

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

EFECTO DE LA TEMPERATURA
SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL
SEXO EN LARVAS DEL
PEJELAGARTO *Atractosteus tropicus*
(Wiley, 1976)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA
MARINA Y MANEJO INTEGRAL DE
CUENCAS

PRESENTA:

AMAURI VILLALOBOS GUILLEN



Tonalá, Chiapas

Agosto del 2023



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

EFECTO DE LA TEMPERATURA
SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL
SEXO EN LARVAS DEL
PEJELAGARTO *Atractosteus tropicus*
(Wiley, 1976)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA
MARINA Y MANEJO INTEGRAL DE
CUENCAS

PRESENTA:

AMAURI VILLALOBOS GUILLEN



Tonalá, Chiapas

Agosto del 2023

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

EFECTO DE LA TEMPERATURA
SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL
SEXO EN LARVAS DEL
PEJELAGARTO *Atractosteus tropicus*
(Wiley, 1976).

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA
Y MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA:

AMAURI VILLALOBOS GUILLEN

DIRECTOR:

DR. ARKADY USCANGA MARTÍNEZ
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS – CENTRO DE INVESTIGACIONES
COSTERAS

ASESORES:

DR. LENIN ARIAS RODRÍGUEZ
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO, DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

MC. GABRIEL MÁRQUEZ COUTURIER
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO, DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS
BIOLÓGICA

Tonalá, Chiapas

Agosto del 2023





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tonalá, Chiapas
Fecha: 24 de agosto de 2023

C. Amauri Villalobos Guillén

Pasante del Programa Educativo de:

Licenciatura en Biología marina y Manejo integral de cuencas

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL SEXO EN LARVAS

DEL PEJELAGARTO *Atractosteus tropicus* (Wiley, 1976)

En la modalidad de

TESIS

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. Alexis Fanuel Velasco Ortiz

Dr. Emilio Ismael Romero Berny

Dr. Arkady Uscanga Martínez

Firmas:

Ccp. Expediente.

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE.....	5
2.2	UBICACIÓN TAXONOMÍA.....	6
2.3	TAXONOMÍA.....	7
2.4	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	8
2.5	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA LOCAL.....	9
2.6	BIOLOGÍA.....	9
2.7	INDUCCIÓN AL DESOVE.....	10
2.8	DESARROLLO EMBRIONARIO.....	10
2.9	ALIMENTACIÓN.....	11
2.10	INCUBACIÓN Y DESARROLLO EMBRIONARIO.....	12
2.11	DIFERENCIACIÓN SEXUAL.....	12
2.12	ECOLOGÍA.....	13
2.13	DETERMINACIÓN Y DIFERENCIACIÓN SEXUAL.....	14
III	ANTECEDENTES.....	16
3.1	DETERMINACIÓN SEXUAL DEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA (DST).....	16
3.2	EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PEJELAGARTO <i>A. TROPICUS</i>	17
IV	OBJETIVOS.....	18
4.1	GENERAL.....	18
4.2	ESPECÍFICOS.....	18
V	HIPÓTESIS.....	19
VI	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
6.1	OBTENCIÓN DE REPRODUCTORES.....	20
6.2	LABORATORIOS DE DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	21
6.3	SELECCIÓN DE REPRODUCTORES.....	22
6.4	INDUCCIÓN AL DESOVE.....	23
6.5	DESARROLLO EMBRIONARIO.....	25
6.7	ALIMENTACIÓN DE LARVAS Y JUVENILES.....	28
6.8	BIOMETRÍAS.....	29

6.9 IDENTIFICACIÓN DEL SEXO	29
6.9.1 PREPARACIÓN DEL QUIRÓFANO.....	30
6.9.2 PREPARACIÓN DEL ORGANISMO	31
6.9.3 EJECUCIÓN DE LA CIRUGÍA	32
6.9.4 CIERRE DE LA CIRUGÍA.....	33
6.9.5 ANÁLISIS EN MICROSCOPIO	34
6.9.6 PREPARACIÓN DEL ÁREA DE RECUPERACIÓN.....	35
6.10 BASE DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	36
VII RESULTADOS	37
7.1 PESO CON RELACIÓN A LAS TEMPERATURAS	37
7.2 CRECIMIENTO CON RELACIÓN A LAS TEMPERATURAS	38
7.3 SUPERVIVENCIA CON RELACIÓN A LAS TEMPERATURAS	39
7.4 PROPORCIÓN DE SEXOS	40
7.5 PORCENTAJE TOTAL DE HEMBRAS Y MACHOS.....	42
VIII DISCUSIÓN.....	43
IX CONCLUSIONES.....	47
X REFERENCIAS.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Dosis utilizadas y fecha de inducción	24
Cuadro 2. Desove del pejelagarto y desarrollo embrionario durante el periodo octubre-noviembre	25
Cuadro 3. Diseño experimental utilizando para estudiar el efecto de la temperatura en la determinación del sexo en juveniles de pejelagartos <i>A. tropicus</i>	27
Cuadro 4. Esquema de adaptación al consumo de alimento artificial	28
Cuadro 5. Temperaturas analizadas por medio una prueba de chi cuadrada (χ^2) indican diferencias significativas ($P<0.05$).....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características externas de un Juvenil de <i>A. tropicus</i>	5
Figura 2. Distribución geografía del pejelagarto <i>A. tropicus</i> en México y Centroamérica.....	8
Figura 3. Ubicación de la salida a campo al ejido Tamaulipas municipio de Pijijiapan Chiapas.	20
Figura 4. Ubicación geográfica del centro de investigaciones costeras de la UNICACH.....	21
Figura 5. Marca de una hembra seleccionada como reproductora	22
Figura 6. Estanque adecuado para la reproducción.....	23
Figura 7. Condiciones para el desove artificial del pejelagarto <i>A. tropicus</i>	24
Figura 8. Las larvas de <i>A. tropicus</i> presentaron nado libre después de los cuatro días	25
Figura 9. Instalaciones del laboratorio experimental del Centro de investigaciones costeras	27
Figura 10. Materiales y equipo utilizados en las biometrías	29
Figura 11. (a) Preparación del área de operación. (b) desinfección de los materiales utilizados en la cirugía.....	30
Figura 12. Proceso de anestesia en Juveniles de <i>A. tropicus</i> (a) y antisepsia	31
Figura 13. (a) Gónada de la hembra (b) Gónada de un macho.....	32
Figura 14. Cierre de la cirugía estéticamente adecuada	33
Figura 15. Tejido gonádico testicular con presencia de espermatozoides (a) y ovocitos (b). Imagen tomado con el objetivo 40x/0.65 de un microscopio óptico de la marca Zeiss Primo Star	34
Figura 16. Proceso de cicatrización	35

Figura 17. Presenta el peso final (gr) al termino de los 90 días del experimento en larvas de pejelagartos *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$).....37

Figura 18. Presenta Longitud final (cm) al terminar los 90 días del experimento en larvas de pejelagartos *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$).....38

Figura 19. Expresa el porcentaje de supervivencia al terminar los 90 días del experimento en larvas de *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$).....39

Figura 20. Expresa el porcentaje y proporción de sexos al finalizar el experimento en larvas de pejelagarto *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$).....40

Figura 21. Presenta los porcentajes totales de hembra y machos de pejelagartos *A. tropicus* al finalizar el experimento sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$).....42

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a dios por permitirme terminar este trabajo que ante todo está presente cuidando mis pasos.

También le agradezco al Dr. Arkady Uscanga Martínez por ser el director de tesis y estar presente durante todo el trabajo. A sus colegas y asesores en esta investigación el Dr. Lenin Arias Rodríguez y al Mc. Gabriel Márquez Couturier.

Al biólogo William Rodríguez Valencia y al biólogo Mario Gómez Gómez les agradezco por sus consejos y apoyo brindado.

A los revisores de este trabajo al Mtro. Alexis Fanuel Velasco Ortis, Dr. Francisco Javier López Rasgado y al Dr. Emilio Romero Berny les agradezco por sus observaciones y recomendaciones fueron muy importantes y puntuales.

Le agradezco a mis colegas y amigos: Lizandro, Roció, Sami, Arismendi y Arely por el apoyo cuando requerí de su ayuda. Agradezco el apoyo incondicional de mi esposa Josselin Hernández Antonio.

*Le agradezco al **Lic. Cesar Martínez Antonio** y a todo el equipo de la **SAGYP** por las oportunidades brindadas que hicieron posible la culminación de este trabajo.*

DEDICATORIA

Este trabajo es en memoria a mi madre Sra. Olga Lidia Guillen Gómez quien me cuida y protege desde el cielo.

Se lo dedico a mi familia principalmente a mi padre el Sr. Jesús Villalobos Álvarez y a mis hermanas Rosalinda, Juliana y Zulema por creer en mí.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la temperatura en la determinación del sexo del pejelagarto tropical *Atractosteus tropicus*, bajo condiciones de laboratorio. Para realizar los experimentos se emplearon larvas que se obtuvieron de un desove artificial en el Laboratorio de Reproducción Acuícola del Centro de Investigaciones Costeras de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). En el desarrollo del experimento, se emplearon 3 000 larvas de *A. tropicus*, para evaluar cinco tratamientos (con tres replicas) que consistieron en las temperaturas de 20, 25, 30, 35° C y un tratamiento control con temperatura promedio de 27±2° C. El experimento inició a los seis días después de la eclosión (DPE) de las larvas, con un total de 200 larvas por replica. La primera alimentación se llevó a cabo a las 120 horas después del desove y la exposición de los organismos a los tratamientos fue por tres meses. El pejelagarto, es un organismo que no presenta dimorfismo sexual aparente entre hembras y machos, por ello para la identificación del sexo, se realizó a través del método histológico squash, técnica de aplastado que consiste en teñir un pequeño fragmento de la gónada (ovario o testículo) con el colorante Giemsa en solución madre y la posterior observación bajo el microscopio óptico a 40x/0.65. Los tratamientos con temperatura de 30 y 35° C mostraron diferencias significativas en el crecimiento (peso y longitud) con respecto al resto de los tratamientos, Asimismo, la prueba de Chi cuadrada (χ^2), mostró los tratamientos con la mayor proporción de sexos. Estas temperaturas fueron las de 30 y 35° C, presentando una relación hembras:machos de 1:2.4 y 1:1.5 respectivamente. A 35° C, se registraron los mayores porcentajes de sobrevivencia 44.1%. Finalmente, se concluye que la temperatura es un medio físico, que influye significativamente en la determinación del sexo de *A. tropicus*.

Palabras claves: Temperatura, determinación sexual, *A. tropicus*

I. INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los 12 países del mundo considerados como megadiversos, destacando por el endemismo de los peces de aguas continentales. En México habitan unas 484 especies de peces dulceacuícolas, de las cuales 434 son nativas y de estas 56 están amenazadas, 40 se consideran en peligro de extinción, 18 son raras, 25 están extintas y seis han sido extirpadas (Espinosa-Pérez, 2014).

Los estados que presentan la mayor diversidad íctica en nuestro país son Quintana Roo, Tamaulipas, y Chiapas (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2013). Los autores mencionan que en el área continental de Chiapas existen 262 especies, de las cuales ocho son endémicas: *Profundulus hildebrandii*, *Vieja breidohri*, *Vieja hartwegi*, *Theraps rheophilus*, *Cichlasoma grammodes*, *Thorichthys socolofi*, *Lacantunia enigmatica*, *Rhamdia laluchensis*. Por otro lado, se han reportado especies exóticas como: *Oncorhynchus mykiss*, *Micropterus salmoides*, *Parachromis managuensis*, *Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus*, *O. aureus*, *Tilapia zilli* sp., *Ctenopharyngodon idella*, *Pterygoplichthys pardalis* y *Cyprinus carpio* (Rodiles-Hernández *et al.*, 2005).

En Chiapas existen especies de importancia comercial con potencial en la acuicultura como la tenhuayaca (*Petenia splendida*), tahuina (*Amphilophus trimaculatus*), róbalo (*Centropomus nigrescens*) y el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*), (Gómez-González *et al.*, 2012; Toledo-Solís, 2013). En los últimos años, el pejelagarto (*A. tropicus*) ha tomado importancia en la acuicultura regional debido a su uso tradicional como alimento para consumo humano, pesca deportiva, elaboración de artesanías y actualmente está cobrando importancia como especie de ornato en la acuariofilia (Carta Nacional Pesquera, 2004).

Sin embargo, las poblaciones silvestres de pejelagarto (*A. tropicus*) se han visto afectadas por la pérdida del hábitat (Velázquez-Velásquez *et al.*, 2013). Debido al calentamiento global y a las afectaciones antrópicas, que son unas de las principales causas que han inducido a la modificación y pérdida de los ecosistemas (Allan y Flecker, 1993; Abell, 2002; Dudgeon *et al.*, 2006). Entre tales ecosistemas, los más vulnerables son los ecosistemas acuáticos que reducen su cobertura a una mayor velocidad en comparación a los ecosistemas terrestres, modificando las condiciones de las especies que allí habitan (Walther *et al.*, 2002; Castro-Mejía *et al.*, 2009; Sievert-Sierra *et al.*, 2016).

Debido a la afectaciones en los ecosistemas acuáticos algunas poblaciones silvestres de *A. tropicus*, han reportado cambios en la proporción de sexos que difieren de los primeros estudios a los más recientes. En dicho sentido, Reséndes y Salvadores (1983), reportaron una relación de hembras:machos 1:1, lo anterior coincide con Alemán y Contreras-Sánchez (1988). Por otro lado Chávez-Lomelí *et al.* (1989), reportaron una relación de 1:4 y Márquez-Couturier (2000), reportó en el Ejido Río Playa en Comalcalco Tabasco una proporción de sexo observada de 1:9 respectivamente.

