teñido con hematoxilina-eosina.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

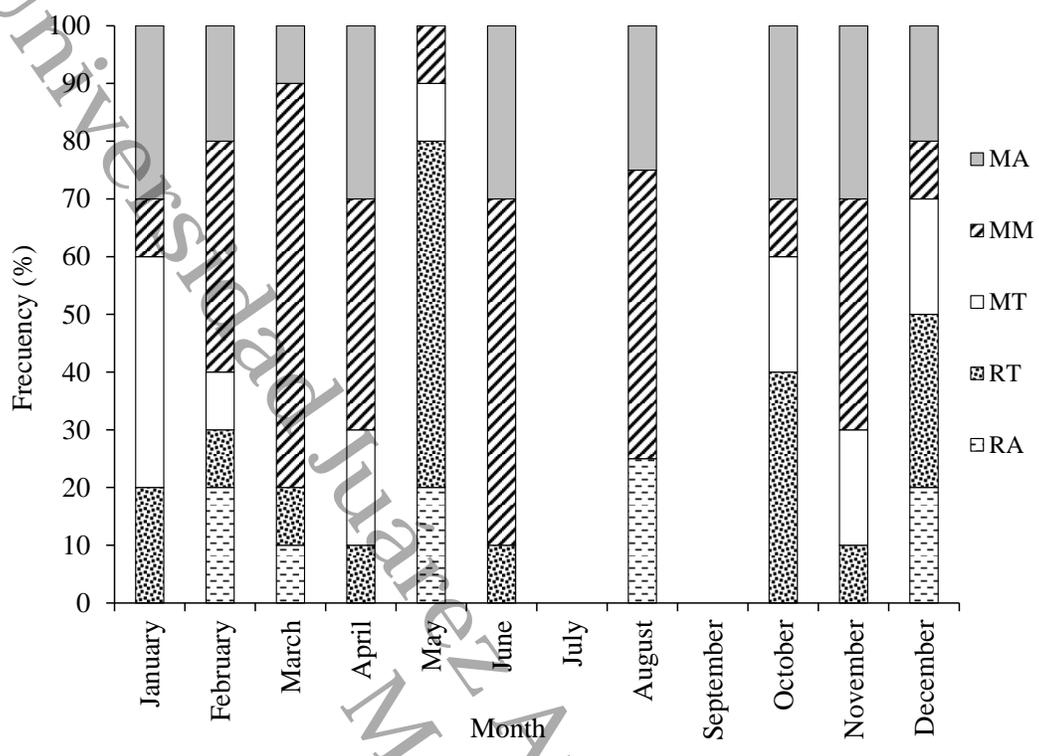


Fig. 3. Distribución de frecuencia mensual de las diferentes fases del ciclo reproductivo en machos *A. grunniens* capturados en la cuenca media del río Usumacinta. Epitelio germinal en madurez avanzada (MA); Epitelio germinal en madurez media (MM); Epitelio germinal en madures temprana (MT); Epitelio germinal en regresión temprana (RT) y Epitelio germinal en regresión avanzada (RA).

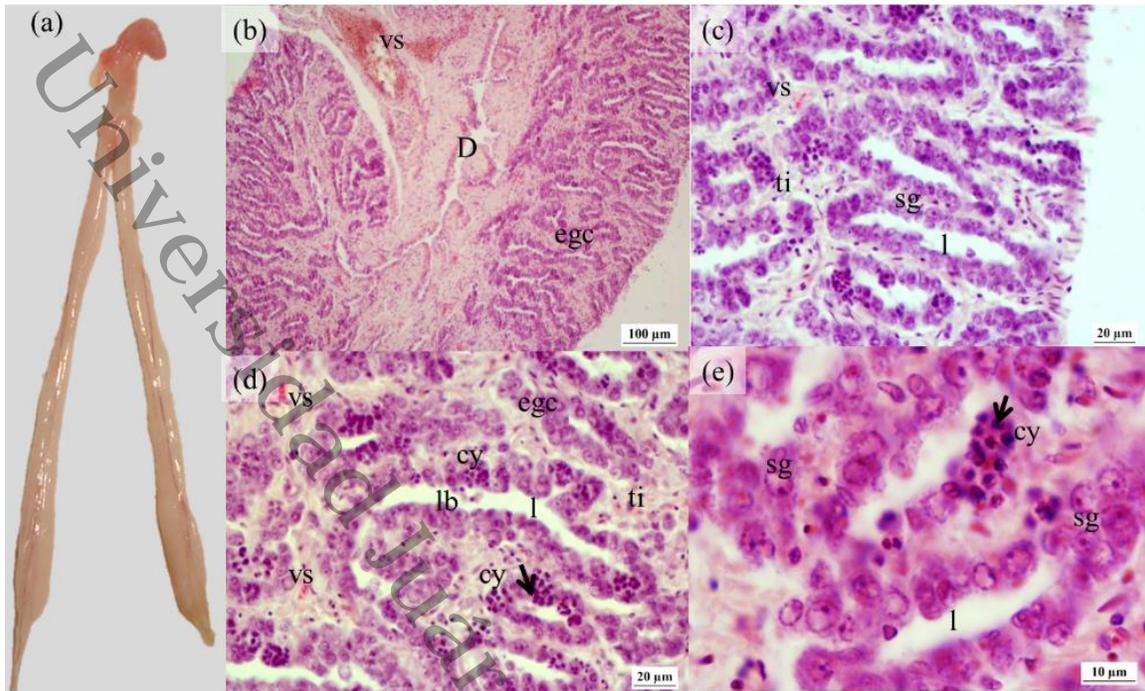


Fig. 4. Testículo de *A. grunniens* en etapa I regresión avanzada. (a) Apariencia macroscópica de color crema y aspecto lisos (b) Sección transversal del testículo mostrando el epitelio germinal continuo y abundante espermatogonias en la periferia de los lóbulos. (c) y (d) Vista ampliada del lumen de los lóbulos que se muestran vacíos desde la región proximal hacia región distal de los conductos espermáticos. (e) Vista ampliada mostrando a detalle de los lóbulos. Epitelio germinal continuo (egc), espermatogonias (sg), espermatocitos (cy), lumen (l), tejido intersticial (ti), vasos sanguíneos (vs), conductos espermáticos (D), Lóbulo (lb). Teñidos con hematoxilina-eosina.

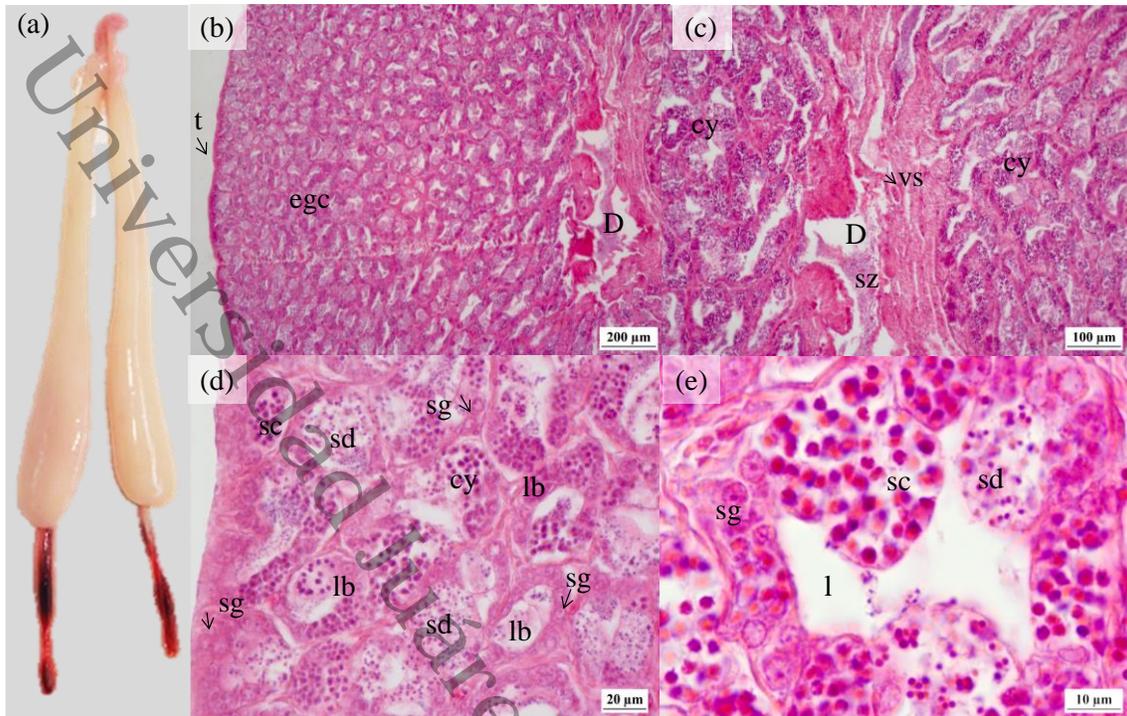


Fig. 5. Testículo de un macho de *A. grunniens* durante la etapa II madurez temprana. (a) Apariencia macroscópica de color blanco y apariencia lisa (b) Sección transversal del testículo mostrando epitelio germinal continuo (egc) y túnica albugínea delgada (T). (c) Vista ampliada de la región media del testículo mostrando el conducto espermático (D) con espermatozoides (sz), vasos sanguíneos (vs) pequeños, y proliferación de espermatocistes (cy). (d) Vista aumentada que detalla la apariencia de los lóbulos (lb) con epitelio germinal continuo, quistes de espermatocitos (sc), espermátidas (sd), y nidos de espermatogonias (sg). (e) Vista ampliada del lóbulo en desarrollo continuo, con nidos de espermatogonias en división (sg), quistes de espermatocitos (sc) y espermátidas (sd), y lumen (l). Teñidos con hematoxilina-eosina.

