IIH-09-2021

Guatemala, 05 de abril de 2021

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final "**Diversificación de la acuicultura en Guatemala: evaluación de peces nativos de la Costa Sur, con potencial acuícola: FASE I"** con partida presupuestal 4.8.26.0.30, coordinado por el PhD (c) Josué Rodolfo García Pérez y avalado por el Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas (IIH) del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación 2020, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del informe final y del manuscrito científico.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

"Id y enseñad a todos"

PhD (c) Josué Rodolfo García Pérez
Coordinador proyecto FES1CU

Dr. Pedro Julio García Chacón
Coordinador del Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Dirección General de Investigación

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Informe final

Diversificación de la acuicultura en Guatemala: evaluación de peces nativos de la Costa Sur, con potencial acuícola: FASE I.

Equipo de investigación:

Coordinador

Josué Rodolfo García Pérez

Investigadora

Lucia Gabriela López Ruano

Guatemala, 05 de abril de 2021

Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Universidad de San Carlos de Guatemala

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas
Ing. Agr. Saúl Guerra
Coordinador del Programa Universitaria Recursos Naturales y Ambiente

PhD (c) Josué Rodolfo García Pérez
TA. Lucia Gabriela López Ruano

Otros colaboradores:
TA. Marvin Jeraldo Xajil Sabán (Epesista)
Lic. Carlos Mazariegos Ortiz (Encargado del Campus del Mar CEMA-USAC)
PhD. Elisa Blanda

Agradecimientos especiales

- Programa de reproducción de especies nativas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Lic. Fidel Morales y Licda. Sofía Alvizuris, Empresa ACUAMAYA. Por la donación de equipo menor de laboratorio, y la vinculación con los pescadores de la RNUMM.
- Licda. Mirell Ramírez, Centro de Conservación Marina AGHN. Por la vinculación con los pescadores de la RNUMM.
- Lic. Luis Escobar y Lic. Manoel Cifuentes, Atunera Nacional S.A. Por la donación de harina y aceite de pescado, para la formulación de dietas experimentales.
- Lic. Alexei Gutierrez y Licda. María José Mendoza, Finca acuícola Marialinda. Por la donación de tilapias para la prueba organoléptica.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores. Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.4.41. durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación de Recurso Naturales y Ambiente.

Índice de contenido general

1. Resumen....6
2. Palabras clave....6
3. Abstract and keyword....7
4. Introducción....8
5. Planteamiento del problema....9
6. Preguntas de investigación....10
7. Delimitación en tiempo y espacio....10
8. Marco teórico....10
9. Estado del arte....13
10. Objetivo general....14
11. Objetivos específicos....14
12. Hipótesis (si aplica)....14
13. Materiales y métodos....15
14. Vinculación, difusión y divulgación....26
15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados....27
16. Análisis y discusión de resultados....50
17. Conclusiones....55
18. Impacto esperado....56
19. Referencias....57
20. Apéndice....63

Índice de tablas

Tabla 1. Categoría de contenido de estómago de *Amphilophus trimaculatus*…….. 18
Tabla 2. Procedimiento histología de gónadas de *Amphilophus trimaculatus*…… 20
Tabla 3 Protocolo de alimentación juveniles de *Amphilophus trimaculatus*…….. 24
Tabla 4: clasificación de los ítems de mayor frecuencia en *Amphilophus trimaculatus*…… 32
Tabla 5: parámetros zoométricos de reproductores de *Amphilophus trimaculatus*…… 41
Tabla 6. Categoría de contenido de estómago de *Amphilophus trimaculatus*…….. 49

Índice de figuras

Figura 1: Mapa del área de captura de organismos *Amphilophus trimaculatus*…… 16

Figura 2: Biometría realizada para cada uno de los organismos. ……..…….. 17

Figura 3: distribución de talla (Peso y largo total) en los meses de monitoreo. …… 28

Figura 4: Proporción de sexos, peso, largo total de los organismos capturados…… 28

Figura 5: Relación talla-peso de *Amphilophus trimaculatus*. ……..…… 29

Figura 6: Factor de condición de Fulton en los meses de monitoreo. ……..…… 30

Figura 7: Alimentos consumidos por *Amphilophus trimaculatus*……..…… 31

Figura 8: Relación de los ítems alimenticios en la población de *Amphilophus trimaculatus.* 34

Figura 9: Relación de los ítems alimenticios en la población de *Amphilophus trimaculatus* por los meses evaluados. ……..……..……..…….. 35

Figura 10: Ovario y testículo de *Amphilophus trimaculatus* sexualmente reproductivo. a: ovario; b: testículo……..……..……..……..…… 36

Figura 11: Testículo de *Amphilophus trimaculatus* sexualmente reproductivo. …….. 37

Figura 12: Ovario de *Amphilophus trimaculatus* sexualmente reproductivo. …….. 37

Figura 13: Grado de madurez gonadal, identificación de los estadios III – VI en *Amphilophus trimaculatus*……..……..……..……. 38

Figura 14: Índices gonadosomático (IG) y hepatosomático (IH) en *Amphilophus trimaculatus*. ……..……..……..……..…… 39

Figura 15: Diferentes patrones de coloración en *Amphilophus trimaculatus*. ……. 40

Figura 16: diferenciación de morfológicas de organismos producidos en cautiverio. ……. 42

Figura 17: Proceso de desove en *Amphilophus trimaculatus*. ……..…… 44

Figura 18: Larva del saco vitelino. ……..……..……..…… 45

Figura 19: Larva de preflexión. ……..……..……..…… 46

Figura 20: Larva en Flexión. ……..……..……..…… 46

Figura 21: Larva en posflexión. ……..……..……..…… 47

Figura 22: Etapa juvenil……..……..……..…… 48

Diversificación de la acuicultura en Guatemala: evaluación de peces nativos de la Costa Sur, con potencial acuícola: FASE I

1. Resumen

Con la falta de diversificación de especies de peces para el consumo local y el descenso de la producción pesquera continental en Guatemala, la acuicultura surge como una alternativa, que promueve satisfacer la demanda de productos hidrobiológicos. La mojarra colorada (*Amphilophus trimaculatus*) es una especie nativa, altamente comercializada al sur de Guatemala, la cual recibe una fuerte presión de la pesca artesanal. Esta especie presenta características favorables para ser propuesta como nueva especie acuícola. Por lo tanto, el presente estudio evaluó la biología y el potencial acuícola de la especie *A. trimaculatus*, con el fin de determinar la base biológica y así poder determinar la tecnología de cultivo. Según los datos biológicos recolectas se observa que *A. trimaculatus* posee patrón de crecimiento alométrico negativo ($b > 3$), presenta hábitos omnívoros con tendencia carnívora; con preferencia de peces y camarón durante todo el año. Se observó que la talla de primera madurez sexual fue calculada 10.16 cm para hembras y 11.24 cm para machos , el período de desove es de febrero a septiembre, alcanzando la mayor reproducción de junio a julio. Por otro lado, organismos del sistema natural fueron colocados en sistemas de cautiverio, logrando acondicionarlos y reproducirlos con éxito. En general se observó una productividad de 37 huevos / g de peso hembra, con una tasa de eclosión del 95.4%. En los ensayos de crecimiento se alcanzó una tasa de crecimiento del 2.42% en 226 días de cultivo en un sistema extensivo de producción, con alimentos balanceados disponibles en la industria acuícola.

2. Palabras clave

Amphilophus trimaculatus, mojarra colorada, acuicultura, biología de peces

3. Abstract and keyword

The lack of diversification of fish species for local consumption and the decrease of fish population in freshwater. The aquaculture emerges as an alternative, which encourages to keep the demand for hydrobiological products. The three spot cichlid (*Amphilophus trimaculatus*) is a native species, and highly commercialized in southern Guatemala. Unfortunately, this species has a negative impact on the local fisheries. Even though this species could be proposed as a new aquaculture species due to its positive characteristics in terms of growth and local demand. Therefore, the present study evaluated the biology and the aquaculture potential of *A.trimaculatus*, to understand the fish biology to complete the full cycle production to make the renewable fish resource. According to the biological data, this species observed a negative allometric growth pattern (b> 3). Also showed omnivorous habits with a carnivorous tendency, with preference for fish and shrimp throughout the whole year. It was observed that the size of first sexual maturity is 10.16 cm for the female and 11.24 cm for the male, the spawning period is from February to September, reaching its reproduction peak from June to July. On the other hand, the wild capture organisms successfully reproduced and managed to aquaculture condition. In general, the female productivity was 37 eggs / g of weight, with a hatching rate of 95.4%. The growth tests were positive; the growth rate was 2.42% in 226 days of culture in an extensive production system. Although there have been positive data within the research, aquaculture studies should continue to address the bottlenecks linked to the life cycle of the species in captivity.