Tomando en cuenta los antecedentes sobre la proporción sexual podemos determinar, que el estado de salud de las poblaciones silvestres del *A. tropicus*, en el sureste de México requiere de su inclusión en los programas piscícolas, para fomentar su cultivo, evitar que la presión de las actividades pesqueras y la transformación del hábitat de pauta a su ingreso en la lista de especies amenazadas o en peligro de extinción (Márquez-Couturier, 2002). Como es el caso de dos especies de pejelagarto, el catán *A. spatula* en Tamaulipas, Nuevo León y Norte de Veracruz (Mendoza *et al.*, 2000) o del manjuarí *A. tristoechus* en la Ciénega de Zapata en Cuba (León *et al.*, 1978).

Sin embargo, para Chiapas no existen registros de pesca lo cual dificulta aún más su estudio, pero se han tomado medidas precautorias debido a que existe una veda permanente para su pesca, establecida en la Carta Nacional Pesquera, publicada en el (Diario Oficial de la Federación en el 2004).

La disminución del número de hembras trae consigo menos reproducción de la especie, y esto es un inconveniente para restaurar las poblaciones silvestres, lo cual es de gran importancia debido a que desempeña una importante función ecológica, ya que actúa como regulador de poblaciones de peces y anfibios (Contreras-Sánchez, 1990).

En un aspecto general, esta especie se enfrenta a una drástica disminución en sus poblaciones silvestres no sólo por la reducción de su hábitat y la sobre explotación pesquera, sino también por su ciclo reproductivo anual (Márquez-Couturier *et al.*, 2003).

La temperatura como variable ambiental, se ha identificado como un factor importante que sufre variaciones en el hábitat y ello, influye en el desarrollo embrionario, el metabolismo y los mecanismos que determinan el sexo en algunas especies de peces, aves y anfibios (Piferrer, 2008; Brown *et al.*, 2014). La temperatura influye en los mecanismos moleculares y bioquímicos de la determinación sexual ambiental (DSA) en varias especies de vertebrados (Valenzuela y Lance, 2004). El pejelagarto *A. tropicus* es una especie gonocorísta, el sexo en algunas especies gonocorísta se determina en la concepción por genotipo o determinación genética del sexo (DGS) (Brown *et al.*, 2014).

Sin embargo, la diferenciación sexual en hembras de *A. tropicus* da inicio a partir de los 39 días después de la eclosión (DPE), mientras que la diferenciación testicular da inicio a estadios más tardíos 54 DPE y el periodo en el que la gónada es susceptible a factores exógenos comprende de los nueve días DPE (Cruz-Rodríguez, 2008).

El pejelagarto (*A. tropicus*) no cambian su sexo a lo largo de su vida y no presentan características fenotípicas aparentes que muestren dimorfismo sexual o diferencias entre las hembras y los machos de la especie, cuando menos durante los primeros meses y años de vida (Cruz-Rodríguez, 2008),

Sin embargo, están fuertemente influenciados por la temperatura durante su fase larvaria (Márquez-Pérez, 1998). Las temperaturas más altas tienen mayor tasa de crecimiento y supervivencia debido a que los organismos expuestos a tratamientos con temperaturas más elevadas pasan más rápido de la etapa larvaria a la juvenil donde el canibalismo ya no es tan frecuente (Márquez-Pérez, 1998).

Diversos estudios han concluido que los machos crecen más durante el primer año de vida, dándoles la posibilidad de mayor supervivencia (Alemán y Contreras-Sánchez, 1988; Márquez-Couturier, 2000; Hernández-Vidal, 2002; Márquez-Couturier *et al.*, 2003).

Este tipo de estrategia podría estar relacionada con la determinación del sexo dependiente de la temperatura (DST). Pero también, podría ser una respuesta del organismo al incremento de las temperaturas en los ecosistemas acuáticos, donde por selección natural el macho tiene mayor sobrevivencia (Mendoza *et al.*, 2000).

Está claro que están ocurriendo factores externos que ha ocasionado que esta especie en particular responda a cambios en su entorno (Cruz-Rodríguez, 2008). Es por eso que en la presente investigación, se realizaron experimentos para determinar el efecto de la temperatura sobre la proporción sexual (hembras:machos) empleando larvas del pejelagarto.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Características de la especie

El pejelagarto tropical *A. tropicus*, presenta diferentes nombres comunes dependiendo de la localidad, en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche se le denomina pejelagarto. Sin embargo, en las costas del Pacífico chiapaneco se le conoce como pez armado y a las hembras machorras (Gómez-González *et al.*, 2012).

El pejelagarto, es un pez de cuerpo alargado y cilíndrico, de color verde olivo en el dorso con manchas de pigmento color negro, el vientre es de color blanco y todo el cuerpo está cubierto de mucus, las escamas son duras y tienen forma de rombo que cubren el cuerpo. La aleta dorsal y anal, están muy cerca de la caudal, la boca es alargada con dientes caninos fuertes, curvos hacia el interior (Figura 1) (Martínez, 2007; Márquez-Couturier *et al.*, 2015).

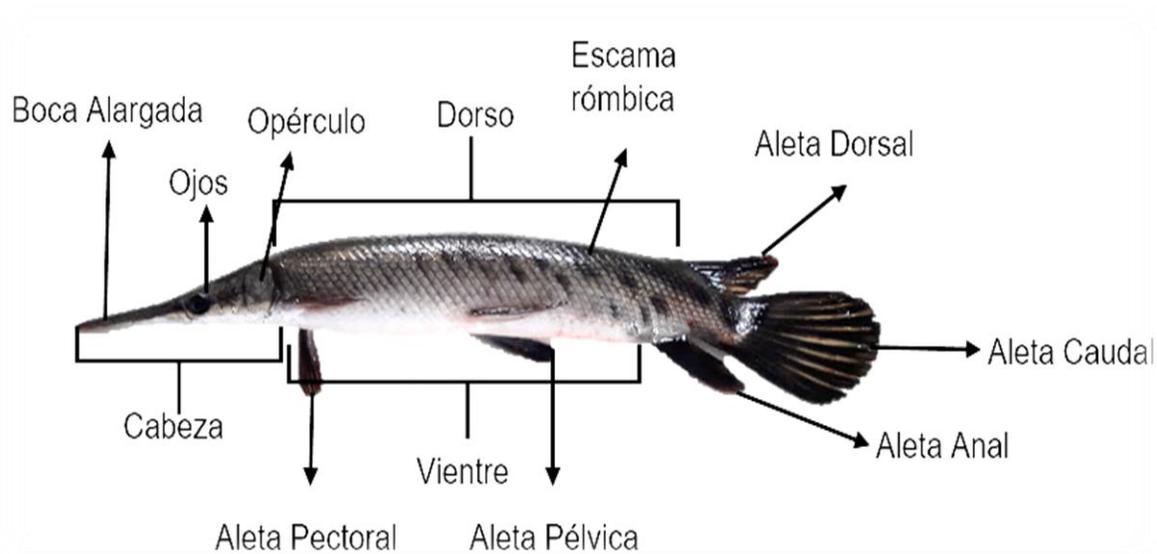


Figura 1. Características externas del pejelagarto *A. tropicus*

2.2 Ubicación taxonomía

La familia *Lepisosteidae* está integrada por siete especies y dos géneros, entre ellos el género ***Lepisosteus*** lo integran cuatro especies:

1.- *Lepisosteus oculatus* (Winchell, 1864)

2.- *L. osseus* (Linnaeus, 1758)

3.- *L. platostomus* (Rafinesque, 1820)

4.- *L. platyrhincus* (DeKay, 1842)

Mientras que un segundo género, ***Atractosteus*** está representado por tres especies:

1.- *A. tractosteus spatula* (Lacepède, 1803)

2.- *A. tristoechus* (Bloch y Schneider, 1801)

3.- *A. tropicus* (Gill, 1863)

La descripción original de *A. tropicus*, fue realizada por Gill (1863); previamente fue denominado *L. tropicus*. Las características principales de la especie, fueron descritas desde el punto de vista taxonómico en el trabajo de Álvarez (1970). Finalmente, Wiley (1976), realizó estudios filogenéticos de especies fósiles y vivientes de la familia *Lepisosteidae*, la diagnosis de referencia para la especie la ubica nuevamente como *Atractosteus tropicus*, siendo su nombre científico vigente.

2.3 Taxonomía

La descripción de la clasificación taxonómica desde Phylum hasta especie del pejelagarto según Wiley (1976), se describe a continuación:

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Superclase: Pisces

Infraclase: Neopterygii

División: Ginglymodi

Orden: Lepisosteiformes

Familia: Lepisosteidae

Género: *Atractosteus*

Especie: *A. tropicus*

2.4 Distribución geográfica

La distribución geográfica del pejelagarto *A. tropicus*, está conformada por poblaciones separadas geográficamente, por la vertiente del océano Atlántico al sur de México habitan desde la cuenca del río Coatzacoalcos en Veracruz hasta la cuenca del río Usumacinta pasando por Tabasco y Campeche (Rodiles-Hernández *et al.*, 2005). En Chiapas, se encuentra una segunda población en las partes medias y altas del río Usumacinta, en los límites con Guatemala, más al sur en el lago Nicaragua y en la cuenca del río San Juan en Costa Rica (Márquez-Couturier, 2002; Martínez, 2007; Rodiles-Hernández *et al.*, 2013). Del lado de la vertiente del océano Pacífico, se localiza una tercera población que habitan desde el sur de Chiapas en México hasta el río Negro en Nicaragua (Figura 2) (Bussing y William, 1998; Espinosa-Pérez, 2014).

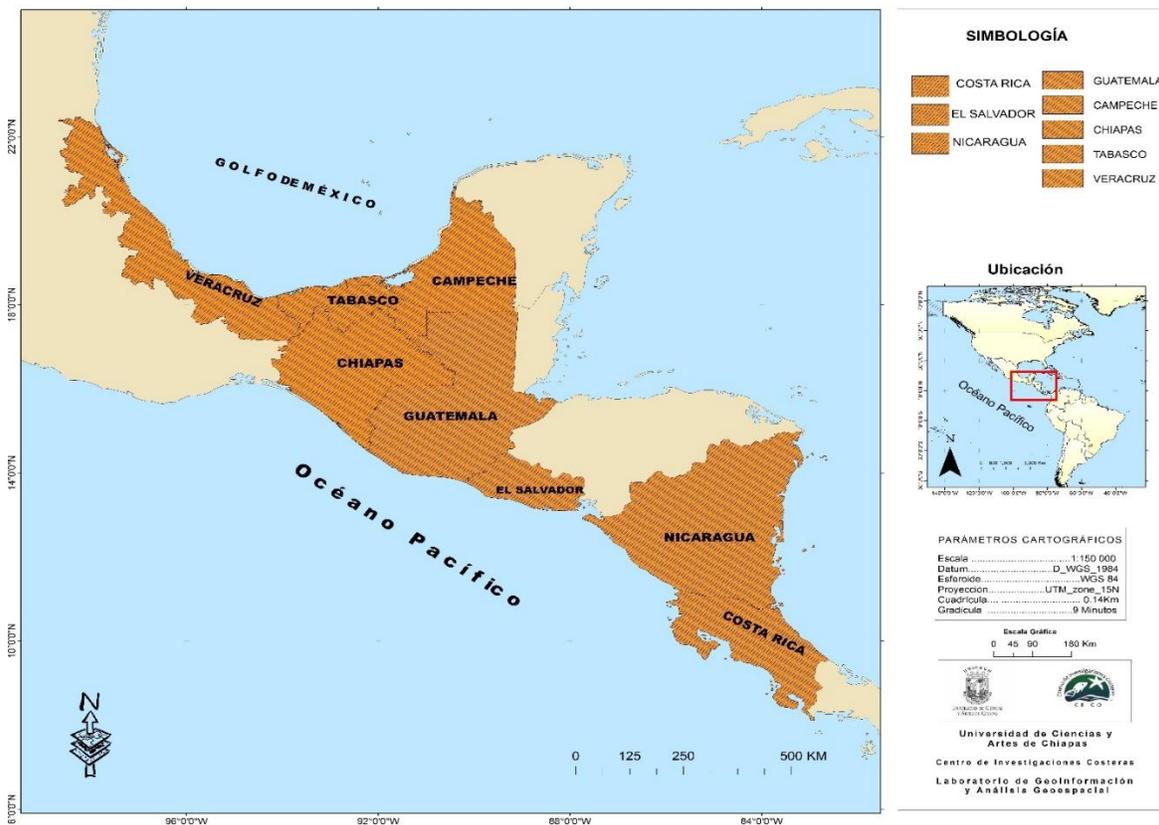


Figura 2. Distribución geográfica del pejelagarto *A. tropicus* en México y Centroamérica

2.5 Distribución geográfica local

En la vertiente del Atlántico de Chiapas, actualmente se tienen registros de la especie en dos poblaciones diferentes, una al norte del estado en los municipios de Catazajá Palenque, Reforma y Ocosingo (Rodiles-Hernández *et al.*, 2005). Para la vertiente del pacífico al suroeste del estado, se encuentra en el municipio de Pijijiapan hasta Acapetahua (Velázquez-Velázquez, 1997; Gómez-González *et al.*, 2012).

2.6 Biología

El pejelagarto *A. tropicus* es una especie dulceacuícola, que generalmente habita en ríos, lagos, arroyos, lagunas someras y turbias con temperaturas medias de 28° C. La especie se ha reportado poca tolera a alta salinidad. Prefiere sitios con abundante vegetación acuática, constituida principalmente por lirio acuático (*Eichornia crassipes*), popal (*Thalia geniculata*), espadaño (*Typha latifolia*), lechuguilla (*Pistia stratiotes*), pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) y otros del género *Paspalum spp* (Rodiles-Hernández *et al.*, 2013).