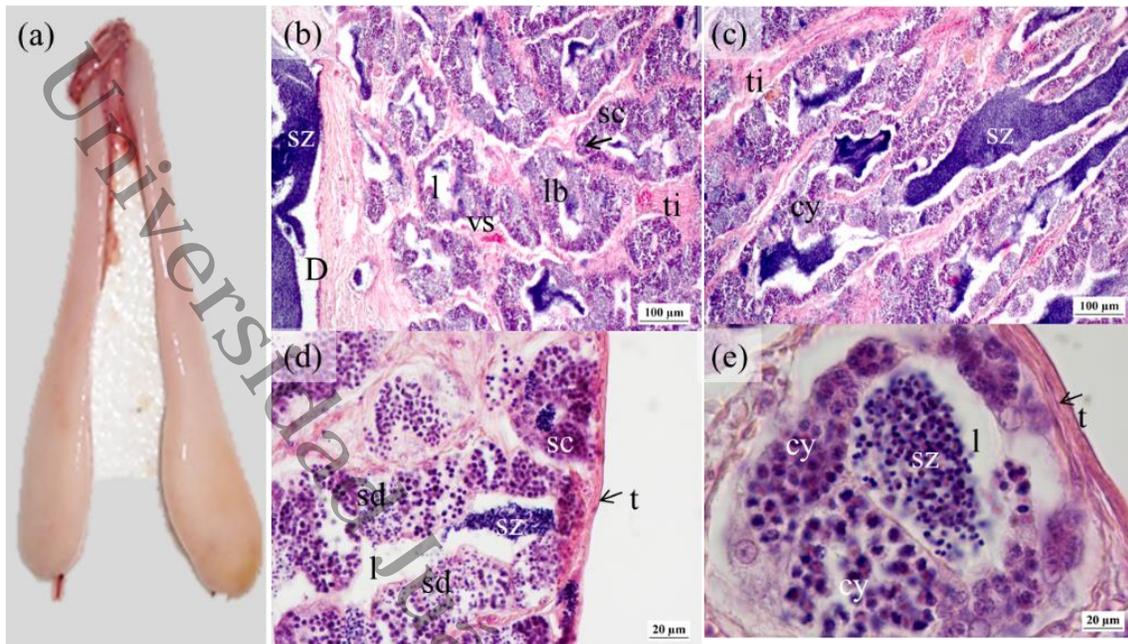


Fig. 5. Testículo de *A. grunniens* durante la etapa III desarrollo medio. (a) Apariencia macroscópica elongación incrementada, apariencia lisa y de color blanco. (b) Sección trasversal mostrando la región proximal al conducto espermático (D) con espermatozoide maduro (sz), lóbulos (lb) con epitelio germinal discontinuo. Tejido intersticial engrosado (ti) y vasos sanguíneos (vs). (c) Vista aumentada mostrando los lóbulos con epitelio germinal con abundantes espermatoquistes (cy) y con espermatozoides (sz) en el lumen. (d) sección trasversal mostrando la región distal, donde se observa la túnica albugínea delgada y lobos con epitelio germinal continuo mostrando quistes de espermátidas (sd), espermaticitos (sc) y el lumen (l). (e) Vista amplificada de un lóbulo con epitelio germinal continuo, mostrando espermatoquistes en diferentes etapas de desarrollo (cy), y lumen comenzando a llenarse de espermatozoides (sz) próximo a la túnica (t). Tenidos con hematoxilina-eosina.

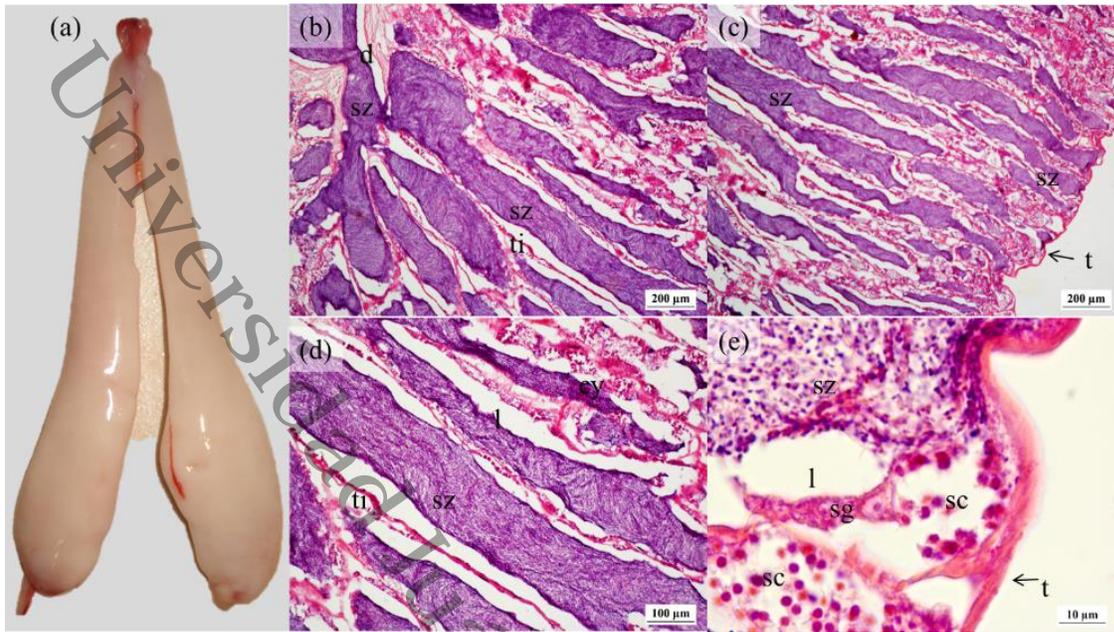


Fig. 6. Testículo de *A. grunniens* durante la etapa IV madurez avanzada. (a) Apariencia macroscópica de coloración blanca, y aumentado en tamaño. (b) Sección trasversal del testículo mostrando la región próxima al conducto (d) espermático con abundante espermatozoides (sz), mostrando tejido intersticial delgado (ti). (c) Sección trasversal del testículo mostrando región distal al conducto espermático con epitelio germinal discontinuo y lóbulos llenos de espermatozoides (sz) y túnica albugínea delgada (t). (d) Vista ampliificada mostrando los lóbulos con el epitelio germinal discontinuo a lo largo de estos, donde se aprecian llenos de espermatozoides (sz), escasos espermatoquistes (cy) y el tejido intersticial es delgado (ti). (e) Vista aumentada de la región distal con epitelio germinal discontinuo; donde se aprecia la túnica albugínea que es delgada (t) y en los lóbulos se observan espermatogonias (sg), espermatocitos (sc) proliferando cerca del lumen (l). Teñidos con hematoxilina-eosina.

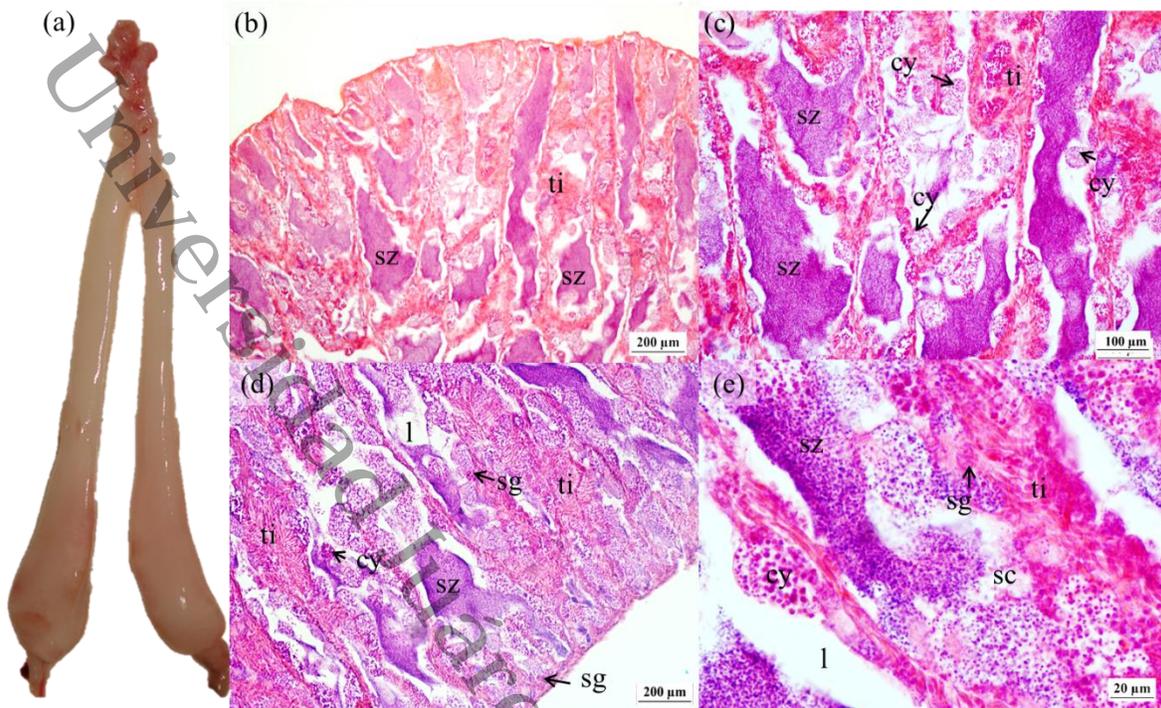


Fig. 7. Testículo de *A. grunniens* durante la etapa V regresión temprana. (a) Aspecto macroscópico de menor volumen y apariencia flácida. (b) Sección trasversal mostrando la región distal del testículo donde se observa el arreglo una disminución de espermatozoides (sz) hacia la región media y proximal y tejido intersticial engrosado (ti). (c) Vista ampliada mostrando la región media con escasos espermatoquistes (cy), espermatozoides remanentes (sz) en los lóbulos, así como tejido intersticial engrosado (ti). (d) Sección transversal de la región distal mostrando lóbulos con espermatozoides remanentes (sz), escasos espermatoquistes (cy), tejido intersticial engrosado (ti) y proliferación de espermatogonias (sg). (e) Vista ampliada mostrando el tejido intersticial abundante (ti) con aspecto hemorrágico, espermatoquistes aislados (cy), nidos de espermatogonias (sg) hacia la región proximal. Se aprecian lóbulos irregulares en su forma y con fluido espermático remanente. Teñidos con hematoxilina-eosina.

TABLE I. Valores promedio mensual del nivel del río, precipitación pluvial y temperatura registrada en el sitio de estudio. Los datos del nivel del río y precipitación fueron obtenidos de la CONAGUA de la estación meteorológica número 30019; msnm=metros sobre el nivel del mar.