Key words: *Amphilophus trimaculatus*, three spot cichlid, aquaculture, fish biology

4. Introducción

La acuicultura en Guatemala se ha incrementado exponencialmente en los últimos 20 años, ha crecido 613% desde el 2000 a la fecha, actualmente se produce alrededor de 28,257 TM/anuales, distribuidos en dos especies camarón (61%) y tilapia (39%) (FAO, 2020). La acuicultura de peces en Guatemala sigue siendo altamente dependiente a la producción especies exóticas introducidas, siendo la de mayor producción tilapia (Agrocadena de la tilapia de Guatemala, 2016) y de forma experimental el cultivo trucha arcoíris (FAO, 2014). A nivel mundial se cultivan alrededor de 171 especies de peces incluyendo especies marinas, salobres y continentales, de las cuales las de mayor producción son carpas, bagres, tilapia (FAO, 2018). Para el área Latinoamérica más del 90% de dichas especies son consideradas exóticas, las cuales por regulaciones nacionales han sido prohibido o restringidas para el desarrollo acuícola (Valladão, Gallani, & Pilarski, 2016). Por lo tanto, desde los años 1990 se ha incrementado esfuerzos para diversificar la acuicultura.

A nivel global, la estrategia de diversificación de la acuicultura, se puede abordar de diversas formas, incluyendo: 1. Sistemas de producción, 2. Mercados objetos y 3. Nuevas especies (Metian et al., 2020). Siendo la estrategia más recomendada para Guatemala el aumentar el desarrollo de nuevas especies, ya que esto permitirá la incorporación de nuevos actores a esta actividad, capturar nuevas oportunidades de mercado y ocupar espacios geográficos más amplios.

Guatemala al ser un país mega diverso, con una diversidad de ecosistemas acuáticos, y biodiversidad de especies continentales (Pérez-Irungaray, 2016), se puede considerar como una oportunidad para el desarrollo de acuicultura de especies nativas. En los últimos 15 años, Guatemala ha generado información sobre especies con potencial acuícola, siendo las especies de mayor estudio: *Agonostomus montícola, Atractosteus tropicus, Vieja maculicadua, Lutjanus argentiventris, Centropomus robalito,* entre otras (Elías, Castro, & García, 2007; Franco, Leiva & García-Pérez, 2008; Rinze et al., 2010; Carrillo-Ovalle et al., 2011; Rinze, Franco, & Rivas, 2012), pero desafortunadamente no se ha consolidado a nivel comercial. Esto debido a que poseen limitaciones como el lento crecimiento, una tecnología de producción limitada y aceptación comercial. Uno de los grupos de peces de mayor relevancia en Guatemala, es el de la familia Cichlidae, debido a la diversidad de especies que existen en el área, así como su importancia para la alimentación en las zonas rurales (Alvizuris, 2018), aunque cabe resaltar que poco esfuerzo se realizado para evaluar y comprender la biología y ecología de este grupo.

Países como México, Costa Rica y Estados Unidos, entre otros, han desarrollado conocimiento de la biología de diversas especies de la familia Cichlidae, evaluando no solo aspectos biológicos, fisiológicos, ecológicos entre otros (Pérez-Sánchez, & Páramo-Delgadillo, 2008). Entre las especies más representativas se encuentran *P. splendida, Cichlasoma urophthalmus,* y *C. managuense* (Lezama & Gunther, 1992; Santo, 2002; Contreras-Sanchéz et al., 2006; Álvarez-González, 2013), las cuales han representado una oportunidad y alternativa para diversificar la acuicultura en México, la cual ha contribuido de forma sustancial a la seguridad alimentaria.

Para el desarrollo de las especies nativas se ha trató de adaptar técnicas usadas en otras regiones para peces de características similares (Simposio sobre Acuicultura en América Latina, 1977). Pero se ha dejado por un lado la biología particular de la especie, lo cual es el éxito en la producción de especies nativas. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial acuícola de *Amphilophus trimaculatus* especies de pez nativo de la Costa Sur de Guatemala, con el fin de determinar la biología de la especie y establecer directrices para el desarrollo acuícola.

5. Planteamiento del problema

La piscicultura de agua dulce en Guatemala sigue siendo altamente dependiente a la producción de tilapia, y no ha podido diversificar con nuevas especies, dejado de aprovechar oportunidades de mercado. Conjuntamente, la producción pesquera es altamente dependiente de los ambientes naturales, y provoca de forma directa el agotamiento de los recursos. La sobre explotación del recurso pesquero sin ordenamiento conlleva al agotamiento de especies de importancia comercial, comprometiendo: 1. La seguridad alimentaria, y 2. El patrimonio genético de las especies ícticas.

En la Costa Sur de Guatemala, la pesca es una de las actividades consideradas como primarias, ya que contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y genera fuentes de ingresos económicos para varias familias. Pero dicho recurso se encuentra comprometidos debido al deterioro ambiental y a la sobre explotación del mismo, ocasionando que algunas especies hayan llegado a los límites de explotación, provocando una reducción en su abundancia a lo largo del año.

Por otra parte, la acuicultura en Guatemala se ha identificado como uno del clúster productivo de gran potencial, debido que su crecimiento anual es cerca del 2.36% (García-Pérez, 2013). Sin embargo, la piscicultura de agua dulce en Guatemala sigue siendo muy dependiente de tilapia (97% tilapia + 3% trucha). Para disminuir esta dependencia y consolidar al país como líder en acuicultura a nivel regional, es importante diversificar la piscicultura de agua dulce, mediante el cultivo y comercialización de nuevas especies de alto potencial económico.

Con la producción pesquera en descenso y la poca diversificación de especie en acuicultura. La acuicultura de especies nativas surge como una alternativa, que promueve satisfacer la demanda de productos hidrobiológicos para mantener la soberanía alimentaria global en la región y generar estrategias de desarrollo sostenible para diversificar y fomentar la protección del recurso pesquero en Guatemala, bajo un enfoque biológico, social y económico.

6. Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es el comportamiento biológico de *Amphilophus trimaculatus* del Canal de Chiquimulilla?
2. ¿Cuál es el potencial acuícola de la especie *Amphilophus trimaculatus*?
3. ¿Se puede establecer procesos productivos para la especie *Amphilophus trimaculatus*?

7. Delimitación en tiempo y espacio

El proyecto fue ejecutado de febrero a diciembre 2020, durante el periodo de investigación se realizaron colectas de organismo con pescadores artesanales de la Reserva Natural de Monterrico, Santa Rosa, con el fin de determinar el hábito alimenticio, biología reproductiva y aclimatación en sistemas de cautiverio de *A. trimaculatus*.

8. Marco teórico

Generalidades de la especie

Amphilophus trimaculatus antes conocido como *Cichlasoma trimaculatum*, se conoce a nivel mundial con diferentes nombres comunes, los más populares en América son Red eye cichlid o Three spot cichlid (EEUU), Mojarra de tres puntos (México), Mojarra colorada (Guatemala) y Guapote verde (El Salvador) (Rosales-Loesener, 1980; Orellana-Amador, 1992; Conkel, 1993; Nelson, et al., 2004).

Este pez pertenece a la familia Cichlidae, y está bien distribuido en agua dulce con baja tolerancia a las salinidades, es de hábitos alimenticios omnívoros, en general posee una coloración del cuerpo con diversos tonos pardo verdoso oliva y presenta tres manchas oscuras en cada lado (Miller et al, 2005; Martínez y Gómez, 2006). Naturalmente se distribuye en cuerpos de agua dulce y salobres, se ubica en la columna de agua en forma pelágica y bentopelágica, con un rango de temperatura de 21°C a 30°C, en zonas Subtropicales. Esta especie se distribuye a lo largo de América Central, en los ríos de la vertiente del Pacífico, desde México hasta el Salvador, pasando por Guatemala (Miller et al, 2005).

Características biológicas y morfométricas

De acuerdo a lo descrito por Gunter (1867), el organismo antes conocido como *Cichlasoma trimaculatum,* se caracteriza por tener fórmula dorsal de XVI-XVIII espinas, generalmente XVII; fórmula anal VII espinas; y con una mancha oscura grande en la nuca sobre el origen de la línea lateral, otra en la mitad del cuerpo cerca de la extremidad de la aleta pectoral y un punto redondo en la mitad superior del pedúnculo caudal.

Puede presentar o no, barras verticales y una serie de manchas laterales (Miller et al., 2005). Las tamañas máximas reportadas para *A. trimaculatus* según Kullander (2003) son para machos 365 mm de longitud estándar y en hembras un máximo de 250 mm de longitud total.

Hábitat y tipo de dieta.