Es un animal poco gregario, formando grupos sólo durante la época de reproducción de junio-agosto. Estos organismos presentan crecimiento alométrico, que hace referencia al crecimiento diferencial en diferentes partes del cuerpo (Cruz-Rodríguez, 2008). Los machos alcanzan la primera madurez sexual, al cumplir un año de edad con una talla de 32.5 a 45.5 cm de longitud total. La primera maduración sexual en las hembras del pejelagarto *A. tropicus*, se presenta en el segundo año de edad y miden de 40 a 50 cm de longitud total (Márquez-Couturier, 2002; Cruz-Rodríguez, 2008). Por otro lado, Reséndez y Salvadores (1983), mencionan que la maduración gonádica inicia en abril, y ya para junio se aprecian organismos bien maduros, a punto de desovar, lo cual ocurre en los meses de agosto y septiembre.

2.7 Inducción al desove

En el aspecto de la reproducción una de las técnicas ampliamente difundidas es el método desarrollado por Márquez-Couturier (1999), en ello menciona, que para planificar los desoves y la producción de crías, se ha experimentado con hormonas comerciales como el OVAPRIM-C a dosis única de 0.2 mg/Kg, donde se ha observado un tiempo de respuesta de 10 a 12 horas presentándose desoves totales con un porcentaje de fertilización del 92% y un 98% de eclosión. Sin embargo, al usar una dosis de 0.5 mg/Kg o más, puede causar hipertrofia de los ovarios e incluso la muerte de los ejemplares.

Por otra parte, Gómez-Gómez (2008) y Márquez-Couturier *et al.* (2015), emplearon una hormona liberada Luteinizante (*D-Ala6 –LHRHa*) a una sola dosis de 35 a 45 µg/Kg de peso de la hembra en una sola aplicación. El tiempo de respuesta para que inicie el desove es de 12 a 18 horas y su duración es de 4 a 8 horas.

2.8 Desarrolló embrionario

Los trabajos relacionados con las etapas iniciales de vida del pejelagarto *A. tropicus* han estado enfocados a la descripción del desarrollo embrionario (Contreras-Sánchez y Alemán, 1987). Señalan que la eclosión se presenta 48 horas después de la fertilización, emergiendo una prelarva que se adhiere a la vegetación mediante un disco adhesivo, presente en la región anterior de la cabeza. Así, también, Gómez-Gómez (2008), logró obtener el desove de la especie en un sistema diseñado específicamente para su reproducción y observó que el periodo de eclosión inicia a las 35 horas y las larvas permanecen fijadas a la vegetación durante los primeros cuatro días.

2.9 Alimentación

En condiciones de laboratorio Hernández-Vidal (1999), reporta que la alimentación endógena transcurre durante las primeras 120 horas después de la eclosión a 29 °C. La fase de alimentación mixta se presenta durante las siguientes 16 horas y la alimentación exógena a partir de las 136 horas post-eclosión. Las larvas que ingieren alimento, desde el inicio de la fase de alimentación activa hasta 96 horas después, presentan mayor crecimiento respecto a las que inician su alimentación exógena hasta las 120 horas o más (Hernández-Vidal, 1999).

La supervivencia declina conforme transcurre el tiempo de inanición, siendo superior para las larvas que ingieren alimento desde el día de inicio de alimentación activa hasta 24 horas después (Hernández-Vidal, 1999). Para la etapa larvaria del pejelagarto *A. tropicus* en condiciones de laboratorio la primera alimentación puede realizarse con nauplios de *Artemia salina* (Rodríguez *et al.*, 1997)

Sobre el horario de alimentación en larvas del pejelagarto *A. tropicus*, Zacarías (2003), reportó que los mejores resultados se obtuvieron con las larvas alimentadas con cuatro porciones diarias en horario matutino-nocturno (8:00, 12:00, 16:00 y 20:00 horas) obteniéndose larvas de mayor talla (39.4 mm) y peso (0.156 gr) a los 11 días de iniciada la alimentación.

Ramón (2003), estudió la frecuencia de alimentación en larvas de pejelagarto *A. tropicus*, reportaron que en cuanto a crecimiento no hubo diferencias significativas al alimentar tres, cuatro, cinco o seis veces al día. Siendo el promedio más alto de 0.152 gr. En referencia a la talla el mejor promedio fue de 34.8 mm para las larvas alimentadas con una frecuencia de seis veces al día misma que no fue estadísticamente diferente a aquellas alimentadas tres, cuatro y cinco veces al día.

2.10 Incubación y desarrollo embrionario

En los estudios realizados por Márquez-Pérez (1998), se menciona que los embriones incubados a 25, 30 y 35° C, presentaron 88.7, 89.3 y 85.3%, de supervivencia y el porcentaje de eclosión fueron altos en tiempos relativamente cortos. A 20° C, el desarrollo es lento, y podría tomar hasta seis días o más en eclosionar. Sin embargo, un rango de temperatura de 20 a 35° C, no afecta la supervivencia de las larvas, pero si afecta la tasa de crecimiento.

Los mejores valores de crecimiento para larvas del pejelagarto *A. tropicus*, se encuentran dentro del rango de 30 a 35° C, en este sentido, a 35° C el crecimiento no es homogéneo lo cual podría promover el canibalismo en las larvas (Márquez-Pérez, 1998; Gómez-Gómez, 2008).

2.11 Diferenciación sexual

La diferenciación sexual en peces teleósteos o gonocorísta, ha mostrado que la diferenciación sexual ocurre primero en las hembras y posteriormente en los machos (Nakamura *et al.*, 1998).

Contribuciones como la de Cruz-Rodríguez (2008), sobre la diferenciación sexual del pejelagarto *A. tropicus*, describe el proceso de diferenciación sexual en las hembras, la cual inicia a partir de los 39 DPE mientras que la diferenciación testicular da inicio estadios más tarde 54 DPE y el periodo en el que la gónada es susceptible a factores exógenos comprende de los 9 a los 54 DPE.

2.12 Ecología

El pejelagarto *A. tropicus*, desempeña una importante función ecológica; ya que funge como regulador de peces, anfibios y la casi nula presencia de depredadores de la especie, lo ubica entre los niveles más altos de la cadena alimenticia (Castro-Mejía *et al.*, 2009).

Márquez-Couturier (2003), menciona que las poblaciones silvestres están disminuyendo por la presión de la pesca y las diversas alteraciones a su hábitat. Su estado de conservación actual se considera “deteriorado” con una disminución de las poblaciones silvestres en algunos municipios de Tabasco, pero además sostenido por los esfuerzos de la acuicultura que se realizan en el estado.

En Chiapas encontramos una recuperación de su hábitat en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada donde se puede encontrar poblaciones silvestres (Gómez-González *et al.*, 2012). Sin embargo, en un aspecto general, en el estado de Chiapas esta especie se enfrenta a una drástica disminución de sus poblaciones silvestres debido a la destrucción, modificación de su hábitat, contaminación, introducción de especies exóticas y la sobre explotación pesquera (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2013). Se recomienda introducir al pejelagarto *A. tropicus* en los programas de repoblamiento de especies nativas en el sur de México (Márquez-Couturier, 2003).

2.13 Determinación y diferenciación sexual

La determinación sexual es el mecanismo por el cual se define el sexo de un organismo, en cambio la diferenciación sexual comprende los procesos ontogenéticos por los cuales, una vez determinado el sexo, se desarrollan las gónadas correspondientes (Li *et al.*, 2014).

En peces se han reconocido diversos mecanismos de determinación sexual para las especies gonocóristas, los cuales se agrupan en mecanismos genéticos: Determinación sexual genética (DSG) y Determinación sexual ambiental (DSA) (Brown *et al.*, 2014).

En especies con DSG, como su nombre lo indica, el sexo está determinado por factores genéticos, por lo cual el sexo del individuo se define en el momento de la fertilización (Wootton y Smith, 2014). Generalmente esto se refleja en la presencia de cromosomas sexuales, como los XY o ZW (Luna-Peña, 2017; Paredes-Martínez, 2018).

En cambio, en especies con DSA el sexo se determina en un periodo posterior a la fertilización de acuerdo a las condiciones ambientales en las que los organismos se encuentren durante los estadios tempranos de desarrollo (Luna-Peña, 2017).

El principal factor involucrado en este proceso es la temperatura, aunque también se ha reportado la influencia del pH y la salinidad (Luna-Peña, 2017; Wootton y Smith, 2014).

El grupo de los peces teleósteos, a diferencia de los tetrápodos, muestra una gran diversidad en los mecanismos de determinación sexual, incluyendo diversas formas de DSG y DSA e interacciones entre ambas (Wootton y Smith, 2014).

Por lo que es común que el sexo se vea influenciado por factores externos en etapas tempranas de desarrollo (Piferrer, 2008). Debido a que existe un periodo crítico durante el cual el sexo puede ser inducido mediante métodos con exposición a temperaturas (Luna-Peña, 2017).

Incluso es posible revertir el sexo en organismos sexual mente diferenciados de alguna especie gonocóristas aunque son necesarios mayores tiempos de exposición (Santi *et al.*, 2016).

Se han realizado diversos estudios para la determinación del sexo en etapas tempranas de desarrollo en especies de importancia económica especial mente en aquellas en las que uno de los dos sexos presenta ventajas comerciales o de cultivo (Luna-Peña, 2017; Paredes-Martínez, 2018).

III. ANTECEDENTES

3.1 Determinación sexual dependiente de la temperatura (DST)

En vertebrados la temperatura es el factor ambiental más común de determinación sexual ambiental (DSA) (Li *et al.*, 2014). Estudios recientes del efecto de la temperatura sobre la determinación del sexo se realizó en especies como:

La lubina (*Dicentrarchus labrax*) Piferrer (2008), realizó estudios con tratamientos que cubren un periodo de hasta aproximadamente 60 días (DPF), Con exposición a temperaturas altas (>17° C), resultaron en una proporción de sexos con preponderancia de machos.

Li *et al.* (2014), analizaron tratamientos con temperaturas de 36° C, en Tilapia (*Oreochromis niloticus*) con exposición de 22 días (DPF). En el cual determino que a temperaturas (>36° C), tiene un efecto masculinizante.

Otros estudios similares se realizaron en pejerrey californiano *Leuresthes tenuis* Brown *et al.* (2014), realizó dos experimentos con una duración de 49-94 días dependiendo de la temperatura de crianza. Con exposición a temperaturas (17, 21 y 25° C), la proporción de hembras aumento a medida que la temperatura disminuye.

En el Bagre africano *Clarias gariepinus* Santi *et al.* (2016), experimento con una duración de 70 DPE. La temperatura más alta de (36° C) tuvo un efecto de masculinización cuando se aplicó durante al menos 23 DPE.

Esto ocurre porque la enzima llamada aromatasa se encarga de transformar andrógenos en estrógenos esta enzima se transcribe a partir del gen CYP 19, que es en la que tiene efecto la temperatura. Si las temperaturas son altas hay mucha metilación del gen CYP 19 esta no se transcribe por lo que no hay aromatasa que produzca estrógenos por lo tanto no hay inhibición de la expresión de genes masculinos. (Rica *et al.*, 2014)

3.2 Efecto de la temperatura en el pejelagarto *A. tropicus*

Márquez-Pérez (1998), evaluó los efectos de la temperatura a 20, 25, 30 y 35° C en el desarrollo de embriones y el crecimiento de larvas de pejelagarto *A. tropicus*. Sus resultados indican que las temperaturas de 25 y 35° C, son las óptimas para obtener porcentajes de eclosión altos. Un rango de temperatura de 20 a 35° C no afecta la supervivencia; sin embargo afecta significativamente las tasas de crecimiento, por lo que los mejores valores de crecimiento para larvas se encuentran dentro del rango de 30 a 35° C.

García y Páramo (2000), evaluaron el efecto de la temperatura a 24, 29 y 34° C sobre el crecimiento y la alimentación de juveniles de pejelagarto *A. tropicus*. Al evaluar el factor de condición, la tasa instantánea de crecimiento, el porcentaje de incremento en peso y el alimento consumido individual. Pudieron observar que no existió diferencia significativa entre los tratamientos de 29 y 34° C, pero estos sí fueron diferentes de aquel de 24° C. Por lo que concluyen que el intervalo de 29 a 34° C es el apropiado para el crecimiento de la especie.

Vázquez-Gamas (2008), evaluó el efecto feminizante de la administración del esteroide 17- β estradiol en juveniles de pejelagarto *A. tropicus*. En el estudio reportan porcentajes de 60 y 100% de hembras empleando dosis de 50 y 100 mg por kg en el alimento usado en larvas del pejelagarto.

La temperatura es un factor ambiental fluctuante que influye marcadamente en la vida de los organismos principalmente en los estadios temprano de su desarrollo cuando son más sensibles a este parámetro (Brown *et al.*, 2014). Sin embargo, la información aún es incompleta y son muchos los elementos por estudiar. Es por ello, que el presente trabajo pretende aportar elementos que enriquezcan el conocimiento de la biología de las especies y contribuir con los esfuerzos para optimizar las prácticas de cultivo y producción de crías de pejelagarto.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivos General

Evaluar el efecto de la temperatura sobre la determinación del sexo en pejelagarto (*A. tropicus*).

4.2 Objetivos Específicos

- Medir el efecto de diferentes niveles de temperatura (20, 25, 30, 35° C y control) en la determinación del sexo en larvas del pejelagartos (*A. tropicus*).
- Medir el efecto de diferentes niveles de temperatura (20, 25, 30, 35° C y control) sobre el crecimiento y sobrevivencia en larvas del pejelagartos (*A. tropicus*).

V. HIPÓTESIS

Nula

Ho₁. La temperatura no influye sobre la proporción del sexo en juveniles del pejelagarto (*A. tropicus*).

Ho₂. La temperatura no afecta el crecimiento y supervivencia en juveniles de pejelagartos (*A. tropicus*).

Alternativa

Ha₁. La temperatura influye en la proporción del sexo en juveniles del pejelagarto (*A. tropicus*).