Month	River level* (masl)	Rain fall* (mm)	Temperature °C
January	15.12	5.3	25
February	13.75	3.6	26
March	12.43	1.5	24
April	12.00	4	27
May	12.77	5.9	29
June	17.31	10.7	27
July	16.90	5.7	27
August	16.69	8.5	27
September	18.01	11.2	26
October	18.17	15	25
November	14.73	19	26
December	13.53	14	24

CAPITULO V

**EDAD Y CRECIMIENTO DEL TOPUCHE *Aplodinotus grunniens* (Rafinesque, 1819)
EN CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO**

**EDAD Y CRECIMIENTO DEL TOPUCHE *Aplodinotus grunniens* (Rafinesque, 1819)
EN CUENCA MEDIA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO**

Resumen

La edad y crecimiento del topuche *Aplodinotus grunniens* fue determinada en 447 especímenes recolectados mensualmente de la pesca comercial en la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México durante enero-diciembre de 2013. La edad fue determinada por lectura de bandas de crecimiento en otolitos seccionados. La edad fue estimada fue de un mínima estimada fue de dos y un máximo de ocho años. Para ambos sexos los individuos de 3 y 2 años de edad fueron los más frecuentes (38.93% y 37.16%; respectivamente). Las constantes de crecimiento de von Bertalanffy fueron calculadas por sexos separados usando ajustes lineares y el método no lineal de Levenberg-Marquardt. La ecuación de crecimiento para ambos sexo fue $LT_{\infty} = 41.15(1 - e^{-0.2824(t-2.0779)})$, para las hembras de $LT_{\infty} = 42.45(1 - e^{-0.3575(t-1.1341)})$, y machos de $LT_{\infty} = 34.01(1 - e^{-0.4918(t-1.4457)})$. La prueba T^2 de Hotelling's demostró que el crecimiento fue significativamente más rápido en hembras que en machos. La edad de primera madurez estimada en machos fue a los 2 años y de 3 años para las hembras.

Palabras clave: Edad, crecimiento, topuche, Sciaenidae, Usumacinta.

INTRODUCCION

Los esciéndidos son principalmente peces marinos costeros, algunos como el topuche *A. grunniens* limitan su distribución en ambientes dulceacuícolas de los ríos de Norte y Centroamérica (Chao, 2002). Los otolitos en estos peces se encuentran en las cápsulas óticas en el lado ventral del cráneo y siempre tienen un gran par de otolitos *sagitales*. La superficie interior del otolito sagital es lisa y lleva una impresión en forma parecida a una cabeza de renacuajo en la superficie del surco, profundamente ranurada y a menudo una cola en forma de gancho. La forma general y el grosor del otolito sagital son característicos para cada género, y la configuración de la impresión de renacuajo a menudo proporciona una identificación específica de la especie (Chao, 2002). Los otolitos son una de las herramientas más confiables para determinar la edad de un pez. La edad se utiliza para establecer las tasas de crecimiento de una especie de pez y las composiciones de edades de una determinada población. También son una herramienta poderosa en la administración pesquera (Rodríguez, 2006). Estudios de edad y crecimiento en *A. grunniens* en el río Mississippi y del lago Erie, fueron determinados a través de las escamas (Butler and Smith, 1950; Bur, 1984). El uso de otolitos en la especie se ha utilizado para calcular el peso y la longitud en ejemplares de del río Mississippi de Hannibal, Missouri (Witt, 1960). También fue determinada la edad, dinámica de crecimiento y el dimorfismo sexual en ríos y reservorios de Alabama; y en los lagos Winnipeg y Manitoba (Rypel et al., 2006; Hardisty, 2007; Rypel, 2007). En México, el topuche tiene importancia comercial principalmente en la presa Venustiano Carranza en el Estado de Coahuila (SAGARPA, 2005; SAGARPA, 2014). En la presa Falcón y presa Ramiro Caballero, en el estado de Tamaulipas, así como en la presa de El cuchillo-solidaridad, laguna Salinillas, presa José López Portillo, la presa José S. Noriega de Nuevo León (SAGARPA, 2014); y en la presa de Mal pasó en Chiapas (Rivera et al., 2015) y en río

Usumacinta en Tabasco (SAGARPA,2004). Sin embargo, los estudios acerca de biología y ecología son escasos, entre los que se pueden mencionar están: el estudio de parásitos de la especie Laguna de Salinillas, Anáhuac, Nuevo León (Escobar, 1997). Estudios enfocados al desarrollo embrionario y de larvas; y más recientemente sobre la biología reproductiva en la cuenca media del río Usumacinta (Hernández-Gómez et al., 013; Hernández-Gómez et al., 2017). En el estado de Tabasco, *A. grunniens* además de representar un recurso económico y alimentario para la pesquería rural, desempeña un papel ecológico como posible controlador biológico de algunos moluscos (French, 1995). Basado en la importancia de la esta especie, el objetivo de este estudio fue aportar información básica biológica sobre el crecimiento y composición de la edad por medio de otolitos en ejemplares provenientes de la pesca artesanal del estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La cuenca del Usumacinta es una red hidrológica importante por estar en una de las regiones con más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica y por poseer un relieve complejo, sobre todo en las partes altas y medias. La Cuenca del Usumacinta tiene un área de 106 000 km² en el estado de Tabasco y la parte noreste del estado de Chiapas, en México (March & Castro, 2010). El área de la pesquería comercial fue desde el Cañón del río Usumacinta “Boca del Cerro” (17° 25’33” N y 91° 29’29” W) hasta el Copo (17°57’16” N y 91°50’23’’ W) (Fig. 1).

Colección de muestras: Los ejemplares fueron capturados de enero a diciembre 2013, con redes tipo chichorro de 2 x 2cm de abertura de luz de malla, de 80m longitud y 3m de ancho, durante los meses estiaje y, al anzuelo con carnada de camarón *Procambarus llamas* durante los meses de incremento del nivel del río, con el apoyo de pescadores de la zona. Se registró

la longitud total (LT) y el peso total (PT) de cada ejemplar con un ictímetro de 100cm y una balanza digital de 0.40 a 20kg. A cada pez le fue asignado un número de espécimen.

Datos de temperatura

Los datos climáticos temperatura del agua fueron obtenidos de la Comisión Nacional del Agua en Tabasco, México (CNA, 2013).

Extracción y procesamiento de otolitos: El par de otolitos sagitales fueron extraídos de la cavidad semicircular del oído interno en cada ejemplar a través del istmo retirando branquias y entrar en el cráneo por el techo de la cavidad oral. Cada otolito se enjuagó en agua, se secaron y fueron guardados en sobres debidamente etiquetados.

Para iniciar el proceso de corte, el núcleo de cada otolito derecho fue marcado con un lápiz (Hardisty, 2007). Con la finalidad de resaltar mejor las bandas de crecimiento, cada otolito fue tostado en una parrilla eléctrica hasta que se tornaran de color marrón, posteriormente se incluyeron en 4.0 ml de resina sintética dentro de un cilindro de plástico de aproximadamente 3.0 cm de diámetro x 4.5 cm de alto y fueron etiquetados según el número de cada ejemplar. Cuando los bloques estuvieron solidificados se procedió a realizar tres cortes transversales de 7 μ m de cada otolito, uno a la izquierda del núcleo, uno conservando el núcleo (corte central) y otro a derecha del núcleo. Para los cortes fue empleada una cortadora petrográfica de baja velocidad Buehler® IsoMet® 1000 con una navaja de diamante. Las secciones fueron fijadas en porta objetos con el medio de montaje Cytoseal 60. Los cortes fueron pulidos con lijas con calibre 2000 y 2500 para observar al microscopio de disección con luz transmitida. Debido a que los cortes de los otolitos no mostraron a detalle las zonas de crecimiento, fue necesario tostarlos nuevamente, para lo cual, se utilizó un microonda de alta potencia Panasonic® donde se colocaron los cortes montados en portaobjetos, este procedimiento duró

entre una y dos horas con pausas intermedias que permitieron monitorear el progreso del tostado. A cada corte se le aplicó dos gotas de Eugenol líquido puro para aclarar y poder determinar mejor las bandas opacas y translucidas que indican el crecimiento anual. Los cortes fueron fotografiadas con una cámara Moticam 2300 3.0M Pixel adaptada al microscopio de disección u óptico.

Determinación de la edad: Fueron asignados tres lectores para determinar los anillos anuales de crecimiento a través de fotografías digitalizadas, el primer lector detectó y contó cada zona opaca como un anillo de crecimiento, la edad asignada fue replicada y verificada por un segundo lector independiente. El tercer lector independiente estableció cualquier discrepancia en las estimaciones de la edad entre los lectores 1 y 2 (Rypel et al., 2006).

Edad de madurez: La edad promedio de madurez sexual, definida como la edad a la que el 50% de los peces están sexualmente maduros (E_{50}), y en la que todos los individuos están aptos para participar activamente en el proceso reproductivo (E_{100}), fue obtenida a partir de frecuencias relativas acumuladas de individuos ajustada mediante el método de la ecuación logística de King (2007) modificada para edad es: $T=1/(1 + \exp^{-r(E-E_m)})$ donde: r = pendiente de la curva y E_m = Edad media máxima a la cual corresponde 0.5 (50%) de proporción.

Análisis de datos: Se registraron el peso total (PT) en g, longitud total (LT) en cm y edad (año) en una base de datos electrónica. Se realizaron regresiones para determinar la relación la LT y PT de los ejemplares con la ecuación $PT=aLT^b$ donde: PT es el peso somático, a es el intercepto (coeficiente de crecimiento inicial o factor de condición), LT es la longitud total, y b es la pendiente (coeficiente de crecimiento o crecimiento alométrico) (Riker, 1973). Un análisis de covarianza (ANCOVA) fue aplicado para determinar diferencias entre las pendientes, teniendo como covariable la LT (Sokal & Rohlf, 1996; Zar, 1999). Se registraron

las frecuencias de edades de los ejemplares acordes a las lecturas establecidas por los lectores para cada otolito.