A. trimaculatus es catalogado como un pez bentopelágico que puede habitar ecosistemas de agua dulce y salobre (sin exceder los 5 ppt de salinidad). Posee hábitos alimenticios omnívoros con tendencia carnívoras (peces y diversos invertebrados). Presenta un rápido crecimiento, y puede modificar sus hábitos alimenticios en función de la disponibilidad en el ecosistema (Vital-Rodríguez, 2011).

Reproducción

La época de reproducción se observa durante el periodo seco y que posiblemente inicia en el mes de enero para la población de *A. trimaculatus* de la subcuenca río Atoyac-Paso Oaxaca, México, aunque puede abarcar de febrero hasta agosto, donde finaliza las lluvias. Ortiz (2011)

determino la talla de primera madurez, la cual se encuentra entre 133-148 mm; e indica que las hembras maduran antes que los machos.

Características de análisis en peces

Análisis del contenido estomacal en peces

El análisis de contenido estomacal es una herramienta importante para inferir como se ve afectada la cadena trófica, y como los peces interactúan con otras especies con su medio (Langler, 1956). En los organismos acuáticos, la identificación y cuantificación de la dieta alimenticia puede funcionar como la base para entender la dinámica trófica, y por lo tanto, se puede estimar como los peces se alimentan en su medio (Torres-Rojas, 2011; Vital-Rodríguez, 2011; Ramírez-Herrejón, Castañeda-Sam, Moncayo-Estrada, Caraveo-Patiño & Balart, 2013). Para la cuantificación de los componentes del contenido estomacal se han adaptado y desarrollado una gran cantidad de técnicas, desde el uso del porcentaje de contribución de los artículos alimenticios (Hynes, 1950), pasando por el empleo de índices ecológicos (Moreno, 2001) hasta el desarrollo de métodos gráficos (Cortés, 1997).

Análisis del Índice de desarrollo de gónadas en peces

La determinación de las fases de madurez mediante el examen visual, es una técnica de bajo costo y esfuerzo. El peso de la gran mayoría de los peces es casi proporcional al cubo de la talla, esto da un índice que es aproximadamente proporcional al peso relativo de las gónadas. En el caso de las hembras es también una medida relativa del diámetro de la ova independientemente de la talla (Holden & Raitt, 1975).

Domesticación y acuicultura.

En términos generales, la domesticación puede definirse como aquella condición en la que la cría, cuidado y la alimentación de los organismos, está más o menos controlada por el hombre (Hale, 1969). Desde el punto de vista de acuicultura el verdadero organismo domesticado es: (i) el individuo valorado y mantenido con un propósito específico, (ii) su reproducción está sujeta a control humano, (iii) su comportamiento es diferente del antepasado salvaje, (iv) su morfología (incluyendo tamaño y coloración) exhibe una variación nunca vista en la naturaleza y (v) algunos de los cuales nunca sobrevivirían sin la protección humana (Balon, 1995).

9. Estado del arte

En Guatemala la actividad acuícola gira alrededor de pocas especies, en su mayoría son especies exóticas como camarón marino, trucha y tilapia. Es evidente que aun cuando la acuicultura esta en desarrollo, es de suma importancia la diversificación de sus especies. El cultivo de especies nativas en Guatemala es una actividad muy incipiente, aunque no es nueva. En la última década ha cobrado mayor importancia, ya que se ha observado los ecosistemas comprometidos por la reducción de especies, así como el incremento del consumo de productos hidrobiológicos, pero en Guatemala existen pocas especies con potencial acuícola que poseen una tecnología bien desarrollada.

Considerando la importancia de obtener alternativas productivas en el sector acuícola en Guatemala, las cuales favorezcan las condiciones de calidad de vida de los guatemaltecos a través de la diversificación de la acuicultura. En los últimos 15 años, Guatemala ha generado información sobre especies con potencial acuícola, siendo las especies de mayor estudio: *Agonostomus montícola, Atractosteus tropicus, Vieja maculicadua, Lutjanus argentiventris, Centropomus robalito,* entre otras (Elías, Castro, & García, 2007; Franco, Leiva & García-Pérez, 2008; Rinze, Franco, García-Pérez, & Ochoa, 2010; Carrillo-Ovalle, Guerra, Bringuez, Cifuentes, & Rodríguez, 2011; Rinze, Franco, & Rivas, 2012).

Una de las especies con gran potencial y alto valor, desde el punto de vista biológico, cultural y económico es *A. tropicus* (Machorra), considerado un fósil viviente, que se distribuye desde el sur de Veracruz, México hasta Costa Rica, Centroamérica (Nelson et al., 2004).

Esta especie en México, ha demostrado rentabilidad económica, ya que se ha obtenido una relación costo beneficio de 1.08 pesos mexicanos, y una tasa interna de retorno de 145.0% (Elias, Abarca, Figueroa, & Loera, 2011). Los estudios en Guatemala, también han demostraron que el cultivo a pequeña escala es factible en cuanto a la reproducción en cautiverio con estimación hormonal, producción en las fases de larvicultura y engorda (Carrillo-Ovalle et al., 2011), con alimentos balanceados disponibles en Guatemala. En las etapas de cultivo se obtuvo una tasa de retorno marginal del 60%.

Por otra parte, se tiene datos importantes para la especie *V. maculicadua*, donde Elías, Castro y García (2007), evaluaron el potencial reproductivo en cautiverio con fines de repoblamiento y producción comercial, donde se observó que la reproducción en cautiverio posible.

En cuanto especies marinas Rinze, Franco, García-Pérez, & Ochoa, (2010), evaluaron las condiciones básicas que requiere la especie de pargo amarillo *L. argentiventris* para poder ser acondicionado y engordado en cautiverio. Evidenciaron que dicho organismo se adapta a condiciones de cautiverio y acepta alimento artificial, no obstante, la calidad del agua y el control de agentes patógenos son variables determinantes en la sobrevivencia de dicha especie en medios confinados.

Rinze, Franco-Arenales, Rivas, & Monroy, (2012), evaluaron las condiciones físicas básicas que requiere el róbalo *C. robalito*, para el desarrollo de un nuevo tipo de cultivo. Los principales resultados obtenidos reportaron una sobrevivencia durante el período de investigación en promedio de 64% considerándose aceptable, para la etapa de adaptación de una especie silvestre al cautiverio. En el desarrollo del cultivo se manejaron 3 densidades de siembra, sin embargo, la de 2 organismos por m^2 fue la que presento mejores rendimientos, ya que los factores de competencia por alimento y espacio se ven minimizados. Se determinó un factor de conversión alimenticia FCA en un rango de 1.29 a 0.43 variable que podría haber sido afectada por la densidad poblacional y la misma adaptación de la especie.

10. Objetivo general.

- Evaluar el potencial acuícola de *Amphilophus trimaculatus* especies de pez nativo de la Costa Sur de Guatemala

11. Objetivos específicos

- Determinar la biología y ecología (época reproductiva, dieta alimenticia y preferencia de hábitat) de *Amphilophus trimaculatus*
- Establecer los procesos aclimatación, reproducción, larvicultura, y engorde de la especie *Amphilophus trimaculatus*

12. Hipótesis (si aplica).

Es posible acoplar a un sistema de cautiverio organismos de *Amphilophus trimaculatus,* capturados del medio natural.

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque mixto donde se evaluaron métodos cuantitativos como lo son: frecuencia de los diversos tipos de alimentos consumidos por *A. trimaculatus* en su ambiente natural, así como tallas de primera maduración sexual y época reproductiva, patrón de crecimiento y relación talla-peso. Y se evaluaron métodos cualitativos para determinar el proceso de domesticación de dicha especie, a través de estrategias de reproducción, procesos de larvicultura y engorda, con el fin de proponerla como una especia con potencial acuícola.

13.2 Recolección de información

Se colecto alrededor de 5-10 peces semanalmente de enero a diciembre 2020, con ayuda de pescadores artesanales en la Reserva Natural de Monterrico, Santa Rosa (Figura 1). Las colectas fueron dentro de la Reserva de Usos Múltiples Monterrico, desde la aldea La Candelaria a la aldea Monterrico, Taxisco Santa Rosa. Se utilizó sistema de colecta activos: atarraya tipo bolinche de 1.5 a 3 m.

Cabe resaltar que en algunos meses no se logró colectar el numero antes indicado, debido a las condiciones climatológicas que afectaron el área, así como la fluctuación de factores abióticos como el incremento de la salinidad y descenso en la temperatura del ecosistema.

La muestra se conformó por diferentes sexos, pesos y tallas, esto con el fin de determinar todo el espectro alimenticio y la talla de primera madurez sexual de la especie en estudio. Todos los organismos fueron transportados al laboratorio del Campus del Mar del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, para posteriores análisis.