Ha₂. La temperatura afecta el crecimiento y supervivencia en juveniles de pejelagartos (*A. tropicus*).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Obtención de reproductores

Los reproductores fueron obtenidos del ejido Tamaulipas, municipio de Pijijiapan Chiapas (Figura 3). Se realizó una entrevista con pescadores de la comunidad debido a la dificultad que existe para capturar estos organismos en su hábitat, quienes indicaron que durante la temporada de lluvias estos organismos suben a las desembocaduras de los ríos en lugares con abundante vegetación acuática la cual ocupan para desovar, lo cual hacemás fácil su captura. Así mismo, se obtuvo una donación de tres ejemplares en buenas condiciones para el estudio. Estos organismos fueron transportados al Laboratorio de Reproducción Acuícola del Centro de Investigaciones Costeras de la UNICACH. Se realizó una aclimatación de 15 minutos a cada organismo y posteriormente se introdujeron en estanques de 2.5 m de diámetro con una profundidad de 1 m.



Figura 3. Ubicación de la salida a campo al ejido Tamaulipas municipio de Pijijiapan Chiapas.

6.2 Laboratorios de desarrollo experimental

El trabajo de investigación y fase experimental se elaboró en los laboratorios experimental acuícola y de nutrición acuícola del Centro de investigaciones costeras de la UNICACH (Figura 4) ubicada en el municipio de Tonalá Chiapas.



Figura 4. Ubicación geográfica del centro de investigaciones costeras de la UNICACH.
Donde se llevó a cabo la investigación y fase experimental.

6.3 Selección de reproductores

Se seleccionaron cuatro hembras con un peso promedio de 2.60 ± 0.58 kg y una longitud total de 40 ± 0.45 cm, se utilizaron ocho machos con un peso promedio 2 ± 0.20 kg.

Para la identificación entre hembras y machos se tomó en cuenta el tamaño, siendo la hembra más grande que el macho y el abultamiento del abdomen cuando se encuentran en un grado de madures avanzados. Posteriormente, se identificó el sexos de los pejelagartos (*A. tropicus*) y se les colocó una marca tipo espagueti en la base de la cola (Figura 5).

Según Chávez-Lomelí *et al.* (1989). Señalan que se tiene cierta dificultad para encontrar diferencias entre hembras y machos debido a que no presentan diferencias fenotípicas y/o dimorfismo sexual.

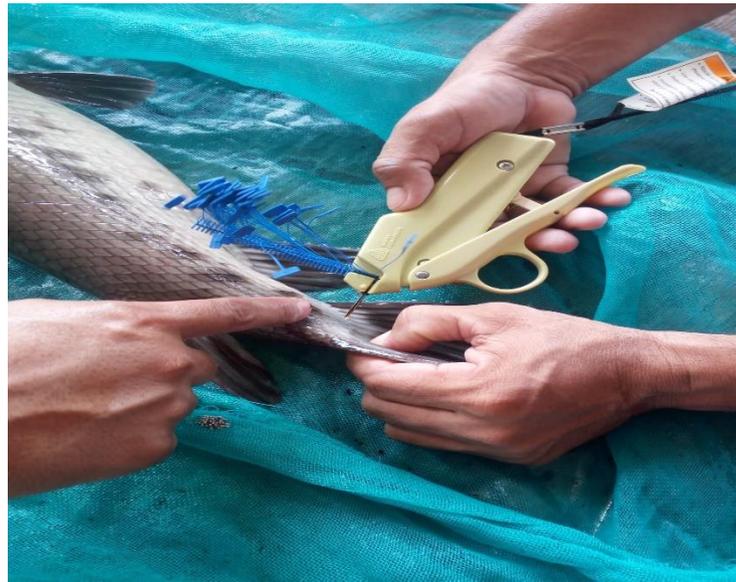


Figura 5. Marca de una hembra seleccionada como reproductora

6.4 Inducción al desove

Se preparó un estanque de 9 m de diámetro por 1.20 m de alto, simulando el lugar de chapaleo (consiste en lograr la reproducción simulando las condiciones de un sitio de desove). Se desinfectó el estanque con 500 ml de cloro diluido en 20 litros de agua se enjuagó y se dejó secar.

Para simular la vegetación se elaboraron manojos de hilos de plástico, se amarraron en grupos a tubos de PVC y se fijaron al fondo del estanque dejando espacio entre cada hilera de tubos, se procedió a llenar el estanque con una profundidad de 1 m y se dejó con aireación constante (Figura 6).



Figura 6. Estanque adecuado para la reproducción y desove de reproductores de pejelagartos *A. tropicus*.

Los organismos seleccionados fueron anestesiados con clorhidrato de lidocaína, en una solución de 20 mg/ml se agregó 5 ml de la solución por cada 1 l de agua. Se tomó el peso de los organismos, se estimuló a las hembras con una inyección de 1 ml (100 μ g/k) de la hormona gonadorelina por cada kg de peso (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dosis utilizadas y Fecha de inducción.

Hembra	Kg	Hormona	Fecha	Hora
1	2.725	2.7 ml	No ocurrió	
2	1.845	1.8 ml	No ocurrió	
3	2.590	2.5 ml	No ocurrió	
4	3.260	3.2 ml	30/10/2018	9:00 pm

Los machos fueron estimulados con una dosis de 0.50 ml (50 µg/k) de la hormona. Los organismos fueron recuperados de la anestesia en el estanque preparado previamente y se esperó una respuesta de 8 a 12 horas para el desarrollo del desove (Figura 7).



Figura 7. Condiciones para el desove artificial del pejelagarto *A. tropicus*

6.5 Desarrollo embrionario

Las larvas de *A. tropicus* fueron introducidas a los estanques experimentales a los seis días después de su eclosión (DPE) (Figura 8). La eclosión y el tiempo que tarde en consumir el saco vitelino dependerán de la temperatura de incubación.

Cuadro 2. Desove del pejelagarto y desarrollo embrionario durante el periodo octubre-noviembre del 2018

30/10/2018	31/10/2018	01/11/2018	02/11/2018	03/11/2018	04/11/2018	05/11/2018	06/11/2018
inicio 09:00 pm	termino 09:00 pm	Se retiró los pejes	24 horas eclosionan primeras larvas	48 horas aún siguen eclosionando	72 horas empiezan a desarrollarse los ojos, la boca, aletas y branquias	Da un total de 96 horas transcurre la alimentación endógena.	En 120 horas ocurre la primera alimentación exógena



Figura 8. Las larvas de *A. tropicus* presentaron nado libre después de los cuatro días. La primera alimentación fue suministrada a los cinco días.

6.6 Diseño experimental

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de experimentación acuícola de la UNICACH, el cual cuenta con un sistema de control térmico con unidades de enfriamiento mediante aires acondicionados tipo *mini Split* con el que se controló las temperaturas a 20 y 25° C.

Las otras temperaturas de 30 y 35° C, se controlaron con calentadores sumergibles de la marca Termo jett de 100 watts. Se utilizó, un quinto tratamiento o control, que se mantuvo a temperatura ambiente de $27\pm 2^{\circ}$ C que fue monitoreada durante todo el experimento.

El laboratorio cuenta con 50 tinas cilindrocónicas de 150 l, conectados a un sistema de recirculación continua el cual está provisto por filtros de arena sílica y lámparas UV (ultravioleta).

Cada tratamiento tuvo tres réplicas, en total se utilizaron 15 estanques cilindrocónico de 150 l (Figura 9). El ensayo consistió en la evaluación de cinco temperaturas (20, 25, 30, 35 y $27\pm 2^{\circ}$ C).

Se colocaron 200 larvas de pejelagartos *A. tropicus* en cada tanque distribuidas al azar para un total de 3 000 larvas para todo el experimento. Los organismos tenían un peso promedio inicial de 0.05 ± 0.01 g y longitud total de 2.129 ± 0.05 cm. El bioensayo se mantuvo durante un periodo de 90 días (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diseño experimental utilizado para estudiar el efecto de la temperatura en la determinación del sexo en larvas de pejelagartos *A. tropicus*.

No. De larvas	T1 (20° C)	T2 (25° C)	T3 (27±2° C) Control	T4 (30° C)	T5 (35° C)
1 000	R1	R 1	R1	R1	R1
1 000	R2	R2	R2	R2	R2
1 000	R3	R3	R3	R3	R3



Figura 9. Instalaciones del laboratorio experimental del CEICO de la UNICACH.

6.7 Alimentación de larvas y juveniles

Las larvas de pejelagarto *A. tropicus* fueron alimentadas con nauplios de *Artemia salina* después de 120 horas de la eclosionar y presentando nado libre de forma vertical (Gómez-Gómez, 2008; Márquez-Couturier *et al.*, 2015).

Antes de realizar los cambios de alimentación estos deben de ser graduales con la finalidad que los organismos se adapten a la nueva alimentación (Ramos, 2003; Gómez-Gómez, 2008). A los peces se les proporcionaron cinco alimentaciones cada tres horas durante el día, distribuidas en el siguiente horario: 07:00, 10:00, 13:00, 16:00 y 19:00 horas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Esquema de adaptación al consumo de alimento artificial.

NAU Y LM = Nauplios de *Artemia* recién eclosionados y larvas de mosco.

BAC Y LMC= Biomasa de *Artemia* congelada y larvas de mosco congelada.

AA= Alimento artificial de 45% de proteína y 16 % de grasa (Silver Cup).

Alimento	Días																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21 a 90								
NAU Y LM	-----																												
BAC Y LMC				-----																									
AA								-----																					

6.8 Biometrías

Se realizaron biometrías cada 15 días, registrándose peso con una balanza digital de la marca Denver instrument (Max= 5 000 g, d= 0.01 g). Se midió la longitud total y longitud patrón mediante un vernier digital modelo: 3 415 de la marca Control Company, (Max=150 mm, d= 0 mm) (Figura 10). A partir del segundo mes se utilizó un ictiómetro para organismos más grandes. Las biometrías se realizaron con el 30% de las larvas de cada replica.

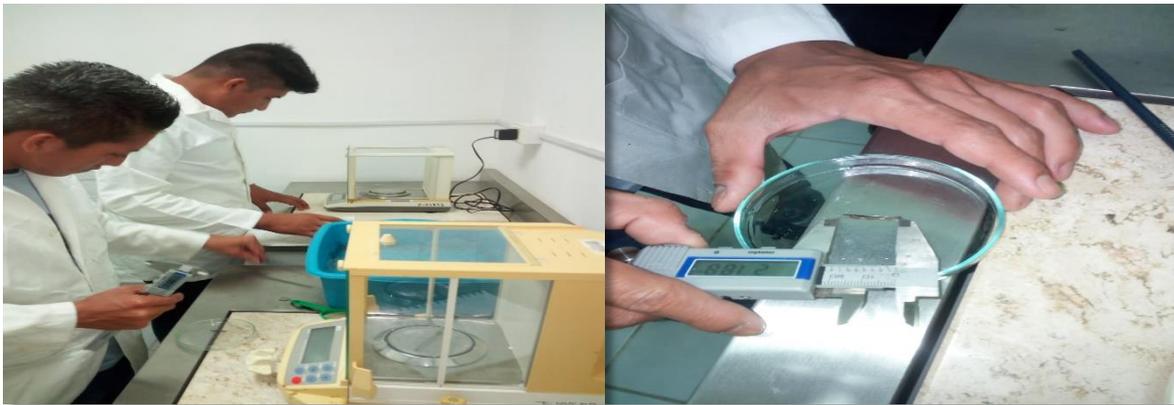


Figura 10. Materiales y equipo utilizados en las biometrías

6.9 Identificación del sexo

Después de haber expuesto los organismos a 90 días de experimento a temperaturas de 20, 25, 30, 35 y $27\pm 2^{\circ}$ C, se procedió a realizar la identificación del sexo a través de una intervención quirúrgica.

La identificación de las gónadas se realizó mediante una cirugía utilizando un método no invasivo y recomendado para la identificación del sexo en juveniles de pejelagartos *A. tropicus*. La intervención quirúrgica se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Sanidad Acuícola del centro de investigaciones costeras de la UNICACH.

6.9.1 Preparación del quirófano

Para la realización de la intervención quirúrgica es necesario preparar el área de trabajo, se inicia con la desinfección de la mesa de acero inoxidable con alcohol al 70%, se procede a cortar un pañal para adulto a la mitad, se adhiere a la mesa con tela adhesiva. Posteriormente se hidrata el pañal con agua destilada y se le agregan unas gotas de antibiótico Acrivelt (Figura 11).

Los materiales utilizados del equipo de disección junto con la alicata fueron esterilizados con un autoclave NOVATECH, modelo EV-30D, durante un tiempo de 20 minutos, con una temperatura de 120° C. Todos los días antes de realizarse la intervención quirúrgica a los peces.



Figura 11. **(a)** Preparación del área de operación. **(b)** Desinfección de los materiales utilizados en la cirugía.

6.9.2 Preparación del organismo

Primeramente se procedió a anestésiar los organismos con 5 ml de lidocaína comercial clorhidrato de lidocaína en una solución de 20 mg/ml, diluida en un litro de agua. Se esperaba de cuatro a seis minutos hasta asegurarse que no hubiera movimiento del opérculo.

Posteriormente se trasladaron al área de operación, se colocó el organismo con el vientre hacia arriba encima del pañal donde se hidrató y agregó 10 gotas de antibiótico Acrivelt. Con la ayuda de torundas con yodo se procedió hacer la antisepsia en el abdomen (Figura 12).