Se elaboró el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (1957) con respecto a la longitud. El modelo fue descrito por la ecuación: $L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$, donde: L_t = promedio de la longitud total de la edad t ; L_∞ = longitud total asintótica; t_0 = longitud hipotética a la edad cero; k es el coeficiente de crecimiento; y b es la pendiente de la longitud. Los parámetros de crecimiento fueron estimados para sexos combinados usando el método linear de Ford-Walford's (Walford, 1946) y fueron linearizados por la función de crecimiento de von Bertalanffy; esta primera estimación fue usada como semilla para estimar los parámetros de crecimiento final por medio de una regresión no-linear usando el método de algoritmos de Levenberg-Marquardt's (Saila et al., 1988; Sparre & Venema 1997; Rico et al., 2001). La prueba de T2 de Hotelling's fue usada para comparar las curvas de crecimiento entre machos y hembras; esta prueba asume que los estimados L_∞ , k y t_0 de la combinación de sexo fueron obtenida de una distribución normal (Bernard, 1981).

Para evaluar la formación de las borde de crecimiento anual, se registró la frecuencia mensual del borde o margen traslucido de cada otolito seccionado. La proporción mensualmente de los márgenes traslucidos (TD) – opacos (OP) fueron comparados usando una prueba de Chi-cuadrada (X^2), (Zar, 1999).

RESULTADOS

Se analizó un total de 447 organismos de *Aplodinotus grunniens*, de los cuales 240 fueron machos y 207 hembras. La longitud total (LT) mínima y máxima 25.03 y 42.00 cm, respectivamente, con un promedio de 30.94 ± 3.36 cm. El peso total (PT) mínimo fue 132.00 g y máximo de 1,094.40 g, con un promedio de 336.00 ± 161.83 g. El análisis de la relación

entre LT-PT entre hembras y machos indicó que existen diferencias significativas (ANCOVA, $F=6.3251$; $p=0.01$), debido a que las hembras alcanzan tallas más grandes que los machos y las curvas linearizadas indicó una relación más ajustada en la hembras. La ecuación general de la relación LT-PT en las hembras fue $PT=0.0007(LT)^{3.7974}$ ($r^2=0.90$) y para machos de $PT=0.0180(LT)^{2.8812}$ ($r^2 = 0.71$) (Tabla 1).

La población estudiada estuvo constituida por siete grupos de edad que fue de 2 a 8 años (Fig. 4). Para ambos sexos la edad 2 y 3 fueron las de mayor frecuencia (37.16% y 38.93%; respectivamente). Es importante mencionar que no se obtuvieron ejemplares pertenecientes al grupo de edad 0 y 1, por no encontrarse en las muestras provenientes de las capturas comerciales (Fig. 2).

En todas las edades fueron registrados machos y hembras, solamente en la edad 6 no se registró machos (Tabla 2). El promedio de índice de error entre los tres lectores fue 7.86% con un coeficiente de variación de 8.34%.

La prueba *Chi-cuadrada* no indicó diferencias en la proporción mensual de los márgenes de crecimiento en los otolitos ($X^2=6.87$; $df = 9$; $p>0.05$). Al asociar la temperatura superficial del agua con la formación marginal de las bandas en los otolitos de *A. grunniens*, no se pudo observar un patrón estacional de crecimiento anual. Sin embargo, se observó que los márgenes traslucidos fueron formados en temperaturas altas, entre los meses abril a junio (temperatura promedio= 27.66 ± 1.15 °C) con una proporción mayor de 0.50 (Fig. 3).

Los márgenes de los otolitos para los meses de julio y octubre no fueron considerados, debido a que los organismos analizados fueron escasos ($n=1$ y $n=2$; respectivamente) y representó una variabilidad en las lecturas que podrían producir una asociación errónea de los datos (Fig. 3). Así mismo se observó que los márgenes opacos fueron formados con mayor

proporción a temperaturas bajas, durante los meses de enero ($25.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$), marzo ($24.3^\circ \pm 1.3\text{C}$) y noviembre ($26.4 \pm 1.6^\circ\text{C}$).

Los parámetros de crecimiento von Bertalanffy estimados fue para ambos sexos fue $LT_\infty = 41.15(1 - e^{0.2824(t-2.0779)})$, para las hembras fue $LT_\infty = 42.45(1 - e^{0.3575(t-1.1341)})$, y en machos fue $LT_\infty = 34.01(1 - e^{0.4918(t-1.4457)})$ (Fig. 5). Se encontró diferencia significativa en los parámetros de crecimiento entre machos y hembras, ($T^2_{\text{obs}}=23861.40 > T^2= 11.52$, $p < 0.001$).

Las edades en las cual, machos y hembras de *A. grunniens* alcanzan la primera madurez sexual (E_{50}) fue de 2 y 3 años, respectivamente; y en que todos están sexualmente maduros (E_{100}) fue de 5 y 6 años, respectivamente (Fig. 6).

DISCUSIÓN

En la cuenca media del río Usumacinta, la relación de la longitud total (LT) y el peso total (PT) de *Aplodinotus grunniens* entre ambos sexos mostró diferencias significativas, observándose que las hembras son más grandes que los machos. Esta característica es considerada una estrategia reproductiva en peces, debido a que hembras más grandes producen mayor cantidad de ovocitos, así como reservas energética en forma de grasa para la producción y formación de las células foliculares. Estas relaciones son semejantes a las que reportaron para la especie en el río Wabash, donde los ejemplares muestra diferente patrón de crecimiento (Jacquemin et al., 2015). Así mismo, éstas difieren de las registradas para ejemplares del lago Erie (Bur, 1984). La relación LT-PT en *A. grunniens* difiere en otras especies de la familia Sciaenidae de hábitats marino, como *Micropogonias furnieri*, *Sciaena umbra* y *Argyrosomus japonicus* (Griffiths & Hecht, 1995; La Mesa et al., 2008; Borthagaray et al., 2011).

El análisis de los anillos de crecimiento en otolitos del topuche, permitió determinar que la población está compuesta de 7 grupos de edad. Lo cual, permite establecer que la población

estudiada la integraron peces jóvenes comparadas con las poblaciones del río Wabash y algunos cuerpos de agua de Alabama donde se reportó edades alrededor de 22 y 32 años, respectivamente (Jacquemin et al., 2015). Pero que son similares a los grupos de edades registrados en poblaciones del río Tensaw, río Missouri y lago Claiborneque (Rypel et al., 2006; Rypel, 2007; Shields & Beckman, 2015). Esta variabilidad sobre la edad podría estar influenciada por el tipo de hábitat, medioambiente, depredación, tipo de alimentación, disposición de alimento y actividad pesquera en la zona (tallas permitidas de captura).

En el presente estudio la edad de 2 con una promedio de 28.22 ± 0.58 cm de LT y la edad 3 con una promedio de 31.34 ± 1.87 cm de LT, fueron los grupos de edades con mayor frecuencia. Las cuales, fueron afines a las señaladas en la población de la especie del río Missouri (Shields & Beckman, 2015). Sin embargo, estas edades fueron diferente a la frecuencias registrada para poblaciones de Louisiana con ejemplares menores de 4 años (8.67%) (Kormanec, 2015). También difiere de la proporción de la poblaciones de peces de Alabama para la edad 3 (14.00%). Por lo tanto, se sugiere que algunos individuos jóvenes en la cuenca del río Usumacinta participan activamente en la reproducción y por lo tanto, entran en el reclutamiento de peces jóvenes, al ingresar en el área de explotación pesquera, durante los meses de mayor actividad reproductiva de enero-junio y de octubre-diciembre (Hernández-Gómez et al., 2017).

La edad 0 y 1, no fueron registradas en la presente investigación debido por el tipo de arte de pesca utilizado o por la dependencia de las muestras de pesquería en la zona. Pero, se sugiere que los peces jóvenes menores al año de edad, se mantienen en zonas de alimentación y refugio cercanas a la costa. Esta situación se debe a que los huevos de esta especie son pelágicos por lo que son transportados por la corriente del río Usumacinta hacia zonas de crecimiento. En Alabama, E.U.A, en una investigación realizada en peces con edades

menores de un año en *A. grunniens*, indican que esta especie es más pequeña y más joven cuando se capturan por las noches, que en aquellos capturados durante el día; siendo la edad-0 la más abundante (Rypel & Mitchell, 2007). Por otra lado, se considera que la interacción dinámica entre la disponibilidad de alimentos y la depredación en los peces juveniles probablemente impulsa los cambios de hábitat de la especie, y el uso nocturno de los hábitats costeros donde los juvenil (0-1 años) fueron frecuentes (Rypel & Mitchell, 2007). Por lo tanto, es de suponerse que *A. grunniens* (0 a 1 año) en la cuenca media del río Usumacinta, permanece en zonas cercanas a la costa donde existe mayor disponibilidad y abundancia alimento; y refugio, donde completa su ciclo de vida.

En la presente investigación no se registró un patrón estacional de crecimiento en entre los márgenes o incrementos anuales de los otolitos por mes, pero mostraron valores mínimos durante los meses de junio-noviembre, lo cual podrían estar relacionados con la actividad metabólica producida por desarrollo gonadal y al consumo de energía por el desove, debido a que los márgenes anuales coinciden con la época de mayor actividad reproductiva de la especie, por lo que se sugiere que energía en estos peces durante esos meses podrían estar disponible para el crecimiento somático, almacenamiento y maduración de las gónadas. También, es de considerarse que la fase reproductiva en esta especie tiende a ser prolongada en el río Usumacinta (Hernández-Gómez et al., 2017). Por otra parte, en la presente investigación la causa de formación de los anillos tienen cierta relación biológica con la temperatura, por estar relacionado con las tasas de todos los procesos biológicos, acelerando la velocidad de las reacciones bioquímicas en la medida que la temperatura aumenta, o retardándolas si la temperatura disminuye (Tarifeño, 2004). Por lo tanto, el efecto neto del cambio de la temperatura ambiental sobre la fisiología de *A. grunniens* depende de la

divergencia de la temperatura, del rango y velocidad en la cual el cambio ocurre (Tarifeño, 2004).