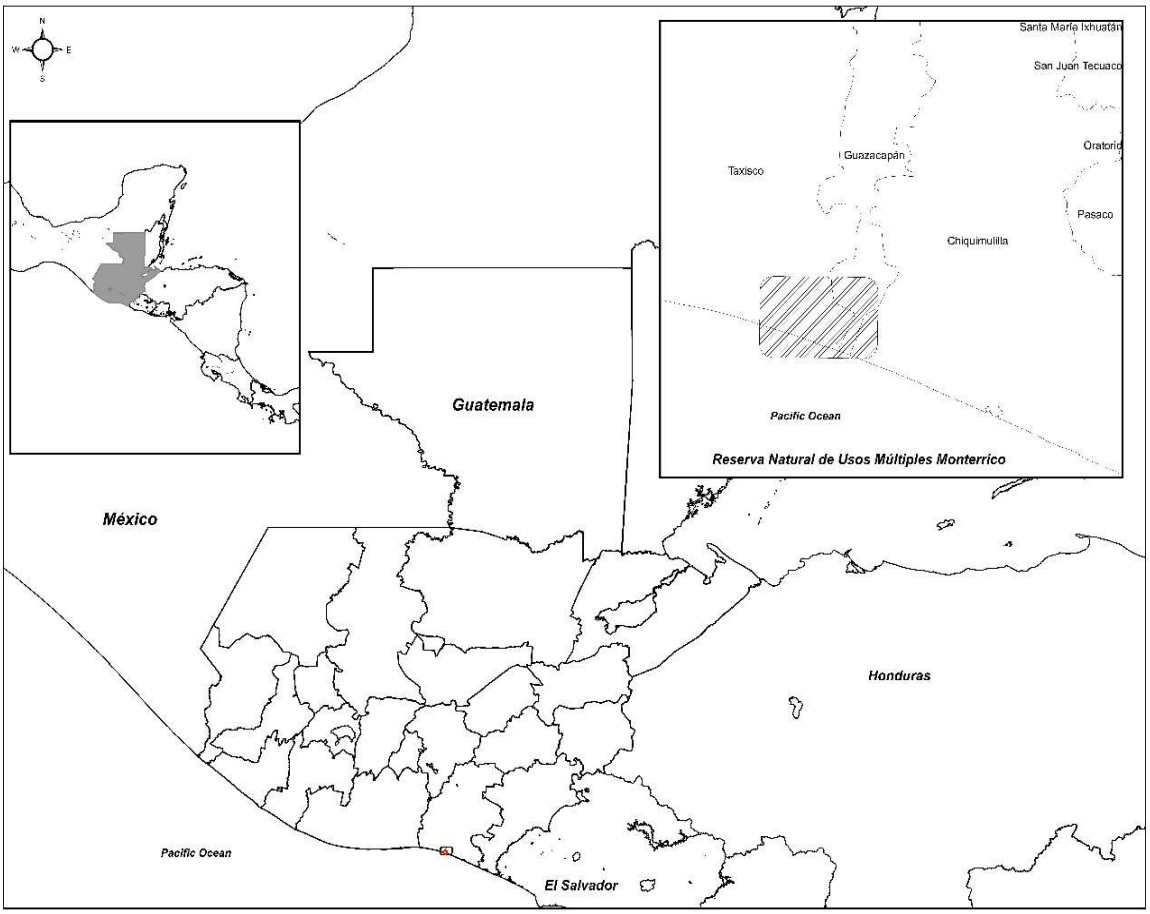


Figura 1: Mapa del área de captura de organismos *A. trimaculatus.*

13.3 Para investigación mixta

Identificación taxonómica y biometría

Todos los organismos fueron identificados según la clave taxonómica descrita en Miller et al., (2005) y comparando las características morfológicas directas con el espécimen deposito en la colección ictiológica del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Por cada organismo se recolectó las siguiente medidas: peso corporal total (BW), longitud total (TL), longitud estándar (SL) y altura máxima del cuerpo (BH) (Figura 2), todas las variables se midieron con un escalímetro digital (0.1 mm) y una balanza digital (0.01 g).

Una vez realizadas las medidas se procedió a realizar la disección de los organismos para evaluar el peso de gónadas e hígado con el fin de calcular los índices gonadosomático y hepatosomático a través de las siguientes formulas:

- Índice gonadosomático (GSI) = (Wg / BWF) * 100. Donde Wg: peso de gónada, y BWF: peso (g) de corporal del organismo (Nagahama, 1983).
- Índices hepatosomático (HSI) = (LW/BW) * 100%. Donde LW: peso del hígado (g) y BW: peso (g) de corporal del organismo (Mazlan & Rohaya, 2008).

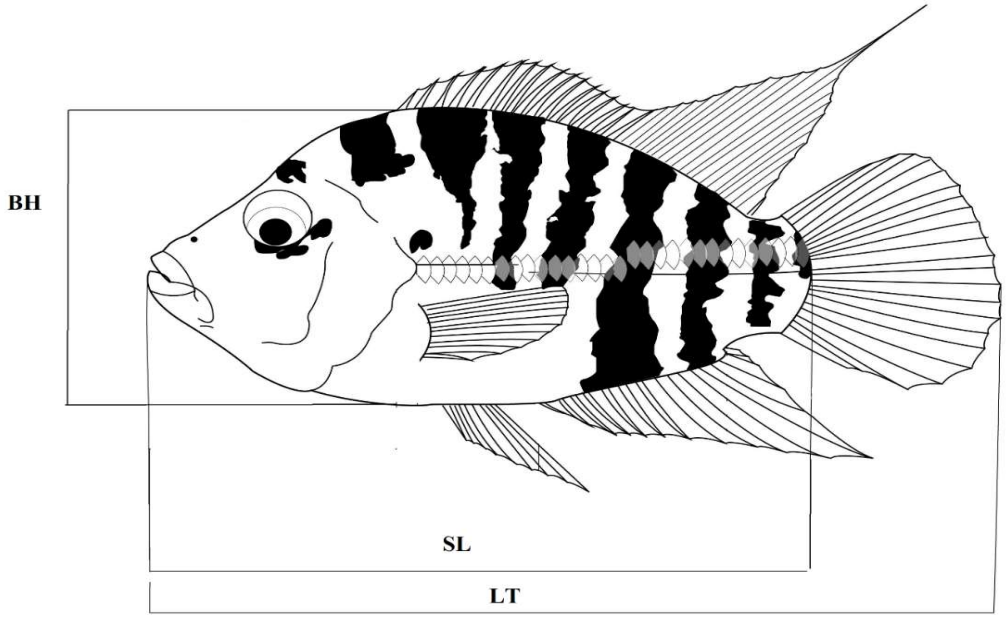


Figura 2: Biometría realizada para cada uno de los organismos. ID: BH: altura de cuerpo, SL: longitud estándar y LT: longitud total

Frecuencia de talla, relación talla-peso y factor de condición

Para determinar la frecuencia de talla-peso mensual se agrupó en intervalos de clase LT de 1.0 cm y W de 1.0 g, de todos los organismos. El crecimiento de la población de *A. trimaculatus* se estimó con base en la relación talla-peso (RLW) para toda la población y por sexo.

Se estimó a través de la siguiente ecuación: $W = aLT^b$. Donde W: peso corporal (g), LT: longitud total (cm), a: intersección de la ecuación, b: pendiente. Se realizó una regresión no lineal para determinar el desarrollo de los peces. Se definió a partir de la pendiente de la relación de los logaritmos de LT y BW mediante una prueba t-Student con nivel de confianza del 95%, siendo: 1. Crecimiento alométrico ($b \neq 3$) o 2. Crecimiento isométrico ($b = 3$) (García-Lizárraga et al., 2011). El estado de condición cada grupo de organismos se estimó a través del índice de Fulton (K) (Ricker 1975); con la ecuación $K=100\ (W/LT^3)$, donde W es el peso corporal húmedo en gramos y LT la longitud en cm.

Dieta alimenticia

Para determinar la dieta alimenticia de *A. trimaculatus*, se utilizó una modificación al protocolo descrito por Chipps y Garvey (2006). El estómago de todos los organismos se extrajo mediante disección de la cavidad abdominal. El contenido de los estómagos se suspendió en agua destilada, y se examinó bajo el estereoscópico (AmScope SE306R-PZ) los restos alimenticios.

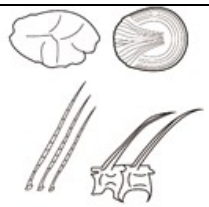
Los ítems se separaron en siete categorías (Tabla 1), todos los ítems se estimaron mediante la frecuencia relativa. Los estómagos vacíos o con contenidos completamente digeridos se eliminaron del análisis de datos.