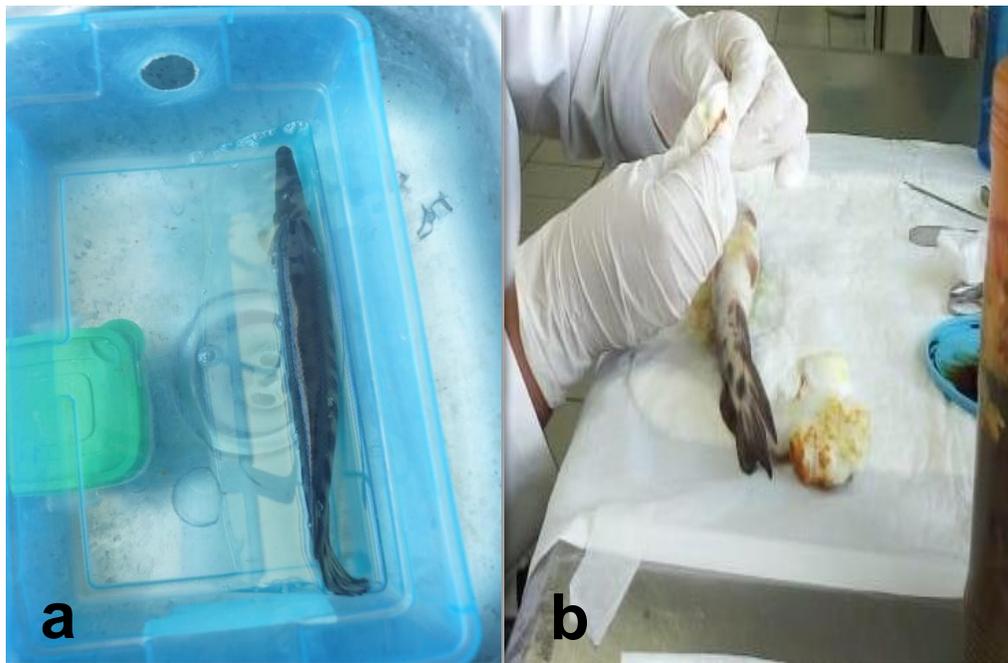


Figura 12. Proceso de anestesia en el pejelagarto *A. tropicus* (a) y (b) antisepsia sobre la piel con torunda impregnada con yodo veterinario.

6.9.3 Ejecución de la cirugía

Con la ayuda de un alicata se realizó una incisión en el abdomen entre las dos aletas pélvicas, posteriormente se procedió a realizar un segundo corte de 2 a 3 cm según el tamaño del pez, este corte se realizó con ayuda de unas tijeras, con mucho cuidado de no cortar ningún órgano. Para la identificación de la gónada se utilizaron unas pinzas de disección simple para sujetar el tejido, con un estilete abotonado se desplazaron los órganos para tener una buena visibilidad de las gónadas para así poder identificarlas (Figura 13).

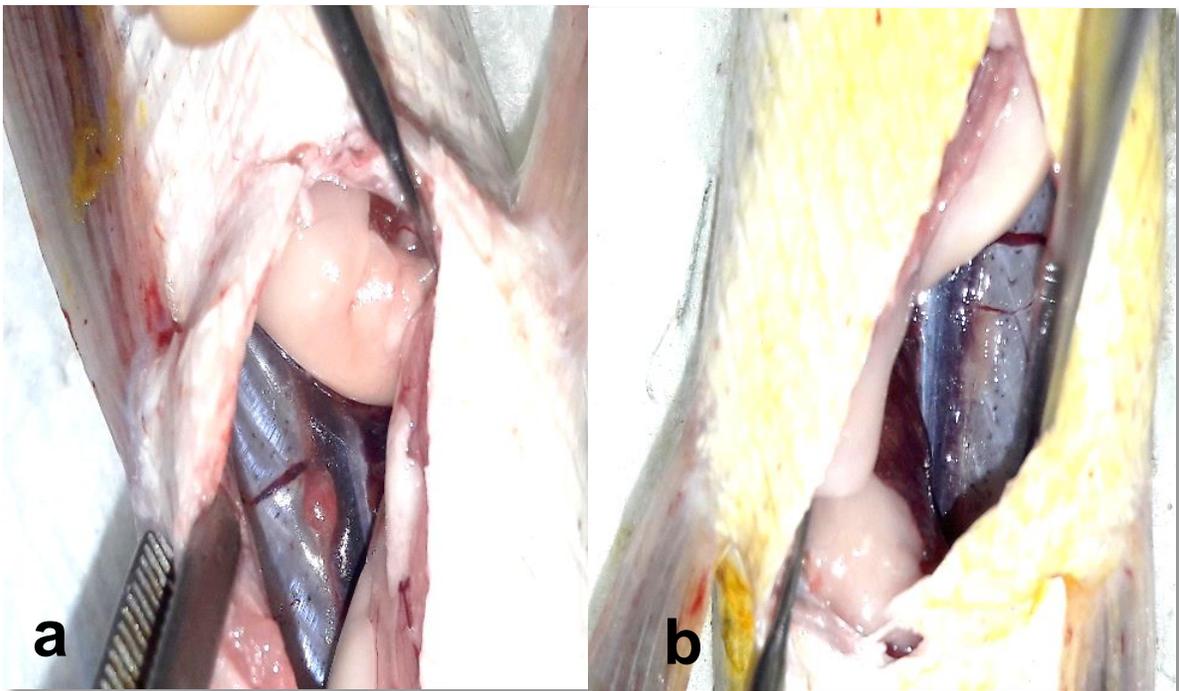


Figura 13. (a) Gónada de la hembra, (b) Gónada de un macho. El tamaño de la gónada va depender del tamaño de los organismos y de su alimentación.

6.9.4 Cierre de la cirugía

Después de la identificación de las gónadas se limpió con una torunda de algodón y antibiótico Acrivelt. Se unieron los tejidos y se le agregó pegamento cianoacrilato en la parte superior del tejido donde se realizó la cirugía para evitar que se despeguen los tejidos cortados. Asimismo, se realizó la colocación de una cinta microporosa (Figura 14).

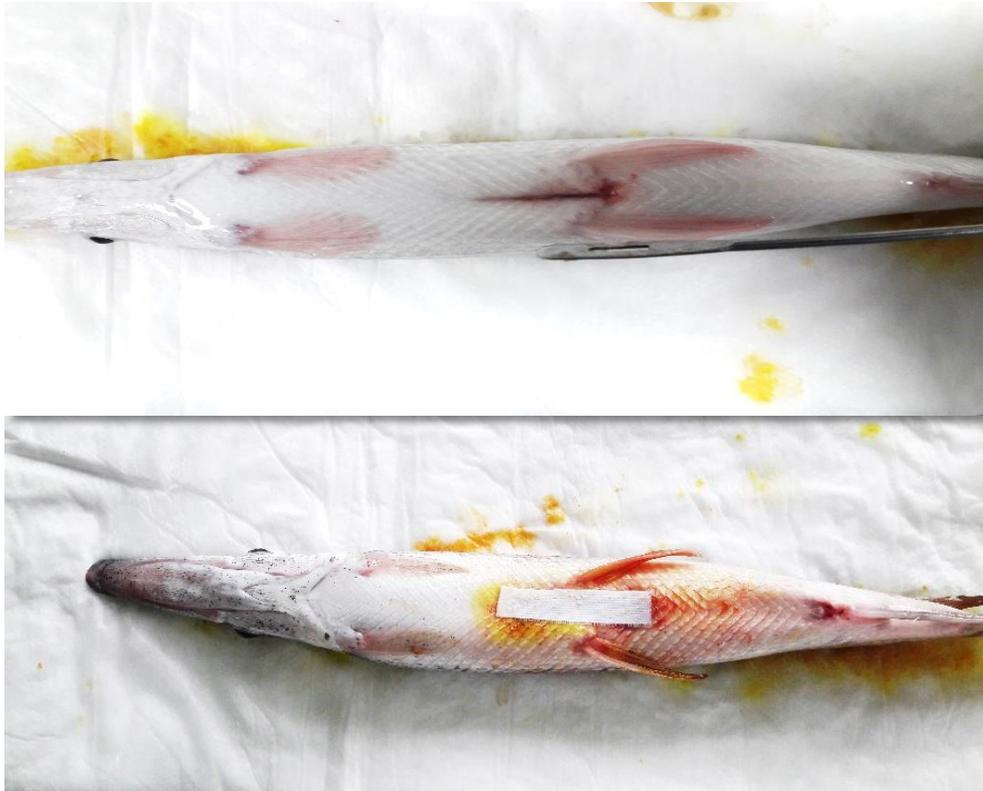


Figura 14. Cierre de la cirugía estéticamente adecuada (nos fijamos con cuidado que ninguna de las puntas de la cinta micro porosa estén levantadas de lo contrario agregamos pegamento cianoacrilato).

6.9.5 Análisis en microscopio

Cuando se dificultó la identificación de la gónada por observación directa. Se realizó el método histológico squash, la técnica consiste en cortar un pedazo de la gónada, la cual se coloca sobre un portaobjetos, se agrega unas gotas de colorante Giemsa al tejido y se presiona con un cubreobjetos (Wassermann y Bertolla-Alfonso, 2002).

La muestra fue analizada en un microscopio óptico de la marca Zeiss Primo Star. Equipado con una cámara digital Axioncam ERc 5c. Las imágenes fueron analizadas con el programa Zen 2011 (Figura 15).

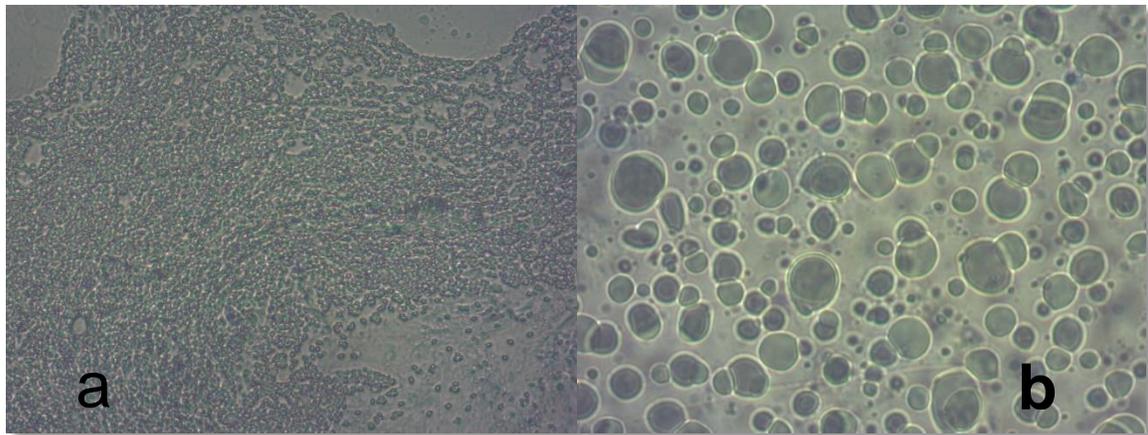


Figura 15. Tejido gonádico testicular con presencia de espermatozoides (a) y (b) ovocitos.
Imagen tomado con el objetivo 40x/0.65

6.9.6 Preparación del área de recuperación

El sistema de estanques utilizado para la reanimación de los organismos después del proceso de anestesia consta de 50 tanques cilindro cónicos con una capacidad de 150 l, conectados a un sistema de recirculación continua el cual está provisto por filtros de arena sílica y lámparas UV (ultravioleta) marca AQUATIC con capacidad de 150 watts, modelo: 025150.

Asimismo se cuenta con un reservorio de agua de 5.76 m³ de capacidad. Al igual que el sistema de agua también se puso en marcha el sistema de aireación el cual se realizó por medio de un blower marca Sweetwater modelo S53. Estos equipos se pusieron en operación antes de iniciar el experimento para determinar el funcionamiento óptimo de todos los equipos y red de distribución de agua.

A los estanques se les agrego 10 gotas de antibiótico Acrivelt, 250 g de sal de mar y se realizaron recambios de agua semanales para evitar crecimientos bacterianos en el sistema. Los organismos permanecieron en los tanques en promedio 15±3 días. Durante este tiempo no fueron alimentados para evitar que se les abra la herida (Figura 16).



Figura 16. Proceso de cicatrización de los organismos entre 15 y 18 días después de la operación.

6.10 Base de datos y análisis estadísticos

Se generó una base de datos empleando el programa Excel para Windows y posteriormente se aplicó las pruebas de normalidad y homocedasticidad de varianza a los datos evaluados (longitud, peso y supervivencia). Al cumplirse los postulados, se ejecutó un análisis de varianza de una vía (ANOVA). Al presentar diferencias significativas a una probabilidad de ($P < 0,05$) entre los tratamientos se realizó una prueba a posteriori, empleando a Tukey de muestras iguales.

Para la proporción de sexo, se realizó una prueba de chi cuadrada (χ^2) con probabilidad ($P < 0.05$) donde:

$X^2_{cal.} > X^2_{tab.}$: Se rechaza la hipótesis nula (H_0)

$X^2_{cal.} < X^2_{tab.}$: Se rechaza la hipótesis alterna (H_1)

Las pruebas estadísticas se realizaron con Statistica V. 7 (Software de análisis, Arizona, USA.) (Zar, 1996). La elaboración de las gráficas presentadas se realizó a través del Software SIGMAPLOT 12.3

VII. RESULTADOS

7.1 Peso con relación a las temperaturas

Los organismos fueron expuestos a cinco tratamientos con las siguientes temperaturas 20, 25, 27±2, 30 y 35° C. Los tratamientos mostraron diferencia significativa entre ellos ($F_{(4)}=168.1276$) con una $P<0.05$). Los tratamientos que mostraron diferencias significativas con respecto a la mejor respuesta de aumento en peso promedio fueron los peces que se sometieron a las temperaturas de 30 y 35 °C, con un peso promedio de 25.48 ± 1.41 y de 24.04 ± 2.17 g, respectivamente. Por otro lado, los peces que permanecieron a una temperatura de 20° C fueron los que presentaron el menor crecimiento con un peso promedio de 3.53 ± 0.18 gr (Figura 17).