De acuerdo con la función crecimiento de vB en el presente estudio las hembras fueron significativamente más grandes y presentaron tasas de crecimiento relativamente más bajas en comparación con los machos. En ambos sexo, la curva de crecimiento tienen una pendiente relativamente constante con valor bajo de k, por lo que *A. grunniens* en el río Usumacinta tiende a tardar en alcanzar el límite asintótico. El crecimiento de la especie en el río Usumacinta difiere a los registrado en el río Alabama y Lago Erie, para las hembras (L_{∞} = 52.03cm) pero se asemejan al crecimiento de los machos (L_{∞} = 38.53cm) (Bur, 1984; Rypel, 2007). Así mismo, esta diferencia se presenta en el crecimiento de la especie capturados en reservorios lenticos y loticos de Alabama (L_{∞} = 61.56cm, y L_{∞} = 45.48cm, respectivamente) (Rypel *et al.*, 2006). Con especies marinas de la misma familia Sciaenidae; *A. grunniens* difiere con el crecimiento de *Argyrosomus inodorus* y *Otolithes ruber* (Griffiths, 1996; Brash & Fennessy, 2005).

La L_{∞} de *A. grunniens* en la presente investigación, concuerdan con los obtenidos en los ríos de Alabama y Mississippi, donde los machos presentaron una L_{∞} de 35.2cm. Pero difieren a la longitud de las hembras (L_{∞} =39.5cm y L_{∞} =60.3cm, respectivamente) (Richard & Rypel, 2013). También, presentaron similitudes, con organismos analizados en el río Wabash (hembras: L_{∞} =41.3±2.66cm; machos: L_{∞} = 35.6±2.11cm) (Jacquemin *et al.*, 2015). Por lo tanto, podemos considerar que *A. grunniens* presenta un crecimiento que responde a las condiciones de variación espacial y temporal del hábitat, que pueden ser inconsistentes como se señala para este misma especie en el río Illinois (Smith *et al.*, 2007).

El análisis para estimar la edad de primera madurez sexual, en *A. grunniens* en machos fue a los 2 años y en hembras a los 3 años. La edad en la cual todos están sexualmente maduros

de 5 y 6 años, respectivamente. Siendo, estos registros similares a lo reportado para ambos sexos en el río Erie, así como en el río Mississippi, pero que difiere con la edad de madurez para hembras. También, difieren de los ejemplares capturados en el lago Winnebago que generalmente maduran entre 3-4 años en machos y de 4-5 años en hembras (Becker, 1983; Bur, 1984.). Asimismo, hay diferencias con el registro de edades 4 a 6 años en machos y hembras con un promedio 20.3cm y 22.1cm de LT en el lago Erie; (Daiber, 1953). En comparación con organismos del lago Winnebago, los machos presentaron variación en la talla de madurez (2 años; 22.6 cm de LT), así como para hembras (5 años; 27.2 cm) (Davis-Foust et al., 2009). Si bien la edad y talla de primera madurez son rasgos heredables, entonces el cambio a edades y tallas menores es una función de la frecuencia genotípica en la población a lo largo del tiempo (Saborido-Rey, 2006).

La máxima edad de 8 años de *A. grunniens*, colectado en este estudio fue más baja comparada con otras poblaciones. Shields & Beckman (2015) colectaron ejemplares en el río Missouri con un máximo de 13 años; Jacquemin et al., (2015) en el río Wabash colectó ejemplares con 32 años; y Rypel (2007) en Alabama con ejemplares de la misma edad. Esta discrepancia con nuestros resultados podría deberse a la influencia de la pesca comercial en la cuenca media del río Usumacinta, donde peces jóvenes son capturados. Aunado a ello, los ejemplares en este río presentan un crecimiento relativamente lento. Por lo tanto, son vulnerables para la pesquería de la zona, prioritariamente durante su mayor actividad reproductiva. Consecuentemente, es necesario realizar investigaciones sobre pesca por unidad de esfuerzo; así como de distribución y abundancia de larvas y juveniles. También son necesario estudios con vista al manejo de la especie en cautividad. En conclusión, *A. grunniens* en la cuenca media del río Usumacinta presentó una edad máxima de 8 años, son peces que crecen

lentamente, las hembras tienden a crecer más rápido que los machos y se capturan frecuentemente peces entre 2 y 3 años de edad por los pescadores de la zona.

Referencias

- Becker, G.C. (1983). Fishes of Wisconsin. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin: 1052 pp.
- Bernard, D. R. (1981). Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:233-236.
- Borthagaray A.I., J. Verocai and W. Norbis (2011) Age validation and growth of *Micropogonia furnieri* (Pisces-Sciaenidae) in a temporally open coastal lagoon (South-Western Atlantic-Rocha-Uruguay) based on otolith analysis. *J. Appl. Ichthyol.* 27:1212-1217.
- Brash J. M. and S.T. Fennessy (2005). A Preliminary Investigation of Age and Growth of Otolithes ruber from KwaZulu-Natal, South Africa Western Indian Ocean *J. Mar. Sci.* 4(1):21-28.
- Bur M.T. (1984) Growth, reproduction, mortality, distribution, and biomass of freshwater drum in Lake Erie. *Journal of Great Lakes research.* 10(1):48-58.
- Butler L.R and Smith Jr. L.L. (1950). The age and rate of growth of the Sheepshad, *Aplodinotus grunniens* Rafinesque, in the upper Mississippi river navigation pools. *American Fisheries Society* 79(1): 43-54.
- Casselmann, J.M. (1987). Determination of age and growth. p. 209-242 In: A.H. Weatherley and H.S. Gill (eds.), *The Biology of Fish Growth*. Academic Press, New York.
- Chao, N. L. (2002). Sciaenidae, Croakers (drums). In *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists*. (Carpenter, K. E., ed.), pp. 1583-1653. Vol. 3, Special Publications. Rome: FAO.
- Daiber, F.C. (1953). Notes on the Spawning Population of the Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens* Rafinesque) in Western Lake Erie. *American Midland Naturalist* 50, 159-171.

- Davis-Foust S.L., R.M. Bruch., S.E. Campana, R.P. Olynyk., and J. Janssen (2009) Age Validation of Freshwater Drum using Bomb Radiocarbon. *Transactions of the American Fisheries Society* 138:385–396.
- Escobar G. B. (1997) Parásitos del besugo (*Aplodinotus grunniens*) Rafinesque, 1819 y de la tilapia (*Sarotherodon aurea*.) Steindachner, 1864 en la Laguna de Salinillas, Anáhuac, N.L., México. Tesis (Maestría en Ciencias con Especialidad en Parasitología) U.A.N.L. Facultad de Ciencias Biológicas.
- French, J.R.P. (1995). Size limitation on zebra mussels consumed by freshwater drum may preclude the effectiveness of drum as a biological controller. *Journal of Freshwater Ecology* 10: 379-383.
- Griffiths M.H. & T. Hecht (1995). Age And Growth Of South African Dusky Kob *Argyrosomus japonicus* (Sciaenidae) Based On Otoliths *S. Afr. J. mar. Sci.* 16: 119-128.
- Griffiths M.H. (1996). Age And Growth Of South African Silver Kob *Argyrosomus inodorus* (Sciaenidae), With Evidence For Separate Stocks *S. Afr. J. mar. Sci.* 17: 37-48.
- Hardisty Cobina (2007) Growth Dynamics of freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*) in Manitoba. *Tesis: A thesis submitted in partial fulfillment of the Honours Thesis.* Department of Biology., The University of Winnipeg 2006/200736pp.
- Hernández-Gómez R.E., W.M., Conteras-Sánchez and M.A., Perera-García (2017). Reproductive biology of the freshwater drum *Aplodinotus grunniens* in Tabasco, Mexico. *Ecosist. Recur. Agropec.* 4(11):317-330.
- Hernández-Gómez R.E., M.A. Perera-García, I.C. Valenzuela, T. M. Duran & M. Mendoza-Carranza (2013) Embryonic Development of *Aplodinotus grunniens* (Perciforme: Sciaenidae) in Tenosique, Tabasco, Mexico.
- Jacquemin, S.J., Doll, J.C., Pyron, Mark., Allen, M., Owen D. A.S. (2015). Effects of flow regime on growth rate in freshwater drum, *Aplodinotus grunniens* *Environmental Biology of Fishes* 98(4): 993-1003.
- Kormanec, Marshall James, (2015). Otoliths Then and Now: A Study of Ancient and Modern Fish Populations in Louisiana's Coastal Waters *LSU Master's Theses.* 627p.
- La Mesa M., S. Colella., G. Giannetti and E. Arneri (2008) Age and growth of Brown meagre *Sciaena umbra* (Sciaenidae) in the Adriatic *Sea. Aquat. Living Resour.* 21:153-161.
- March, I.J. y M. Castro, (2010). La Cuenca del Río Usumacinta: Perfil y perspectivas para su conservación y Desarrollo Sustentable. En: Cotler, H. (Coord.). *Las Cuencas*

- Hidrográficas de México: Diagnóstico y Priorización. Instituto Nacional de Ecología. México. Versión in extenso.
- Richard J.C. and Rypel A.L. (2013). Water body type influences Climate-Growth relationships of freshwater drum, *Transactions of the American Fisheries Society*, 142(5):1308-1320.
- Rico, V., J. M. Lorenzo and J. A. Gonzalez (2001). Edad y crecimiento del besugo americano *Beryx splendens* Lowe, 1834 (Osteichthyes, Berycidae) en aguas de las Islas Canarias. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 17(1-2):121-128.
- Rivera V.G., L.A.V. Valencia., R.M. Montes., F.E.P. García., E.V. Velázquez., F.R. Escutia., C.L.M. Méndez (2015). La pesquería en la presa Malpaso y la Cooperativa Zoque, Chiapas, México Primera edición. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 42p.
- Rodriguez M. R. P. (2006) Otoliths and their applications in fishery science. *Ribarstvo*, 64:(3), 89—102.
- Rypel A.L. and J.B. Mitchell (2007) Summer nocturnal patterns in freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*). *The American midland naturalist*, 157(1):230-23.
- Rypel A.L. D.R. Bayne and J.B. Mitchell, 2006. Growth of Freshwater Drum from Lotic and Lentic Habitats in Alabama. *Transactions of the American Fisheries Society* 135:987-997.
- Rypel., A.L. 2007. Sexual Dimorphism in Growth of Freshwater Drum. *Southeastern Naturalist* 6(2):333-342.
- Saborido-Rey F. (2006). Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso doctorado de bienio 2004-2006. Universidad de Vigo. CSIC.
- SAGARPA (2004). NOM-037-PESC-2004, Norma Oficial Mexicana Pesca responsable en el Sistema Lagunar formado por las humedales del Usumacinta, en los municipios de Catazajá, Palenque y La Libertad en el Estado de Chiapas, Jonuta, Emiliano Zapata y Balancán en el Estado de Tabasco, Ciudad del Carmen y Palizadas en el Estado de Campeche.
- SAGARPA (2005). NOM-051-PESC-2005, Norma Oficial Mexicana Pesca responsable en el embalse de la presa Venustiano Carranza, en el Estado de Coahuila.