Para realizar el análisis del espectro alimenticio (dieta) de *A. trimaculatus* se utilizó estadística descriptiva, a través del uso de histogramas de frecuencia de los ítems consumidos durante la época de muestreo. Se calculó el índice de importancia relativa el cual se definió en rango evaluativo: 0-10% grupos tróficos de importancia relativa baja, de 10-40% grupos tróficos de importancia relativa secundaria, y de 40-100% grupos tróficos de importancia relativa alta.

Y se calculó la incidencia de alimentación (% FI = individuos con restos de presa identificables / número total de peces × 100), se utilizó para evaluar la tasa de actividad de alimentación mensual.

Tabla 1.

Categoría de contenido de estómago de Amphilophus trimaculatus

No.	Categoría	ID	Lista de los posibles ítems	
1	Peces	PC	Otolitos, escamas, piel, dientes, huesos y radios.	
2	Crustáceos	CR	Camarones y cangrejos: quelas, anténulas, antenas, pleopodos y pereiópodos.	
3	Moluscos	ML	Ostras y caracoles.	

4	Insectos	IN	Insectos terrestres y acuáticos, alas, antenas, patas,	
5	Materia vegetal	MV	Algas filamentosas y epifitas, restos de hojas, semillas y tallos.	
6	Otros invertebrados	INV	Esponjas, poliquetos y gusanos.	
7	Anfibios	ANF	Ranas o sapos	

Determinación del sexo y desarrollo gonadal

Para determinar el sexo de los organismos, se realizaron montajes en fresco de fragmentos de gónadas, los cuales fueron teñidos con solución Wright (relación 1:10 v/v), para ver la estructura ovárica y testicular de forma macroscópica. La proporción sexual se determinó mensualmente para cada lote de organismos (macho / hembras).

Para determinar el desarrollo gonadal, se realizó histología de gónadas. Para ello las gónadas de los organismos fueron fijadas con formalina tamponada al 10%, y seleccionaron fragmentos 1 cm^2 de gónada se deshidrataron (Sol: etanol y xilol) y posteriormente se realizó el proceso de infiltración (parafina).

El procedimiento fue modificado del protocolo de Blanda (2008) (Tabla 2). Una vez infiltrados y solidificados los fragmentos de gónadas, se procedió a realizar cortes de grosor de 5 µm, con ayuda de con un micrótomo (Thermo®). Todos los cortes fueron montados en porta objetos y teñidos con hematoxilina y eosina (H&E).

Tabla 2.

Procedimiento histología de gónadas de Amphilophus trimaculatus

Proceso	Tiempo (min)	Repetición	Solución / Procedimiento
Deshidratación	24 – 48 h	1	Agua
	30	1	Etanol 10% : grado industrial
	30	1	Etanol 20% : grado industrial
	30	1	Etanol 50% : grado industrial
	30	1	Etanol 70% : grado industrial
	30	1	Etanol 80% : grado industrial
	30	2	Etanol 95% : grado industrial
	30	2	Etanol 100% : grado industrial
	30	2	Xilol: grado industrial
Infiltración	60	1	Xilol-parafina (50:50) en estufa a 58-60° C
	30	2	Parafina, en estufa a 58-60° C
Inclusión de parafina	ST		Parafina, en estufa a 58-60° C
Corte	ST		Corte de 5 – 7µm de espesor
Tinción	5	4	Xilol
	3	1	Agua
	5	1	Hematoxilina
	5	1	Agua
	ST	1	Alcohol ácido: inmersión rápida
	2	1	Eosina
	5	1	Agua
	ST	4	Baños de alcohol isopropílico (diez sumergidas cada uno)
	5	2	Baños de xilol puro
Montaje final			Bálsamo de Cánada, PERMONT o resina entellante

Para realizar el análisis del desarrollo gonadal en *A. trimaculatus*, se determinó la proporción de sexos en las capturas, y se establecerán variaciones mensuales durante todo el periodo de estudio, estas variaciones se utilizaron clases de talla usando intervalos de 5 cm con las muestras colectadas, se utilizaron 60 gónadas de hembras y 60 gónadas de macho. Para establecer el grado de madurez gonadal por sexo, se realizaron a través de las características morfológicas de los ovocitos y espermatocitos en diferentes grados de desarrollo a través de cortes histológicos teñidos con H&E, se utilizó la escala de maduración empírica de Nikolsky (1963):

- Fase I (Vírgenes): Individuos jóvenes que aún no han iniciado el proceso de la reproducción (Madurez sexual). Gónadas de muy pequeño tamaño.
- Fase II (Vírgenes): Los productos sexuales aún no han comenzado a desarrollarse. Gónadas con huevos muy pequeños que no se distinguen a simple vista. Microscópicamente los ovocitos se ubican en su mayoría dentro del epitelio germinal, y el citoplasma es brillante.
- Fase III (Previtelogénesis): Huevos distinguibles a simple vista. Un aumento muy rápido del peso de la gónada en curso, los testículos cambian de transparente a un color rosa pálido. Los ovocitos se rompen del epitelio germinal, están envueltos por un epitelio escamoso simple folicular. Esta etapa las hembras se encuentra el ovocito previtelogénico.
- Fase IV (Vitelogénesis): las gónadas maduras han alcanzado su peso máximo, pero los productos sexuales aún no se liberan. Aparición de gránulos de yema y vacuolas de grasa en el ooplasma, se observa un corion distintivo, asentado debajo del epitelio folicular. Esta etapa es conocida como inicio de vitelogénesis. Y se puede dividir en vitelogénesis endógena y exógena.
- Fase V (Maduro): Los productos sexuales se extraen en respuesta a una presión muy ligera sobre el abdomen. La ganancia de peso de las gónadas disminuye rápidamente desde el inicio del desove hasta su finalización. A nivel microscópico los ovocitos aumentan el número de vesículas de yema que llenan todo el ooplasma excepto debajo del corion, la envoltura nuclear comienza a degenerarse y el núcleo migra periféricamente antes de la etapa de maduración final. Esta etapa es conocida como Ovocito maduro
- Fase VI: Los productos sexuales han sido liberados, la abertura genital está inflamada, las gónadas tienen apariencia de un saco desinflado y los ovarios generalmente contienen algunos óvulos sobrantes y los testículos contiene esperma residual. Esta etapa es conocida como folículo post ovulatorio.

La talla de primera madurez se consideró cuando el 50% de las hembras se encuentran en las Etapas IV y V. La frecuencia relativa acumulada de hembras en estas etapas se ajustaron al modelo logístico de Sparre & Venema (1997) de acuerdo con: P = 1 / (1 + e (a-b SL)). Donde P: es la proporción de peces maduros definida por intervalo de tallas, a y b son parámetros del modelo. Una vez ajustada, la talla en la primera madurez (la longitud a la que se reproduce el 50% de los peces: Lm 50%) se calculó como Lm 50% = a / b.

Desarrollo acuícola

Acondicionamiento de reproductores

Se utilizaron dos poblaciones de reproductores de *A. trimaculatus* (ambos sexos): Población I: origen Río Coyolate, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla (Captura año 2019) y población II: Laguna Puente Grande, Canal de Chiquimulilla, Taxisco, Santa Rosa (Captura año 2019). Los organismos de la población I fueron donados por el Instituto de Cambio Climático (ICC) y los organismos de la población II: Se colectaron utilizando una atarraya tipo bolinche de 2 m de altura, con una abertura de malla de 1.5 cm, dentro del Canal de Chiquimulilla.

Todos los organismos fueron introducidos en dos piletas rectangulares de 6 m^3 (Según la población). Durante un periodo de siete días fueron alimentados con alimento para tilapia 45% proteína curda (PC) con una concentración de 0.01% Levamisol, esto con el fin de realizar la desparasitación (Endo y Ecto parásitos). Una vez finalizado el tiempo de medicación, los organismos fueron distribuidos en tres piletas de 9 m^3, dentro de cada pileta se adiciono tubería de PVC de 4 – 6 pulg, para simular refugios.

Los animales fueron alimentados diariamente *ad libitum* a saciedad con concentrado comercial de tilapia 38% PC. Se realizaron recambios de agua por rebalse del 50% semanalmente y quincenalmente se rasparon fondos y paredes de la pileta para evitar el exceso de microalgas epifitas. El tiempo de acondicionamiento fue de ocho meses (abril a noviembre 2019). El procedimiento de limpieza continuo durante todo el año 2020.

Inducción al desove, comportamiento social y reproductivo

En las unidades de producción utilizadas en el acondicionamiento de reproductores, se esperó que los organismos formaran parejas reproductivas y establecieran la jerarquía entre los individuos. Los organismos fueron observados diariamente durante la primera alimentación, para registrar el estatus social, patrón de coloración y el comportamiento general de los individuos.