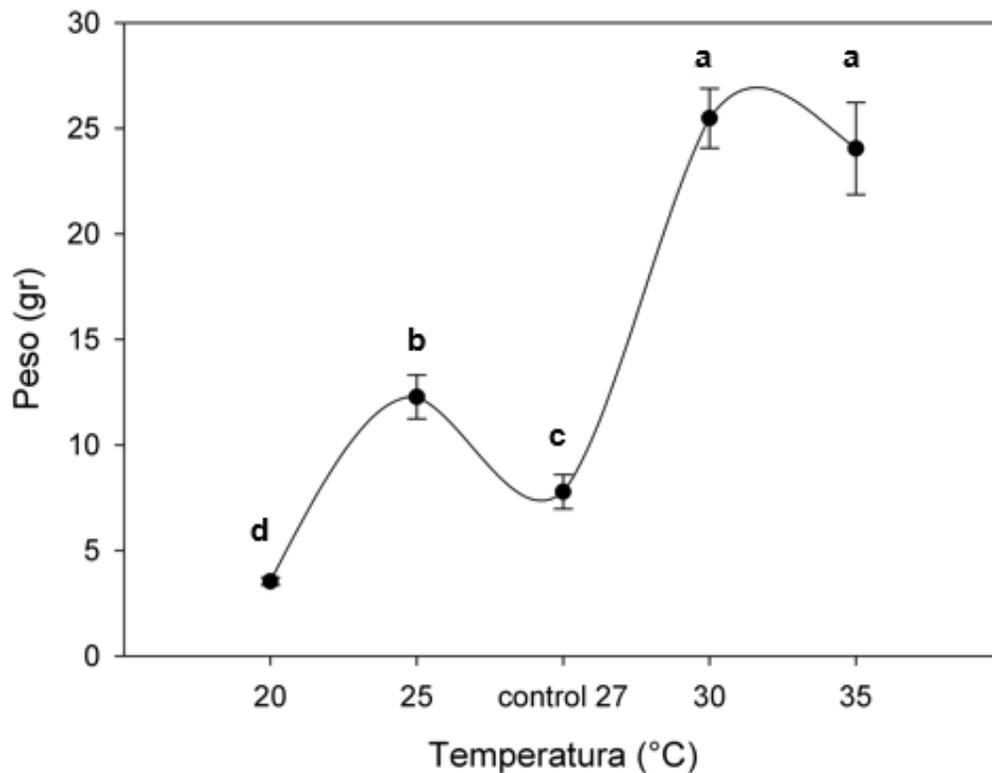


Figura 17. Presenta el peso final (gr) al terminar los 90 días del experimento en larvas de pejelagartos *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$)

7.2 Crecimiento con relación a las temperaturas

El crecimiento en longitud de los juveniles de pejelagartos *A. tropicus* durante los 90 días de experimentación presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{(4)}= 218.4090$) con una $P<0.05$) Los tratamientos de 30° C (18.28 ± 0.356 cm) y 35° C (17.56 ± 0.490 cm) tuvieron los valores más altos. En contraparte, los peces que estuvieron sometidos al tratamiento de 20 °C fueron los que presentaron el menor crecimiento con una longitud promedio de 10.13 ± 0.307 cm (Figura 18).

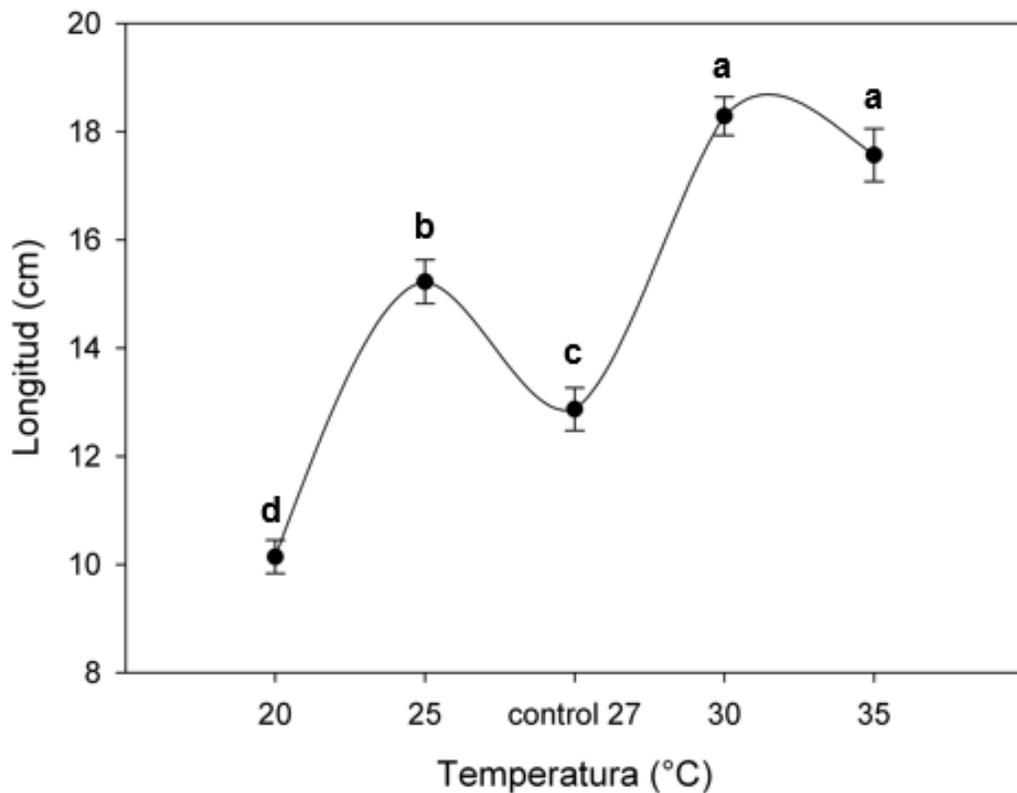


Figura 18. Presenta Longitud final (cm) al terminar los 90 días del experimento en larvas de pejelagartos *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$)

7.3 Supervivencia con relación a las temperaturas

Al comparar los porcentajes de supervivencia (Figura 3) de los pejelagartos *A. trópicus* expuestos a diferentes temperaturas presentaron diferencias significativas ($F_{(4)}=7.5957$) con una $P<0.05$), observando el mayor porcentaje de supervivencia en los organismos expuestos a temperaturas de 35° C con un valor promedio de $44.17\pm 6.66\%$ (**a**), seguido por el tratamiento de 30° C con una supervivencia de $39.67\pm 0.58\%$ y por el tratamiento de 25° C con una supervivencia de 39 ± 10.5 (**ab**). El tratamiento con la temperatura de 20° C fue el más bajo con una supervivencia de $32.17\pm 3.79\%$ (**b**) similar al tratamiento control de 27 ± 2 con una supervivencia de 33.67 ± 0.58 (**b**).

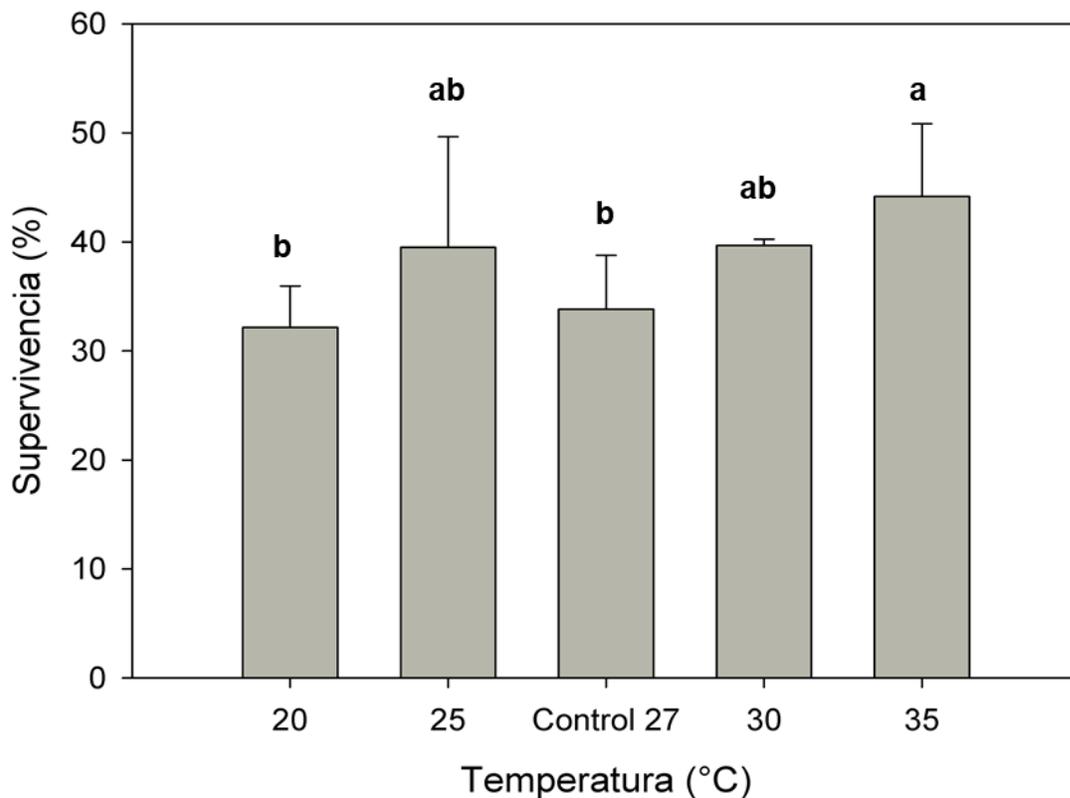


Figura 19. Expresa el porcentaje de supervivencia al terminar los 90 días del experimento en larvas de *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P<0.05$)

7.4 Proporción de sexos

Los mejores resultados esperados con respecto a la proporción del sexo en pejelagarto *A. tropicus* se obtuvieron en los tratamientos con temperaturas de 35° C con una proporción de sexo de 1:1.5 (hembra: macho); similar al tratamiento de 30° C que presenta una proporción de 1:2.5 siendo significativamente diferentes al resto de los tratamientos analizados(a). Se observó que la temperatura de 20° C fue el tratamiento que registró la menor proporción de hembras con una la relación de 1:15. Mientras que el tratamiento con la temperatura de 25° C tiene una proporción de 1:10 y el tratamiento control de 27±2 tiene una relación de 1:11 estos tres tratamientos son similares entre sí (b).

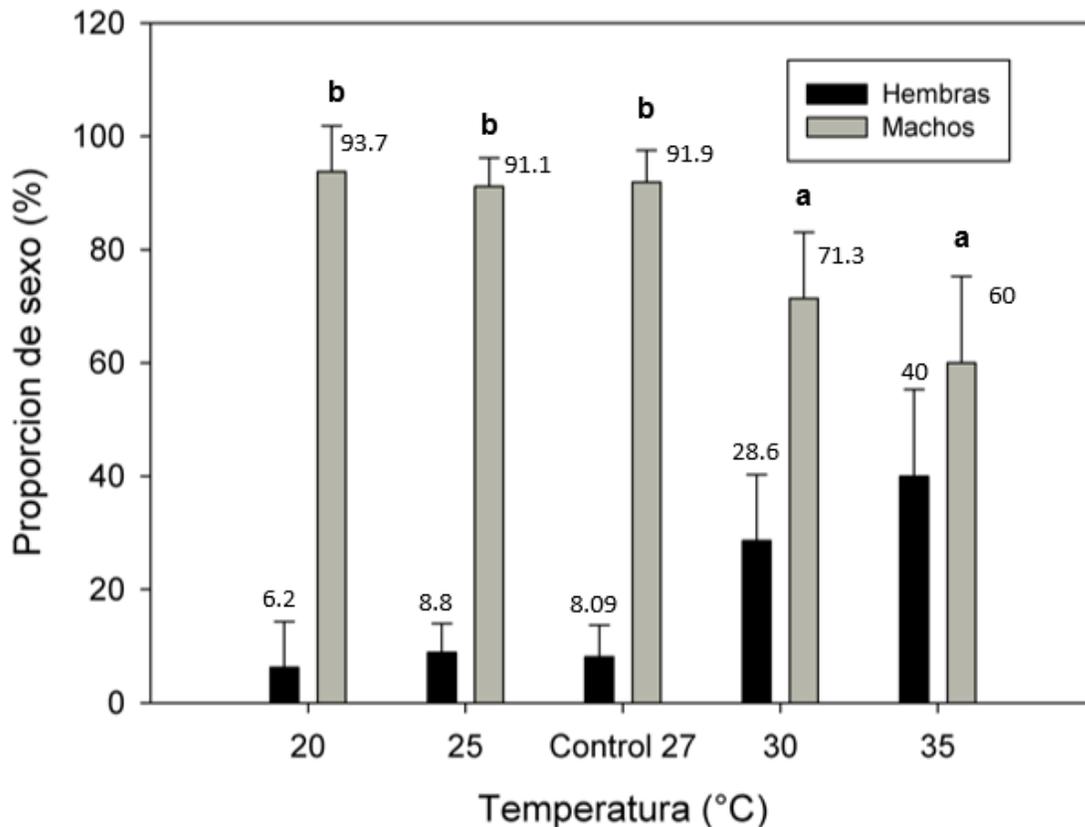


Figura 20. Expresa el porcentaje y proporción de sexos al finalizar el experimento en larvas de pejelagarto *A. tropicus*, sometidos a diferentes temperaturas. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

La prueba de Chi cuadrada (χ^2), determinó que la temperatura genera un efecto en la determinación del sexo en los juveniles de pejelagarto, ($X^2_{cal.}(52.5767379) > X^2_{tab.}(9.48772904)$), A partir de este análisis, se realizó la comparación entre los tratamientos para determinar cuál de las temperaturas evaluadas (20, 25, 30, 35 y control 27° C) son las que presentan mayor efecto en la determinación del sexo. Las temperaturas que generaron un efecto sobre la determinación del sexo en juveniles de pejelagartos fueron las que estuvieron a temperaturas de 30° C con una relación de 28.6% hembras y 71.3% machos, así como la temperatura de 35° C con 40% hembras y 60% machos con respecto al resto de los tratamientos (cuadro 5).