- SAGARPA (2014). NOM-060-SAG/PESC-2014, Norma Oficial Mexicana Pesca responsable en cuerpos de aguas continentales dulceacuícolas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- Saila, S. B., C. W. Recksiek and M. H. Prager (1988). Basic fishery science programs. A compendium of microcomputer programs and manual of operation. Dev. Aquacult. Fish. Sci. 18:1-230.
- Shields and D.W. Beckman (2015). Assessment of Variation In Age, Growth, and Prey of Freshwater Drum (*Aplodinotus grunniens*) In the Lower Missouri River. *The Southwestern Naturalist*. 60(4): 360–365.
- Shields R. C. and D.W. Beckman (2015) Assessment of variation in age, growth, and prey of freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*) in the lower Missouri river. *The Southwestern Naturalist* 60(4):360–365.
- Smith M.A., M.A., Pegg and K.S. Irons (2007) Analysis of Fish Age Structure and Growth in the Illinois River. Report submitted to U.S. Army Corps of Engineers District, Rock Island Clock Tower Building. 1-55p.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1996) Biometry: The principles and practice of statistics in Biological Research. Freeman, New York, USA. 887p.
- Sparre, P. and Venema, S.C. (1997) Introducción a la evaluación de recursos pesquero tropicales. Parte 1. Manual. *FAO Fisheries Technical Paper*. N° 306.1, Rev. 2. Rome. Cap.3 Estimación de los Parámetros de Crecimiento.1-11p.
- Tarifeño E. (2004) Adaptaciones fisiológicas de animales marinos. 287-312pp. En: Werlinger C (Ed.). *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos*. Tomo 1 Editorial Fondo Nacional del libro y la lectura.
- Walford, L. A. (1946) A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.* 90(2):141-147.
- Witt A. Jr. (1960) Length and weight of Ancient Freshwater drum, *Aplodinotus grunniens*, Calculated from Otoliths Found in Indian Middens. *Copeia* 3:181-185.
- Zar JH (1999). *Biostatistical analysis*. 3th Edition. Prentice-Hall, New Jersey, USA. 929p.

TABLAS

Tabla 1. Longitud total promedio de la edad de hembras y machos, *A. grunniens* capturados en la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México.

Edad	Hembras	Machos
años	LT±DS	LT±DS
2	28.63±1.12	27.82±1.30
3	32.67±2.17	30.02±1.28
4	36.14±1.94	32.09±1.82
5	37.65±1.70	32.57±1.55
6	36.83±1.47	-
7	42.00	32.20
8	42.00	32.00

Tabla 2. Distribución de la edad-longitud en machos y hembras de *Aplodinotus grunniens* obtenidos por conteo de los otolitos.

LT (cm)	Hembras								Machos							
	Edad (años)								Edad (años)							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
25.0-26.9		2								20						
27.0-28.9		26								52	10					
29.0-30.9		34	14							30	54	11				
31.0-32.9		2	34	1						2	20	12	9		1	1
33.0-34.9			24	6							4	10	2			
35.0-36.9			11	15	4	2						4	3			
37.0-38.9			5	9	3	4										
39.0-40.9				3	3											
41.0-42.9				1				1	4							

FIGURAS

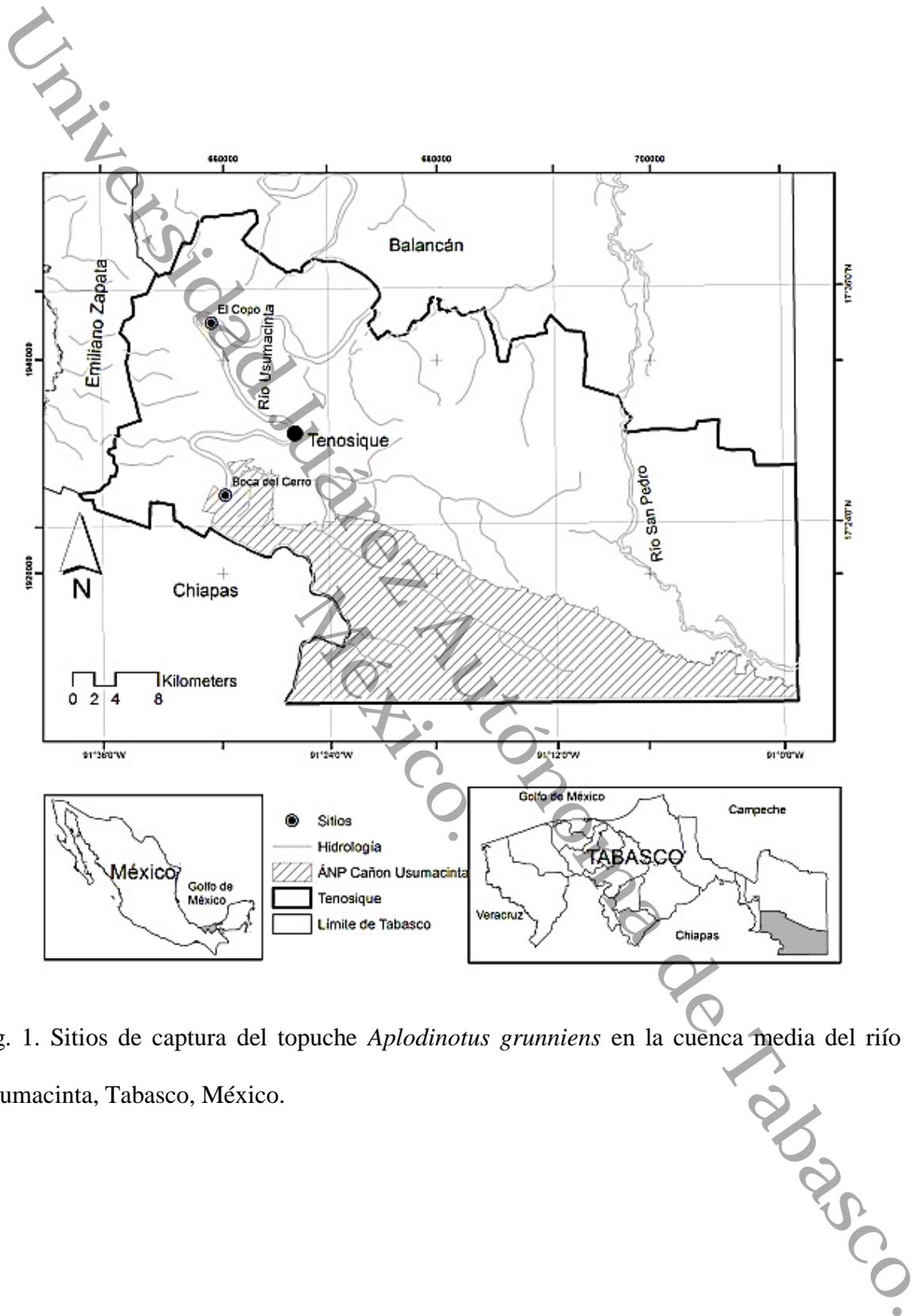


Fig. 1. Sitios de captura del topuche *Aplodinotus grunniens* en la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México.

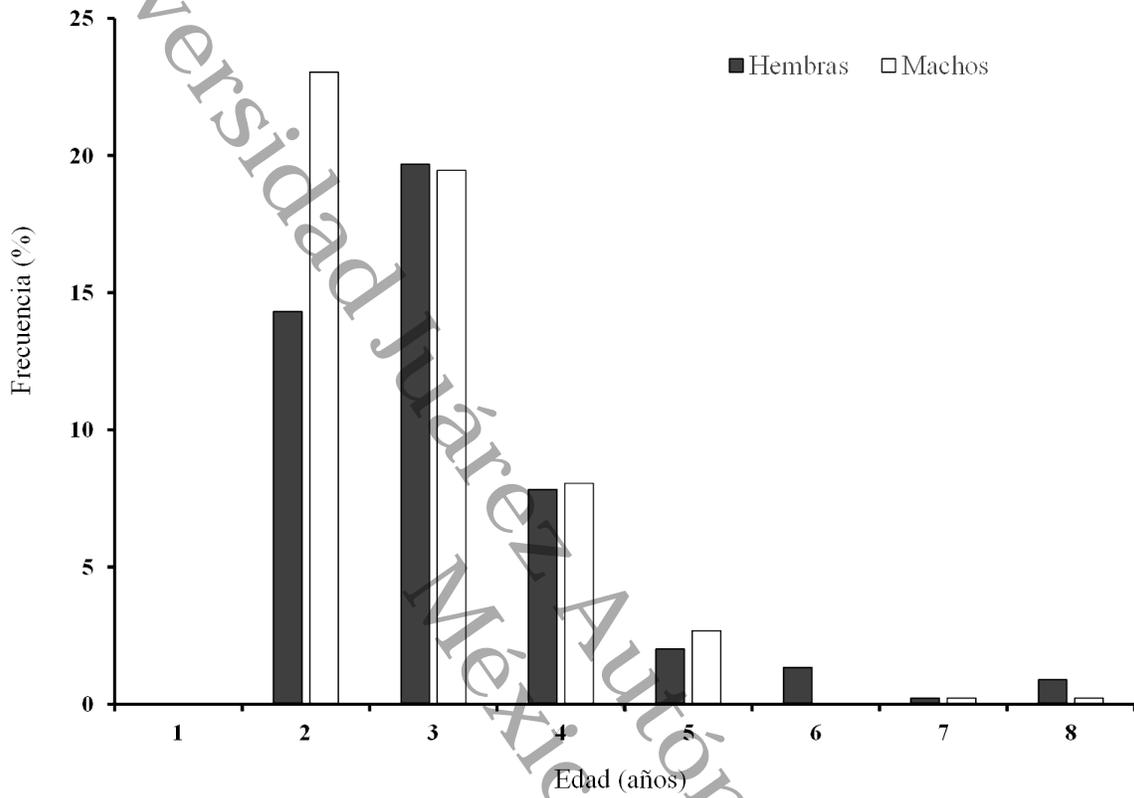


Fig. 2. Frecuencia de edad (años) de *Aplodinotus grunniens* capturados en la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