Desarrollo larvario

Para describir el desarrollo larvario de *A. trimaculatus,* se realizó la reproducción bajo condiciones de laboratorio controladas. Los reproductores fueron acondicionados en estanques de 8 m^3, con aireación constante y temperaturas ambientales que fluctuaron de 25 - 30 °C. Una vez realizada la selección de parejas de reproductores de *A. trimaculatus* naturalmente, para estimular la reproducción se realizó recambios del 75% del volumen de agua. Se evaluó cada puesta desde marzo a mayo de 2020. La descripción del desarrollo larvario corresponde de 6 desoves de 4 parejas. Se calculó el rendimiento reproductivo según la fórmula: huevos liberados (#) / peso total de hembra (g).

Una vez se observó el desove de los organismos, se colectó diariamente larvas desde 24 horas post eclosión (hpe) hasta 288 hpe. Se colocaron alrededor de diez larvas por cada día. Todas las larvas fueron fijadas en formalina 10% para la descripción externa de la ontogenia de los organismos. Para describir ontogenia interna de las larvas se realizó histología, tiñendo con H&E, los cortes fueron examinados a nivel de microscopio 20X - 40X. Las fases registradas fueron acorde a lo descrito por Fujimura y Okada (2007): 1. Larva con saco vitelino, 2. Larva en estado de preflexición, 3. Larva en estado de Flexión y 4. Larva en estado de Post-flexión. Para describir los cambios morfológicos en cada etapa se tomaron fotos.

Ensayo de crecimiento en alevines de A. trimaculatus en sistema extensivo de producción

De acuerdo a la reproducción obtenida de *A. trimaculatus* se realizaron tres lotes de organismos. Los cuales fueron introducidos en tres estanques rectangulares (9 m^3 y 15 m^3), en el primer tratamiento se introdujo una biomasa inicial de 1,6237.41 g, en el segundo tratamiento una biomasa inicial de 2,166.00 y finalmente un tercer tratamiento con una biomasa inicial de 7,038.99 g.

Cabe resaltar que las biomasas introducidas en las distintas unidades producción fueron variadas, debido a la productividad de los reproductores, al limitado espacio en el Campus de Mar, propiedad del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura y a la escasa ejecución presupuestaria, para mantener a los organismos en óptimas condiciones.

Para cada tratamiento se utilizó un tipo de alimento balanceado comercial, con el fin de determinar la aceptación del alimento balanceado y observar el crecimiento de los organismos en un sistema de cultivo extensivo. Los alimentos fueron seleccionados según la disponibilidad del Laboratorio de Especies Nativas de CEMA: T1: Concentrado de trucha 45% PC /15% LIP, T2: Concentrado Mixto (Camaronina: 45% PC / 5% LIP + Trucha: 45% PC / 15% LIP) y T3: Concentrado de tilapia 32% PC / 3% LIP. El protocolo de alimentación fue evaluado por tiempos variados según la sobrevivencia de los organismos (Tabla 3).

Tabla 3

Protocolo de alimentación juveniles de A. trimaculatus

Tipo de dieta	% de ración total					Administración	Días de cultivo
	ID	RI	RII	RIII	RIV		
Alimento de trucha 45% CP	T1	30%	20%	20%	30%	Ad libitum	266
Alimento de camarón 35% CP + Alimento de trucha 45% (Relación 1:1)	T2	30%	20%	20%	30%	Ad libitum	227
Alimento de tilapia 32% CP	T3	30%	20%	20%	30%	Ad libitum	126

Nota: R: ración, I: tiempo

13.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificaran
Determinar la biología y ecología (época reproductiva, dieta alimenticia y preferencia de hábitat) de *Amphilophus trimaculatus*	1. Primera talla de madurez sexual 2. Desarrollo gonadal de machos y hembras 3. Dieta alimenticia 4. Espectro alimenticio	Análisis histológico de gónadas de hembras y machos de 60 organismos. Análisis del contenido gastrointestinal de 385 organismos
Establecer los procesos aclimatación, reproducción, larvicultura, y engorde de la especie *Amphilophus trimaculatus*	1. Tasa de productividad y eclosión 2. Mortalidad sobrevivencia 3. Ganancia de peso 4. Crecimiento especifico 5. Factor de condición 6. Factor de conversión alimenticia 7. Coeficiente de variación	Procesos reproducción, larvicultura, y engorde de la especie *A. trimaculatus*

13.7 Procesamiento y análisis de la información:

Para realizar el análisis de la dieta de *A. trimaculatus* se utilizó estadística descriptiva, a través del uso de histogramas de frecuencia de los ítems consumidos durante la época de muestreo. Para correlacionar los meses de captura, variables morfológicas y ítems alimenticios, se realizó un análisis de componentes principales. Para realizar el análisis de la reproducción en *A. trimaculatus*, se determinará la proporción de sexos en las capturas, y se establecerán variaciones mensuales durante todo el periodo de estudio, estas variaciones se utilizaron clases de talla usando intervalos de 5 cm.

Los resultados fueron analizados mediante la prueba de bondad de ajuste de Chi cuadrado (x^2), estableciendo si las diferencias obtenidas serán estadísticamente significativas ($p<0.05$).

Para el análisis de la información sobre el potencial de la especie para realizar acuicultura se realizó una matriz de domesticación y se cuantificó la sobrevivencia, mortalidad post siembra, tasa de eclosión, producción de huevos, crecimiento especifico, factor de condición, factor de conversión alimenticia, coeficiente de variación. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa R software (R Core Team, 2013).

14. Vinculación, difusión y divulgación

La participación de acuicultores y profesionales relacionados a las ciencias biológicas es un ingrediente clave para la diversificación de especies. Por lo tanto, se realizó charlas informativas con:

1. Sector académico: especialmente con el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de los profesores que imparte los cursos de producción (Piscicultura de agua dulce), para que fomente el uso de especies nativas en Guatemala
   - Organizador y participante en la Jornada Acuícola (Online) “Diversificación de la acuicultura en Latinoamérica” (Apéndice 1)
   - Presentación (Online) en el aniversario 43 del Centro de Estudio del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala: Diversificación de la acuicultura en Guatemala: evaluación de peces nativos (Apéndice 2)
2. Sector profesional: a través de profesionales relacionados a las ciencias acuícolas y biológicas, que laboran en diversos sectores productivos en el país
   - Presentación semestral de avances del proyecto DES1CU (Online): Diversificación de la acuicultura en Guatemala: evaluación de peces nativos de la Costa Sur, con potencial acuícola: FASE I.
3. Sector científico: se aprobaron la presentación de resultados parciales del proyecto DES1CU en los siguientes eventos académicos.
   - 3er Coloquio Nacional de Nutrigenomica y Biotecnología Acuícola (CONYBA) 2020, Nayarit, México (Trabajo aceptado y presentado) (Apéndice 3)

- 10mo Simposium Internacional de Investigación Multidisciplinaria 2020, Tabasco, México (Trabajo aceptado, pero no presentado) (Apéndice 4)

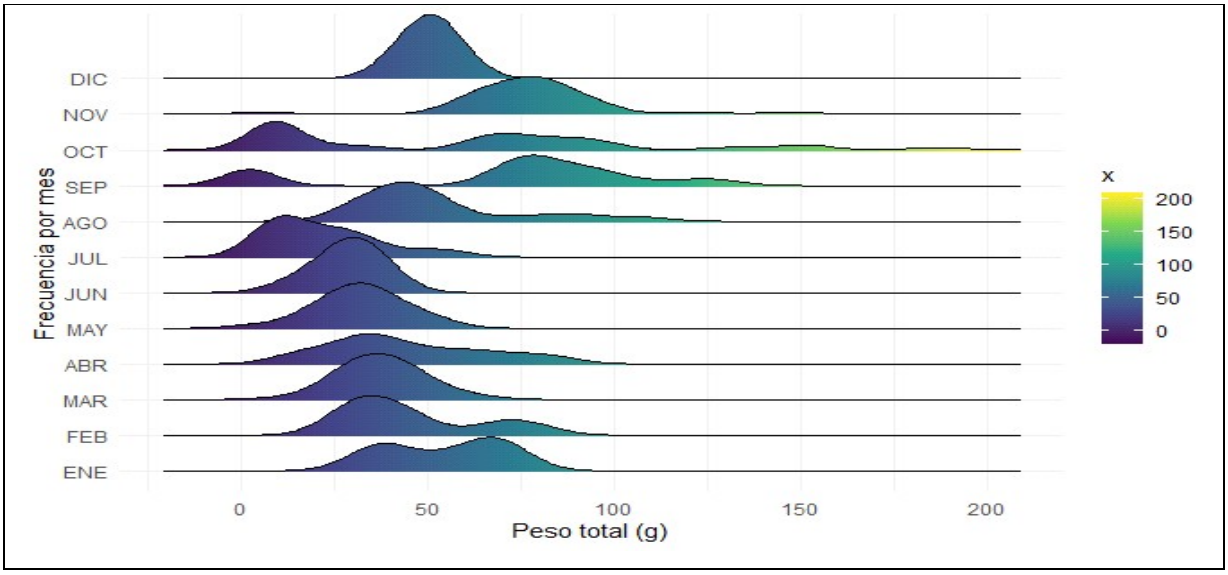
4. Sector social: se realizó el libro titulado Explorando el Canal de Chiquimulilla (Apéndice 5).