Cuadro 5. Temperaturas analizadas por medio una prueba de Chi cuadrada (χ^2) indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Combinaciones	Chi² calculada	Chi² tabla (0.05,1)	Hipótesis
1 vs 2	0.36083	3.84145882	Ho: No afecta la temperatura
1 vs 3	0.1454	3.84145882	Ho: No afecta la temperatura
1 vs 4	21.156	3.84145882	H!: si afecta la temperatura
1 vs 5	25.563	3.84145882	H!: si afecta la temperatura
2 vs 3	0.0502	3.84145882	Ho: No afecta la temperatura
2 vs 4	11.226	3.84145882	H!: si afecta la temperatura
2 vs 5	23.582	3.84145882	H!: si afecta la temperatura
3 vs 4	12.38	3.84145882	H!: si afecta la temperatura
3 vs 5	24.931	3.84145882	H!: si afecta la temperatura
4 vs 5	2.5116	3.84145882	Ho: No afecta la temperatura

7.5 Porcentaje total de hembras y machos

Al final del experimento, se sumaron los organismos obtenidos en cada tratamiento para sacar la cantidad de hembras y machos analizados estadísticamente en total se analizaron 430 organismos de los cuales 80 fueron hembras presentando un porcentaje total de la población de 18.36% y 350 machos con un porcentaje de 81.63%, la proporción en todo el experimento es de 1:4.3 hembras:machos.

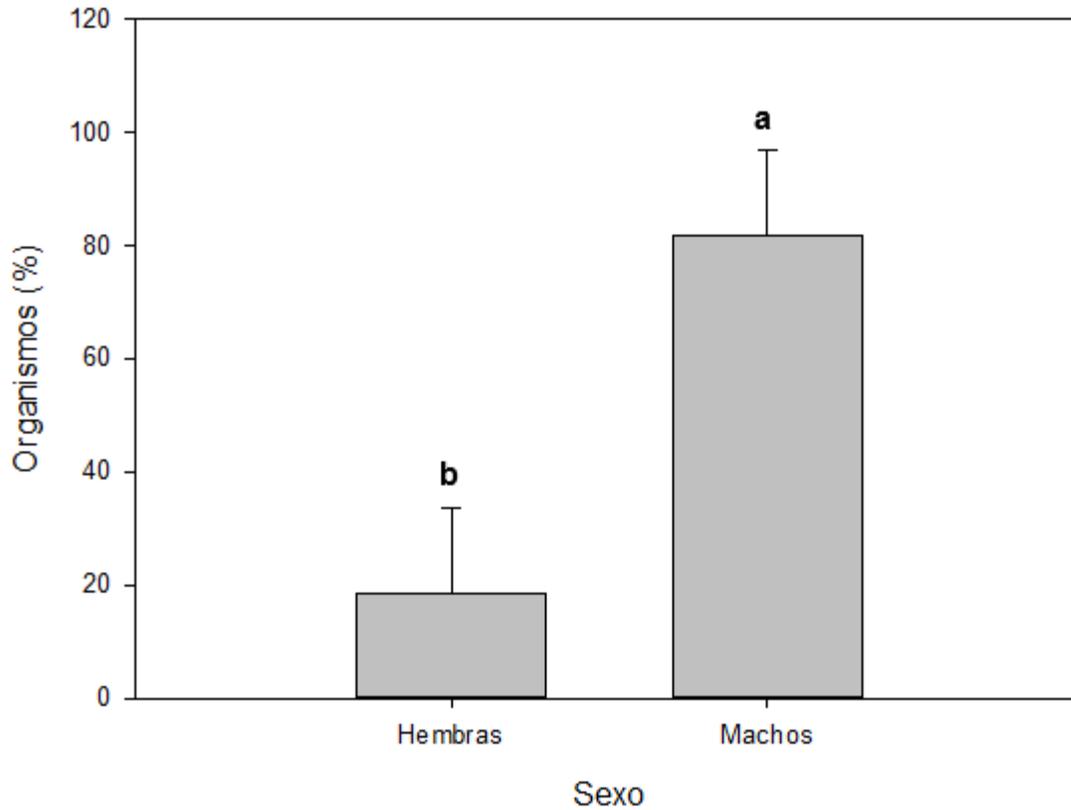


Figura 21. Porcentajes totales de hembra y machos de pejelagartos *A. tropicus* al finalizar el experimento. Letras desiguales indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

VIII. DISCUSIÓN

En el presente ensayo los juveniles de pejelagartos *A. tropicus*, estuvieron expuestos a diferentes temperaturas (20, 25, 30, 35° C) y control (temperatura ambiente); presentando la mayor ganancia en peso y longitud los organismos que estuvieron sujetos al tratamiento con temperatura de 30° C. Esta respuesta de crecimiento, está estrechamente relacionada por el efecto de la temperatura (Lemus *et al.*, 1993; Brander, 1995; Anguas-Vélez *et al.*, 2003; Pepe-Victoriano *et al.*, 2012; Sánchez-Velázquez *et al.*, 2022).

Esta misma respuesta, se ha observado en otras especies como es el caso de juveniles del pez lobo manchado *Anarhichas minor* (Imsland *et al.*, 2006) lumpo *Cyclopterus lumpus* y del bacalao *Gadus morhua* (Nytrø *et al.*, 2014). De acuerdo con (Martínez-Porchas *et al.*, 2009), quienes indican que existe una serie de elementos que perturban el crecimiento de los peces como son:

Nutrición, es un factor determinante en el crecimiento de los peces debido a que cada especie tiene distintos hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales específicos (Pepe-Victoriano *et al.*, 2012).

Sexo, es un factor que tiene que ver con la tasa de crecimiento. En algunas especies, el macho cuenta con una tasa de crecimiento más acelerada que la hembra, debido a que la hembra destina una mayor cantidad de energía en la producción de gametos y vitelogenina para propósitos de reproducción (Martínez-Porchas *et al.*, 2009). Sin embargo, en otros organismos sucede lo contrario, y es la hembra quien presenta mayores dimensiones corporales (Pruder, 2000).

Estrés, el estrés ambiental afecta significativamente la utilización y flujo de energía en un organismo debido a que hay un efecto directo sobre su metabolismo y a las reacciones de alarma que emite el sistema nervioso al percibir un estado de estrés (Davis y Mcentire, 2009).

Salinidad, los organismos acuáticos invierten una considerable cantidad de energía en la osmoregulación, debido a que el transporte activo de iones a través de las membranas celulares requiere de energía en forma de ATP (Kidder *et al.*, 2006). Cuando un organismo se encuentra en un ambiente en donde la salinidad

está lejos del rango óptimo, gasta una mayor cantidad de energía para mantener el equilibrio osmótico (Sardella y Brauner, 2008).

Talla y edad, una vez que el pez ha alcanzado su máxima talla, su tasa de crecimiento es nula y la energía que anteriormente era canalizada para el crecimiento ahora es dirigida hacia otras funciones (Sánchez-Velázquez *et al.*, 2022). Asimismo, la edad tiene un efecto similar al de la talla, pues a medida que aumenta la edad, disminuye la tasa de crecimiento (Handeland *et al.*, 2008).

Sistema endocrino, el crecimiento de los peces está regulado por la liberación de la hormona del crecimiento (HC). Esta hormona es pleotrópica, es decir que tiene un efecto sobre varias funciones del organismo, tales como la promoción del crecimiento, movilización de energía química desarrollo de gónadas, apetito y comportamiento social (Canosa *et al.*, 2007).

La temperatura es un factor que afecta directamente el metabolismo de los peces debido que son organismos ectotérmicos, a medida que aumenta la temperatura, también aumenta la tasa metabólica y viceversa (Lemus *et al.*, 1993).

Al incrementarse la tasa metabólica, también lo hace la demanda energética por lo cual, el organismo consume una mayor cantidad de alimento, esto quiere decir que a medida que la temperatura aumente y sobre pasa los rangos óptimos de la especie la tasa metabólica y el consumo de alimento seguirán incrementándose, pero la tasa de crecimiento comenzará a disminuir, ya que, aunque el organismo consuma una mayor cantidad de alimento, esta energía no será utilizada para el crecimiento, sino para satisfacer las necesidades de la elevación en el metabolismo (Lemus *et al.*, 1993; Martínez-Porchas, 2009; Sánchez *et al.*, 2022).

En la presente investigación, la supervivencia obtenida fue afectada por la temperatura. Se han observado resultados similares en otras investigaciones como es el caso de la cabrilla arenosa, *Paralabrax maculatofasciatus* y la tilapia *Oreochromis sp.* (Anguas-Vélez *et al.*, 2003; Bonilla *et al.*, 2018). Esto se debe, a que estas dos especies al igual que el pejelagarto son organismos poiquiloterms, capaces de aletargar su metabolismo ante bajas temperaturas afectando sus procesos fisiológicos (Bonilla *et al.*, 2018). Por esta razón, los organismos no presentaron mortandad y aunque el crecimiento fue bastante lento en la temperaturas de 20° C el balance energético favoreció el crecimiento de los organismos (Waedemeyer, 1996).

Por lo tanto los organismos mantenidos a temperaturas de 20 a 35° C no alcanzaron niveles de estrés térmico críticos (Márquez-Pérez, 1998). Esto permite sugerir que a temperaturas entre 20 y 35° C, no son letales para *A. tropicus* y para fines de cultivo 30° C, es la temperatura óptima para tener crecimiento homogéneo y satisfactorio (Handeland *et al.*, 2008).

Los datos obtenidos sobre la proporción del sexo, demostraron diferencias significativas, donde los tratamientos con mayor proporción de hembras fueron los tratamientos con las temperaturas más altas de 30 y 35° C con una relación de 1:2.4 y 1:1.5 respectivamente, estos datos concuerdan con lo encontrado por (Reséndez y Salvadores, 1983; Chávez-Lomelí *et al.*, 1989). En las poblaciones silvestres donde la relación de sexos fue casi de un macho por una hembra esto podría estar relacionado con el clima del área de estudio ya que reportan temperaturas entre 33 y 34° C (Reséndez y Salvadores, 1983).

Se han realizado estudios recientes, del efecto de la temperatura en la determinación del sexo en algunas especies como la tilapia *O. niloticus*, Pejerrey californiano *Leuresthes tenuis*, bagre africano *Clarias gariepinus*, lubina *Dicentrarchus labrax* (Piferrer, 2008; Brown *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2014; Santi *et al.*, 2016), demostraron que dependiendo de las temperaturas en el área de desove y de crianza, hasta llegar a la etapa donde el organismo ya tiene sus gónadas diferenciadas, la temperatura influye en la determinación del sexo de cada especie, como las antes mencionadas.

Esto ocurre, porque la enzima llamada aromatasa se encarga de transformar andrógenos en estrógenos esta enzima se transcribe a partir del gen CYP 19, que es en la que tiene efecto la temperatura (Piferrer, 2008; Luna, 2017). Si las temperaturas son altas, hay mucha metilación del gen CYP 19 esta no se transcribe por lo que no hay aromatasa que produzca estrógenos, por lo tanto, no hay inhibición de la expresión de genes masculinos (Rica *et al.*, 2014).

También existe la posibilidad que debido a factores genéticos y evolutivos, esta proporción sea diferente y que desde la historia evolutiva de estas especies, los machos sean el sexo predominante como estrategia evolutiva del *A. tropicus* (Márquez-Couturier, 2003). Esto concuerda con que los peces teleósteos, a diferencia de los tetrápodos, muestran una gran diversidad en los mecanismos de determinación sexual, incluyendo diversas formas de DSG y DSA e interacciones entre ambas (Wootton y Smith, 2014). Esto puede estar directamente vinculado con la proporción de individuos que participan en un desove, ya que la mayoría de las veces cada hembra desova en compañía de tres o hasta cinco machos (Contreras-Sánchez y Alemán, 1987).

IX. CONCLUSIONES

Con respecto a la proporción del sexo los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento con temperatura de 35° C, la proporción fue de 1 hembra por 1.5 machos, esta temperatura se podría utilizar de incubación para trabajos de repoblamiento.

La temperatura, si influye en las larvas del pejelagarto y está directamente relacionado con el crecimiento del organismo, los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento con temperatura de 30° C. Esta temperatura se podría ocupar en granjas de pejelagarto.

Los rangos de temperatura de 20 a 35° C si afectan la supervivencia de los organismos, pero los organismos expuestos a estas temperaturas no alcanzaron niveles de estrés térmico críticos. Esto permite sugerir que a temperaturas entre 20 y 35° C, no son letales para *A. tropicus*.

X. REFERENCIAS

- Abell, R, 2002. Conservation biology for the biodiversity crisis: a freshwater follow-up. *Conservation Biology*. 16(5): 1435–1437.
- Adams, J., Greenwood, P. y Naylor, C. 1987. Evolutionary aspects of environmental sex determination. *International Journal of Invertebrate Reproduction and Development*. 11(2): 123-136.
- Alemán, L., y Contreras-Sánchez, W. 1988. Algunas consideraciones sobre el pejelagarto *Lepisosteus tropicus* (Gill) y de sus hábitos alimenticios. En: Memorias del IX Congreso Nacional de Zoología, Villahermosa, Tabasco, México. Pp. 27-29.
- Allan, J. D., y Flecker, A. S. (1993) Biodiversity Conservation in Running Waters. *Bioscience*. 43: 32-43.
- Álvarez del Villar, J. 1970. Peces mexicanos (claves). Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. México. Pp. 166.
- Anguas-Vélez, B., Civera-Cerecedo, R. Goytortúa-Bores, E. y Rocha-Mez. S. 2003. Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo sobre el crecimiento de juveniles de la cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus*. *Revista de Hidrobiológica*. 13(4): 309-315.
- Bonilla, B. L., Montoya Bonilla, B., Gómez, J., y Caja, Á. (2018). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de Tilapia (*Oreochromis* sp) en Mamá Lombriz, Vereda Rio Blanco, Popayán, Colombia. *Teknos Revista Científica*, 18(1): 24-30.
- Brander, K. M. 1995. The effect of temperature on growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine. Science*. 52: 1-10.
- Brown, E. Baumann, H. y Conover, D. 2014. Efectos de temperatura y fotoperiodo en la determinación del sexo en peces. *Revista de biología y ecología marina experimental*. 460: 39-43.
- Busing, A. y William. 1998. Peces de las aguas continentales de Costa Rica. 2da edición. *Editorial Universidad de Costa Rica*. Pp. 468.
- Canosa, L. F., Chang, J. P. y Peter, R. E. 2007. Neuroendocrine control of growth hormone in fish. *General and Comparative Endocrinology*. 151:1-26.
- Carta Nacional Pesquera. (2004) 4ta Sección Pp. 50-52.