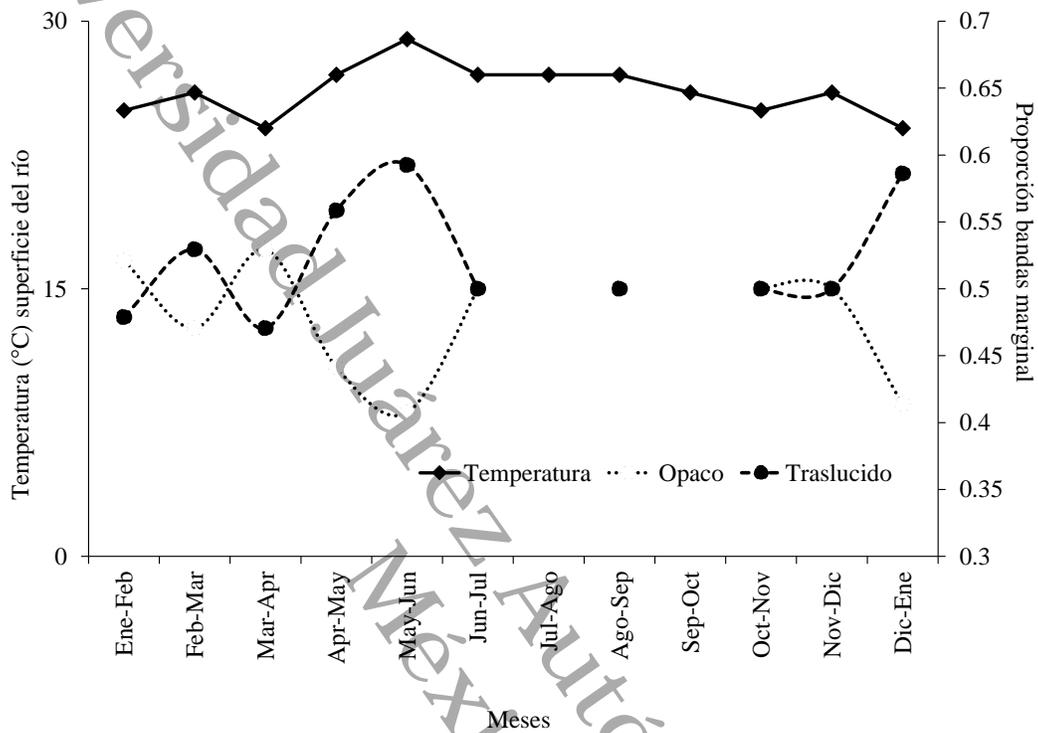


Fig. 3. Proporción mensual de margen de bandas opacas (○) y traslucidas (●) de *Aplodinotus grunniens* asociados a la temperatura del río Usumacinta, Tabasco, México.

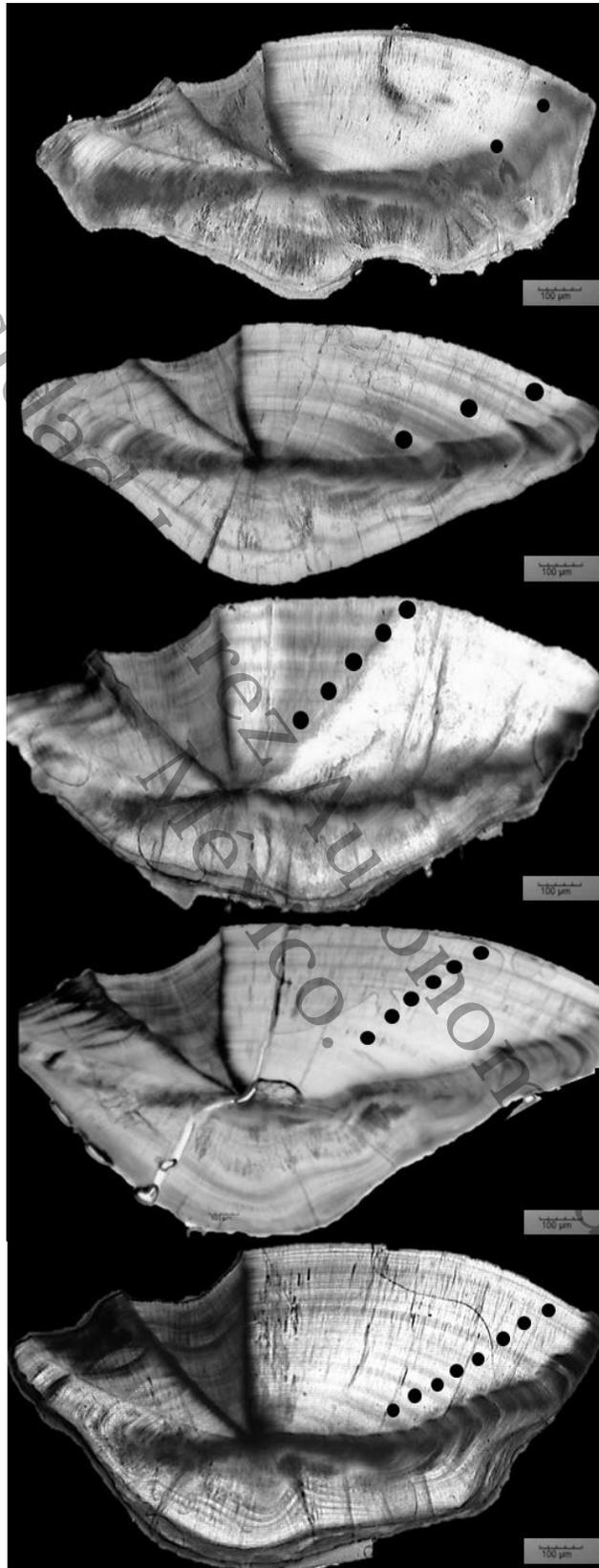


Fig. 4. Sección transversal de otolitos (sagitta) mostrando las edades de *Aplodinotus grunniens* capturados en el río Usumacinta, Tabasco, México.

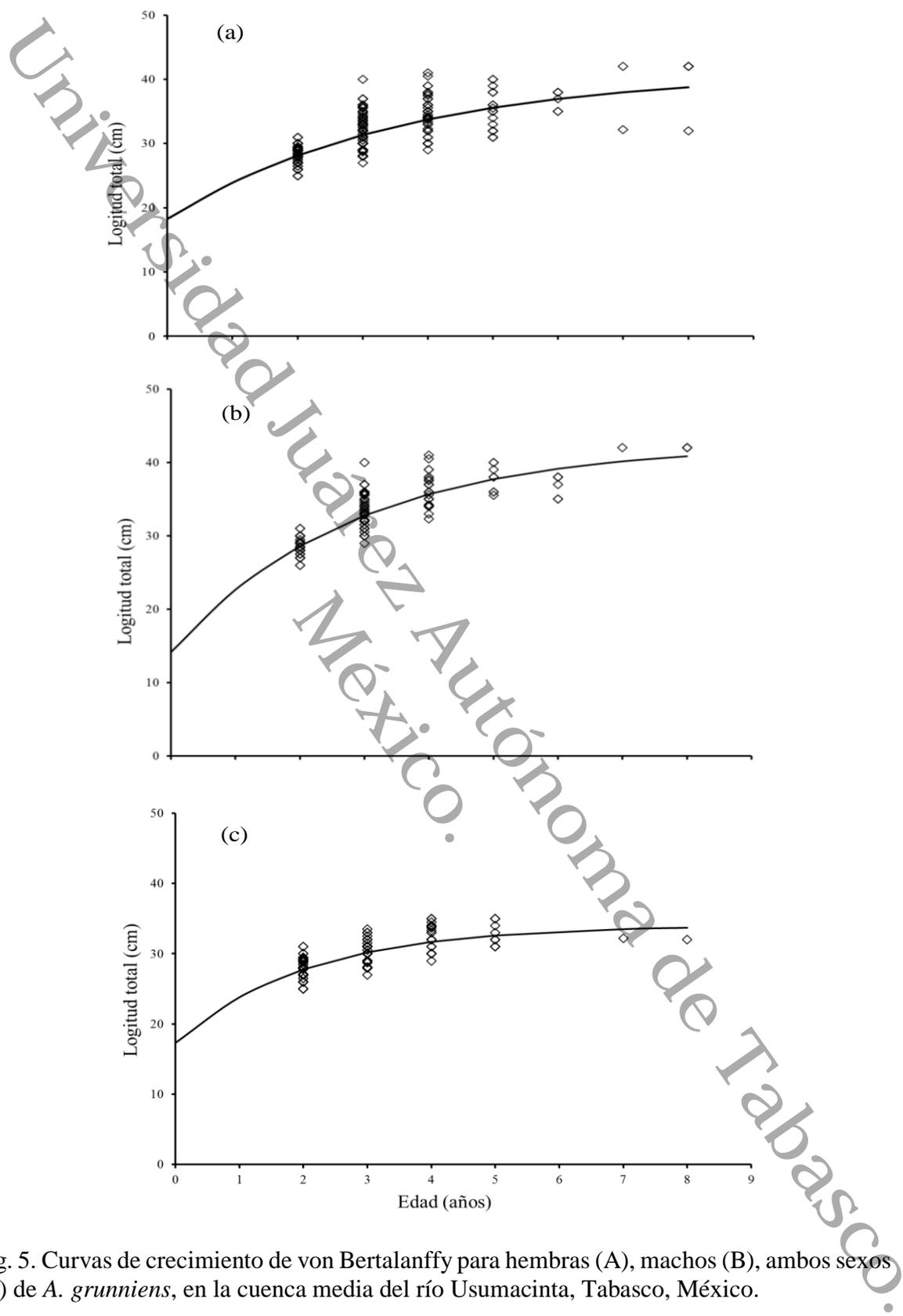


Fig. 5. Curvas de crecimiento de von Bertalanffy para hembras (A), machos (B), ambos sexos (C) de *A. grunniens*, en la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México.