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados

Biología de *A. trimaculatus*

Distribución de tallas capturadas

Se capturaron un total de 348 organismos de *A. trimaculatus,* la distribución de peso y talla se muestra en la Figura 3. Durante los meses de monitoreo se observó que la longitud máxima capturada fue 20.5 cm con una mínima de 4.5 cm. En cuanto al peso, la máxima obtenida fue de 186.7 g y mínima de 1.4 g. Se puede observar que el rango de captura para Reserva Natural de Monterrico, entre las aldeas; La Candelaria y Monterrico, Taxisco Santa Rosa, es de 25 g a 50 g. Los meses de septiembre a noviembre son los meses donde se logró capturar organismo de mayor peso por arriba de 75 – 186.7 g.



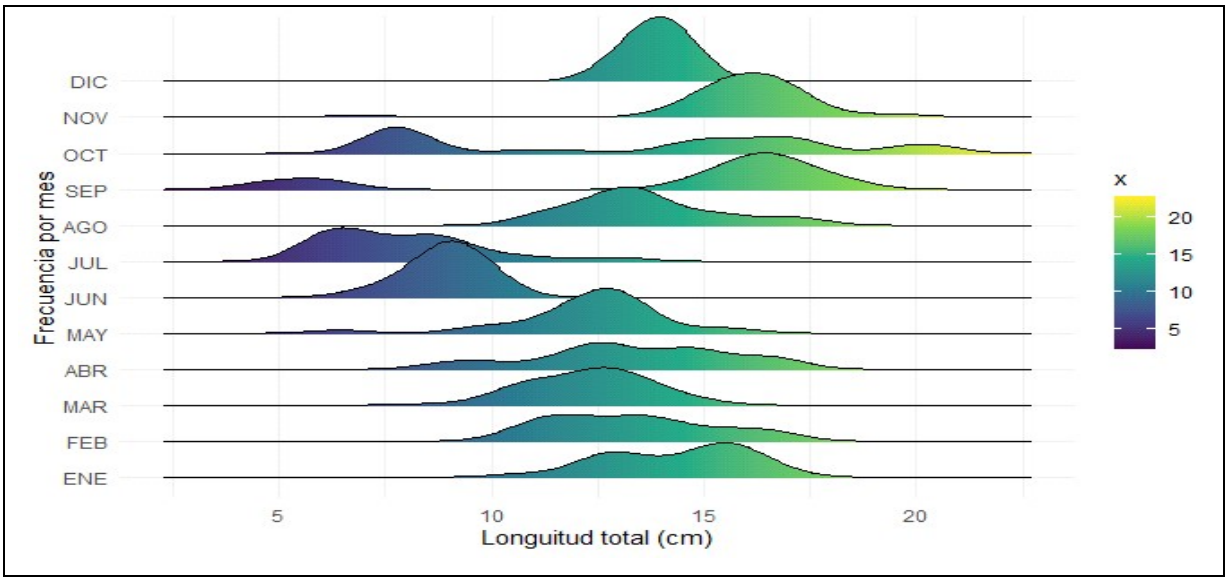


Figura 3: Distribución de talla (Peso y largo total) en los meses de monitoreo.

Se observó que la población de machos *A. trimaculatus* en la RNUMM posee un peso y talla mayor con respecto a las hembras ($p < 0.01$) (Figura 4). La estructura de sexos en la población asociada a la RNUMM fue de 1 H : 1.13 M, indicando que la población está en equilibrio.

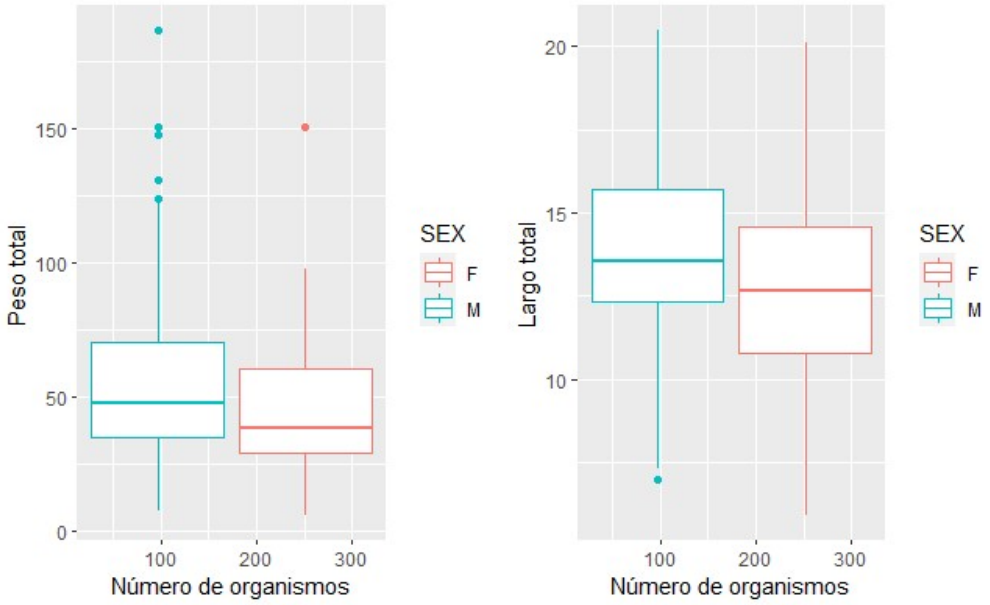


Figura 4: Proporción de sexos, peso, largo total de los organismos capturados, *A. trimaculatus.*

Relación talla-peso y factor K

La relación talla-peso para ambos sexos se estimó a partir de los 348 organismos. El valor del intercepto se estimó en a = 0.06889 y el coeficiente de alometría b = 2.51, y el coeficiente de la ecuación fue r^2 = 0.897 (Figura 5). Siendo la ecuación de relación talla peso dado por W = 0.06889 LT $^{2.514}$. De acuerdo al coeficiente de crecimiento *b* muestra que la especie prestan un desarrollo de alométrico negativo (Carlander, 1969). De forma individual los machos y hembras obtuvieron un coeficiente de alometría de 2.71 y 2.01, respetivamente, indicando que por sexos poseen el mismo crecimiento alométrico negativo.