- Castro-Mejía, J., Espindola-Ronquillo, Y., Castro-Mejía, G. y Cremiux-Grimaldi, J. 2009. Efecto de dos dietas proteicas en el crecimiento y sobrevivencia de prejuvenes de *Atractosteus tropicus* Gill 1863. *Revista BIOCOT*. Universidad nacional autónoma de México. 2(8): 77-88.
- Chávez-Lomelí, M., Matthews A. E. y Pérez-Vega, M. 1989. Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. INIREB-FUCID. Xalapa, Veracruz, México. Pp. 222.
- Contreras-Sánchez, W. M. 1990. Monitoreo de las poblaciones de pejelagarto *Atractosteus tropicus* en el estado de Tabasco, México. Informe técnico. SEDUE. Pp. 60.
- Contreras-Sánchez, W. y Alemán, L. 1987. Aspectos reproductivos y desarrollo embrionario del pejelagarto *Lepisosteus tropicus* (Gill) en el Estado de Tabasco. En Memorias del IX Congreso Nacional de Zoología. Pp. 34.
- Davis, K. y McEntire, M. 2009. Comparison of the cortisol and glucose stress response to acute confinement among white bass, *Morone chrysops*, striped bass, *Morone saxatilis* and sunshine bass, *Morone chrysops* x *Morone saxatilis*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 40: 567-572.
- De la Cruz-Rodríguez, M. 2008. Descripción histológica del desarrollo gonádico y diferenciación sexual del pejelagarto, *Atractosteus tropicus*, Gill; 1863. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias biológicas. Villahermosa Tabasco, México.
- Dudgeon, D., Arthington, A. y Gessner, M. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Ecosystems*. 81: 163-182.
- Espinosa-Pérez, H. 2014. Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:450-459.
- Gómez-Gómez, M. A. 2009. Diseño y operación de un laboratorio de producción de juveniles de pejelagarto (*Atractosteus tropicus* Gill, 1863) en Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México. Tesis de licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Facultad de Biología, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

- Gómez-González, A., Velázquez-Velázquez, E. Rodiles-Hernández, R. González-Díaz, A. González-Acosta, A. y Castro-Aguirre, J. 2012. Lista sistemática de la ictiofauna en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83(3): 674-686.
- Gonzales, M., Mendoza, R. y Aguilar, C. 2008. Control reproductivo del catán (*Atractosteus Spatula*). *Ciencia UANL*. 4(11): 352-365.
- González-Arévalo, E. 2006. Diseño y operación de un laboratorio de producción de alevines de pejelagarto *Atractosteus tropicus* (Gill, 1863). En el municipio de Comalcalco, Tabasco, México. Tesis Ingeniero Pesquero en Recursos Acuáticos. Universidad autónoma de Nayarit. México.
- Handeland, S. Imsland, A. y Stefansson, S. 2008. El efecto de la temperatura y el tamaño de los peces sobre el crecimiento, el consumo de alimento, la eficiencia de conversión de alimentos y la tasa de evacuación del estómago de los smolts del salmón del Atlántico. *Revista de Acuicultura*. 283: 36-42.
- Hernández-Vidal, U. 1999. Punto crítico de no retorno en larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus* (Gill 1863). Tesis de licenciatura. Universidad Juárez autónoma de Tabasco. México.
- Hernández-Vidal, U. 2002. Identificación del sexo y evaluación de la inducción Hormonal en el pejelagarto *Atractosteus tropicus*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Imsland, A. K., Foss, A., Sparboe, L. O. y Sigurdsson, S 2006. The effect of temperature and fish size on growth and feed efficiency ratio of juvenile spotted wolffish *Anarhichas minor*. *Journal of Biology of Fishes*. 68(4): 1107-1122.
- Kidder, G. W., Petersen, C. W. y Preston, R. L. 2006. Energetics of osmoregulation: II. Water flux and osmoregulatory work in the euryhaline fish, *Fundulus heteroclitus*. *Journal of Experimental Zoology*. 305:318-27.
- Lemus, M. J., Chung, K. S. y Holt, G. J. 1993. Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de juveniles de *Petenia kraussii* (Pisces: Cichlidae): relación ARN/ADN. *Revista de Biología Tropical*. Suplemento 41 (1): 45-48.

- León, L. y Aguilar, R. 1978. Estudio sobre la biología y el cultivo artificial del manjuari *Atractosteus tristoechus*. Ministerio de la Industria Pesquera. Dirección Ramal de Acuicultura, Investigación No. 85, Cuba.
- Li, C. G., Wang, H., Chen, H. J., Zhao, Y., Fu, P. S. y Ji, X. S. 2014. Differential expression analysis of genes involved in high-temperature induced sex differentiation in Nile tilapia. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part B*. 177-178: 36-45.
- Luna-Peña, S. A. 2017. Expresión genética de la aromatasa *cyp19a1a* durante la reversión sexual en el cíclido joya, *Hemichromis guttatus*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. México.
- Márquez-Couturier, G. 1999. Biología y Tecnología para el Cultivo del pejelagarto en el sureste de México. En: Memorias de la IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuicultura SEMARNAP-INP-DGIC. Cuernavaca, Morelos 19-21 de octubre 1999. México. pp. 265-268.
- Márquez-Couturier, G. 2002. Estudio poblacional y estrategias para el uso sostenible del recurso pejelagarto *Atractosteus tropicus* en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Informe final. Fondo de investigación para la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (FIRBCENTLA) y Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. México. Pp. 70.
- Márquez-Couturier, G., Contreras-Sánchez, W. M., Hernández-Vidal, U. y Hernández-Franyutti, A. A. 2003. Estudio poblacional y estrategias para el uso sostenible del recurso pejelagarto *Atractosteus tropicus* en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Informe final. Fondo; FIRCENTLA-UJAT. Villahermosa, Tabasco, México. Pp. 439-446.
- Márquez-Couturier, G., Vázquez-Navarrete, C. J., Contreras-Sánchez, W. M. y Álvarez-González, C. A., 2015. Acuicultura Tropical Sustentable. Una estrategia para la producción y conservación del pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en Tabasco, México. 2da. Edición. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.

- Márquez-Pérez, H. 1998. Efectos de la temperatura en el desarrollo de embriones y el crecimiento de larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus* bajo condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura. División de ciencias biológica. Universidad Juárez autónoma de Tabasco. Villahermosa Tabasco. México.
- Martínez-Porchas, M. Martínez-Córdova, L. y Ramos-Enríquez, R. 2009. Dinámica de crecimiento de peces y crustáceos. *Revista electrónica de Veterinaria*. Vol. 10 (10): 1-16.
- Mendoza, R., Aguilera, C. Montemayor, J. y Márquez, G. 2000. Biología de los *lepisosteidos* y estudios orientados hacia la recuperación de las poblaciones naturales del catán *Atractosteus spatula*. Memorias de la IV Reunión de Redes de Investigación en Acuicultura. SEMARNAP-INP-DGIC. Cuernavaca, Morelos 19-21 de Octubre 1999. México. Pp 103-119.
- Nakamura, M., Kobayashi, T. Chang, X. y Nagahama, Y. 1998. Gonadal sex differentiation in teleost fish. *The Journal Experimental Zoology*. 281: 362-372.
- Naylor, C. Adams, J. y Greenwood, P.J., 1988. Variation in sex determination in natural populations of a shrimp. *Journal of Evolutionary Biology*. 1: 355-368.
- Nytrø, A. V., Vikingstad, E. Foss, A. Hangstad, T. A. Reynolds, P. Eliassen, G. Elvegård, T. A. Falk-Petersen, I. B. Imsland, A. K. 2014. The effect of temperature and fish size on growth of juvenile lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.). *Aquaculture*. 434: 296-302.
- Palacios, E., Rosales, Y. y Rabinovich, G. 2015. Efecto del fotoperiodo y temperatura sobre la maduración y reproducción de *Cynoscion phoxocephalus* (Corvina-Cherela) en la zona norte del Perú. *Manglar*. 12 (2): 3-10.
- Paredes-Martínez, A. E. 2018. Descripción de la gonadogénesis e identificación del periodo de diferenciación sexual de *Totoaba macdonaldi*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. México.
- Pepe-Victoriano, R., Silva, A. Vega, A. Araya, M. y Cornejo, L. 2012. Efecto del aumento de la temperatura, frecuencia de alimentación y ración de alimento

- en el crecimiento de juveniles turbot *Psetta máxima* *International Journal of Morphology*. 30(3): 902-907.
- Piferrer, F. 2008. Epigenética de la determinación del sexo en los peces: cómo la temperatura durante las fases larvarias determina la proporción de sexos en la lubina y su aplicación a la acuicultura para la obtención de un mayor número de hembras. Instituto de Ciencias del Mar. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Pp. 37-49.
- Pruder, G. D. 2000. Biosecure Zero-Water Exchange Shrimp Production Systems. *J. Ocean Univ. Qindago*. 1(30): 92-106.
- Ramón, Z. F. 2003. Frecuencia de alimentación y su efecto sobre el desarrollo, crecimiento y supervivencia de las larvas del pejelagarto *Atractosteus tropicus* en condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.
- Reséndez-Medina, A. y Salvadores-Baledón, M. L. 1983. Contribución al conocimiento de la biología de pejelagarto *Atractosteus tropicus* (Gill) y la tenguyaca *Petenia splendida* (Günther) del estado de Tabasco. *Biótica*. 8 (4): 413-426.
- Rica, I., Grau, G. Rodríguez, A. y Vela, A. 2014. Inhibidores de la aromatasa en la edad pediátrica. *Rev Esp Endocrinol Pediatr*. (5): 79-84.
- Rodiles-Hernández, R. González-Díaz, A. González-Acosta, A. Soria-Barreto, M. y Espinosa-Pérez, H. 2013. Ictiofauna. En: La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Chiapas, México. Pp. 283-297.
- Rodiles-Hernández, R. González-Díaz, A. y Chan-Sala, C. 2005. Lista de Peces Continentales de Chiapas, México. *Hidrobiologica* 15 (2): 245-253.
- Rodríguez, F., Márquez, G. y Páramo, S. 1997. Evaluación del uso de cladóceros y nauplios de *Artemia* en la alimentación de larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus*. En: Memoria, semana de divulgación y video científico de la UJAT 1997. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. Pp 72-74.

- SAGARPA, 2004. Diagnóstico de los centros acuícolas de Chiapas. Informe técnico. Subdelegación Federal de la SAGARPA en Chiapas.
- Sánchez-Velázquez, J., Peña-Herrejón, G. A., de León-Ramírez, J. J. y García-Trejo, J. F. 2022. Alimentación no tradicional para mejorar el rendimiento del crecimiento de peces en condición sub y supra-óptima de temperatura. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*. 5(8): 31-41.
- Santi, S., Gennotte, V., Toguyeni, A., Mélard, C., Antoine, N. y Rougeot, C. 2016. Thermosensitivity of the sex differentiation process in the African catfish, *Clarias gariepinus*: Determination of the thermosensitive period. *Aquaculture*. 455: 73-80.
- Sardella, B. A., y Brauner, C. J. 2008. The effect of elevated salinity on 'California' Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *O.urolepis hornorum*) metabolism. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 148: 430-436.
- Sievert, B. A., Paukert, C. P., Tsang, Y.-P. y Infante, D. 2016. Development and assessment of indices to determine stream fish vulnerability to climate change and habitat alteration. *Ecological Indicators*. 67:403-416.
- Toledo-Solís, F. J. 2013. Ontogenia y caracterización de las enzimas digestivas de *Cichlasoma trimaculatum* (mojarra tahuina). Tesis de maestría. División académica de ciencias biológicas. Universidad Juárez autónoma de Tabasco. México.
- Valenzuela N, y Lance V, 2004. Temperature-dependent sex determination in vertebrates. Smithsonian Books. Washington USA. Pp. 201
- Vázquez-Gamas, A. 2008. Evaluación del efecto feminizante de la administración del esteroide 17- β -estradiol en juveniles del pejelagarto *Atractosteus tropicus*. Tesis de Licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- Velázquez-Velázquez, E. Contreras-Balderas, S. Cisneros, D. y Gonzales, A. 2013. Riqueza y diversidad de peces continentales. En: La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso

- de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Chiapas, México. Pp. 275-282.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., Formentin, J. M. Hoegh-Guldberg, O. y Bairlein, F., 2002. Ecological responses to recent climate change, 66: 389-395.
- Wassermann, G. J. y Bertolla-Afonso, L. O. 2002. Validation of the aceto-carminic technique for evaluating phenotypic sex in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Ciência Rural*, 32(1): 133-139.
- Weademeyer, G. A. (1996) *Physiology of Intensive Culture Systems*. Chapman and Hall. New York. Pp. 1-246.
- Wiley, E. O. 1976. The phylogeny and biogeography of fossil and recent gars (Actinopterygii: Lepisosteidae). Miscellaneous Publication. The University of Kansas, Lawrence. Museum of Natural History. 64:1-111.
- Wootton, R. y Smith, C. 2014. Reproductive biology of teleost fishes. Pp. 472.
- Zacarias-Sánchez, A. A. (2003). Efecto del horario de alimentación en el crecimiento y supervivencia de larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus*. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco, México.
- Zar, J.H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Tercera Edición. Prentice Hall. N. J. USA.