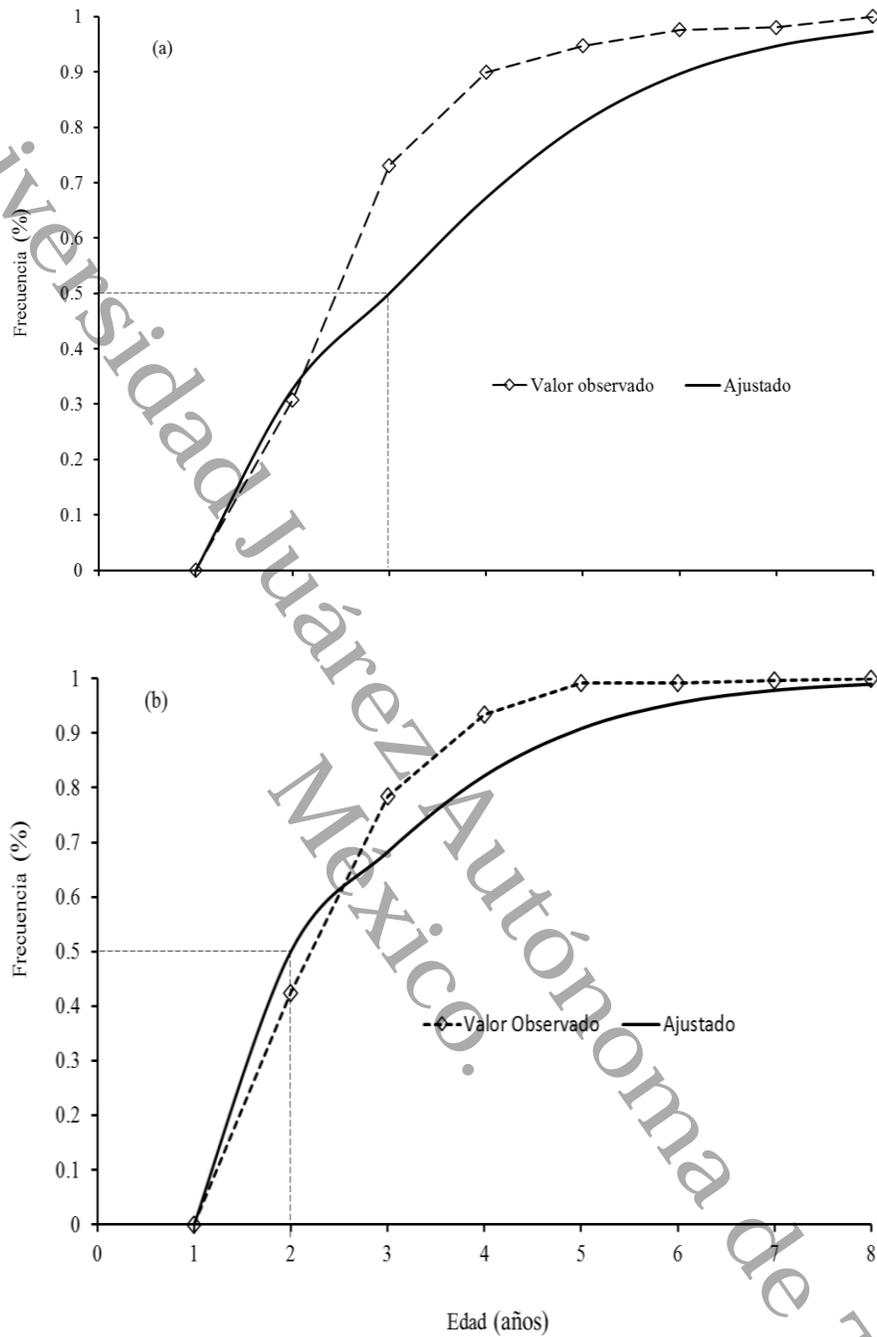


Fig. 6. Frecuencia de la edad de primera madurez sexual (E_{50}) en *A. grunniens* capturado en la cuenca media del río Usumacinta, Tabasco, México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPITULO VI:

DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN GENERAL

El presente estudio se realizó con ejemplares provenientes de la pesquería artesanal en la cuenca media del río Usumacinta, en Tenosique, Tabasco, México, especie que presenta importancia biológica, ecológica, comercial y nutricional en la zona; pero que es capturada durante su actividad reproductiva. Los resultados obtenidos en la presente investigación sugieren que *Aplodinotus grunniens* es especie que se reproduce durante todo su ciclo reproductivo, lo cual fue demostrado por medio de sus índices reproductivo. Sin embargo, presentó dos picos de mayor actividad reproductiva en los meses de incremento del nivel del río (temporada de lluvia) entre los meses junio y octubre. *A. grunniens*, es considerada como una especie iteropara, ya que se reproduce más de una vez durante su ciclo reproductivo. Asociado a ello, presentó diferentes etapas de madurez sexual, así como de distribución de frecuencia gonádica tanto a nivel macroscópico e histológico. Esta especie presentó un tipo de desove asincrónico, confirmando que esta especie es un desovador parcial. *A. grunniens* en ambos sexos mostró diferencias significativas, observándose que las hembras son de mayor tamaño que los machos. Con lo cual, también se observó, un crecimiento de tipo alométrico en la especie. Esta característica es considerada una estrategia reproductiva en peces, debido a que hembras más grandes producen mayor cantidad de ovocitos, y que requieren de reservas energéticas en forma de grasa para la producción y formación de las células foliculares. Aunado a ello, la proporción de los machos fue mayor. La longitud media de madurez (L_{50}) fue estimada de 28.78 cm (TL) para machos y para hembras 31.89 cm (TL). Longitudes que están dentro de los grupos de edades estimadas de primera madurez de 2 y 3 años.

El estudio histológico de las gonadas en machos y hembras permitió clasificar las etapas de madurez gonadal y los estadios de espermatogénesis y ovogénesis. Por lo tanto, el análisis histológico de los testículos y ovarios reveló la presencia de todas las etapas de desarrollo gonadal, presentó células masculinas en diferentes estadios durante la espermatogénesis en machos y en hembras células foliculares en diferentes estadios de la ovogénesis indicando que la especie está en constante actividad gametogénica y reproductiva en la cuenca media del río Usumacinta.

La edad y crecimiento estimados por banda anuales de los otolitos fue de 2 y 3 años de edad en machos y hembras respectivamente. De acuerdo con la función crecimiento de vB en el presente estudio las hembras fueron significativamente más grandes y presentaron tasas de crecimiento relativamente más bajas en comparación con los machos. En ambos sexos, la curva de crecimiento tienen una pendiente relativamente constante con valor bajo de k , por lo que *A. grunniens* en el río Usumacinta tiende a tardar en alcanzar el límite asintótico. Aunado a ello, los ejemplares en este río presentan un crecimiento relativamente lento. Aunado a ello, son peces jóvenes que son vulnerables a la pesquería de la zona, principalmente durante su mayor actividad reproductiva. La contribución de esta investigación sobre algunos aspectos de la biología pesquera de *A. grunniens* puede ser considerada para el desarrollo de un plan de manejo en la región, con énfasis en el periodo de mayor actividad reproductiva que coincide con el periodo de mayor actividad pesquera en la zona. Es necesario realizar más investigaciones sobre la especie: pesca por unidad de esfuerzo; así como de distribución, abundancia de larvas y juveniles. Pero también, son necesarios estudios con vista al manejo de la especie en cautividad.

CONCLUSIONES

- ❖ *Aplodinotus grunniens* puede reproducirse prácticamente todo el año.
- ❖ *A. grunniens* es una especie iteropara.
- ❖ *A. grunniens* presató un marcado dimorfismo sexual.
- ❖ Las hembras *A. grunniens* son más grande que los machos y difieren en la longitud promedio de madurez L_{50} de 31.89cm para hembras y de machos de 28.78cm.
- ❖ Se observó un crecimiento de tipo alométrico en la especie.
- ❖ Los indicadores reproductivos de hembra de *A. grunniens* (GSI, HSI and Vg) en el río Usumacinta revelaron una máxima actividad en el mes de octubre, indicando que la especie se reproduce todo el año.
- ❖ Durante el ciclo reproductivo de *A. grunniens*, fueron descritos cuatro etapas de madurez en las gonadas de hembras, a nivel histológico en estas etapas se pueden observar diferentes estadios de la ovogénesis.
- ❖ Los parámetros ambientales como la temperatura, nivel del río, y precipitación juegan un papel importante en la reproducción de *A. grunniens*, ya al aumento de estos parámetros coinciden el aumento del IGS y las frecuencias de los estados de madurez.
- ❖ Los testículos de *A. grunniens*, microscópicamente presentan desarrollo de tipo lobular no restringido, evidenciando un desarrollo gonadal asincrónico y liberación parcial de espermatozoides.
- ❖ El análisis histológico de los testículos reveló la presencia de todas las etapas de desarrollo gonadal durante el ciclo anual reproductivo, presentó células masculinas en diferentes estadios durante la espermatogénesis.
- ❖ Los machos de *A. grunniens* producen y liberan espermatozoides durante todo el año, presentando un pico máximo de actividad reproductiva en el mes de abril.

- ❖ *A. grunniens* en la cuenca media del río Usumacinta presentó una edad máxima de 8 años.
- ❖ Las curvas de crecimiento vB en hembras de *A. grunniens* fue de $LT_{\infty} = 42.45(1 - e^{0.3575(t-1.1341)})$, y en machos de $LT_{\infty} = 34.01(1 - e^{0.4918(t-1.4457)})$.
- ❖ La prueba T^2 de Hotelling's demostró que el crecimiento de *A. grunniens* fue significativamente más rápido en hembras que en machos.
- ❖ La edad de primera madurez estimada en machos fue a los 2 años y de 3 años para machos y hembras respectivamente.