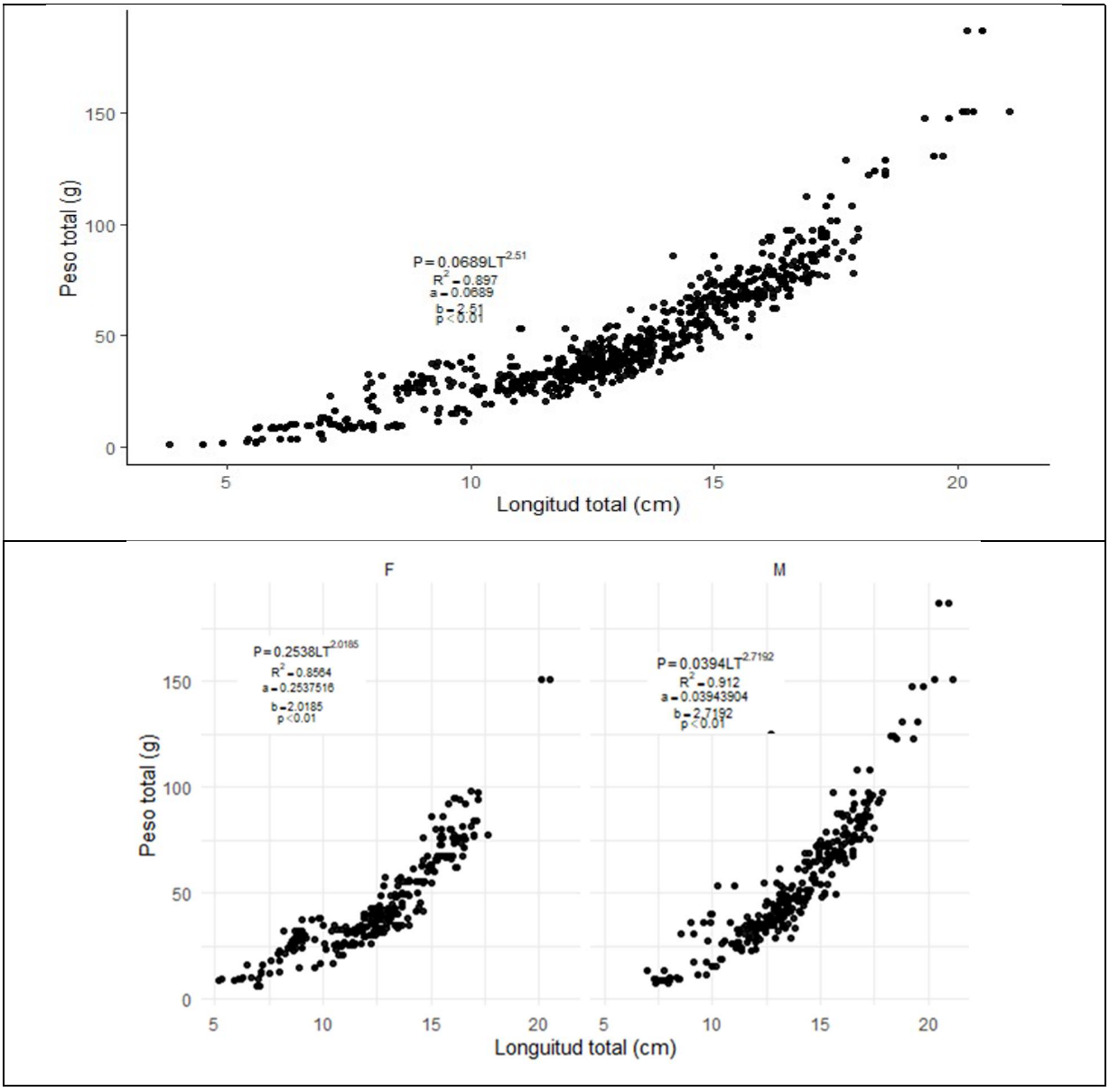


Figura 5: Relación talla-peso de *A. trimaculatus.*

Por otra parte, el índice de condición para todos los organismos capturados se estimó 2.09 ± 0.69 (Figura 6), reflejan una condición positiva, lo cual se evidencia la constante alimentación de los organismos dentro del ecosistema. La evolución en tiempo del factor K para cada uno de los meses resultó estadísticamente significativo ($p < 0.05$), los meses de junio y julio reflejaron diferencia estadística en relación al resto.

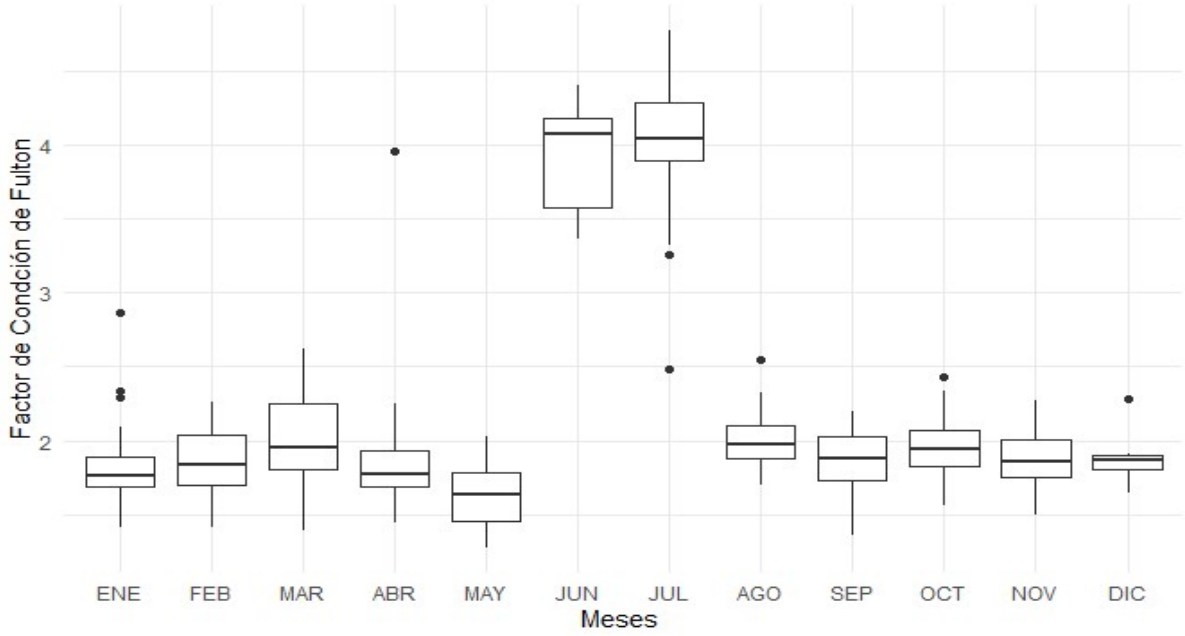


Figura 6: Factor de condición de Fulton en los meses de monitoreo.

Determinación de la dieta alimenticia

Para determinar la dieta alimenticia de *A. trimaculatus* solo se utilizaron 324 organismos, el resto de organismos se observó que el tracto digestivo poseía un estado digestión total o vacíos. La incidencia de alimentación (%FI) fue 93.10% en total. Por cada ítem se obtuvo una frecuencia de ocurrencia para: PC (55.56%), MV (45.37%), CRU (43.21%), INS (32.41%), ML (18.2%), INV (5.56%) y ANF (0.31%). Siendo los ítems de mayor importancia relativa PC, MV y CRU, el grupo INS y ML se catalogó como grupos tróficos de importancia relativa secundaria, y por ultimo INV y ANF, grupos tróficos de importancia relativa baja (Figura 7).

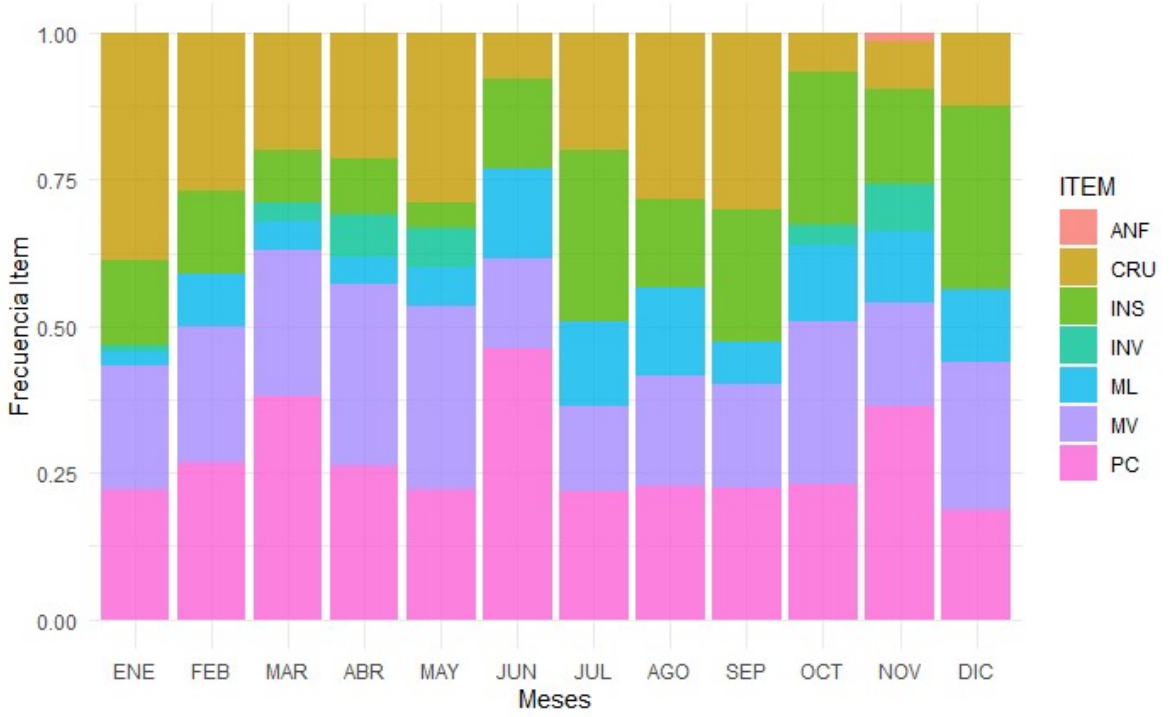
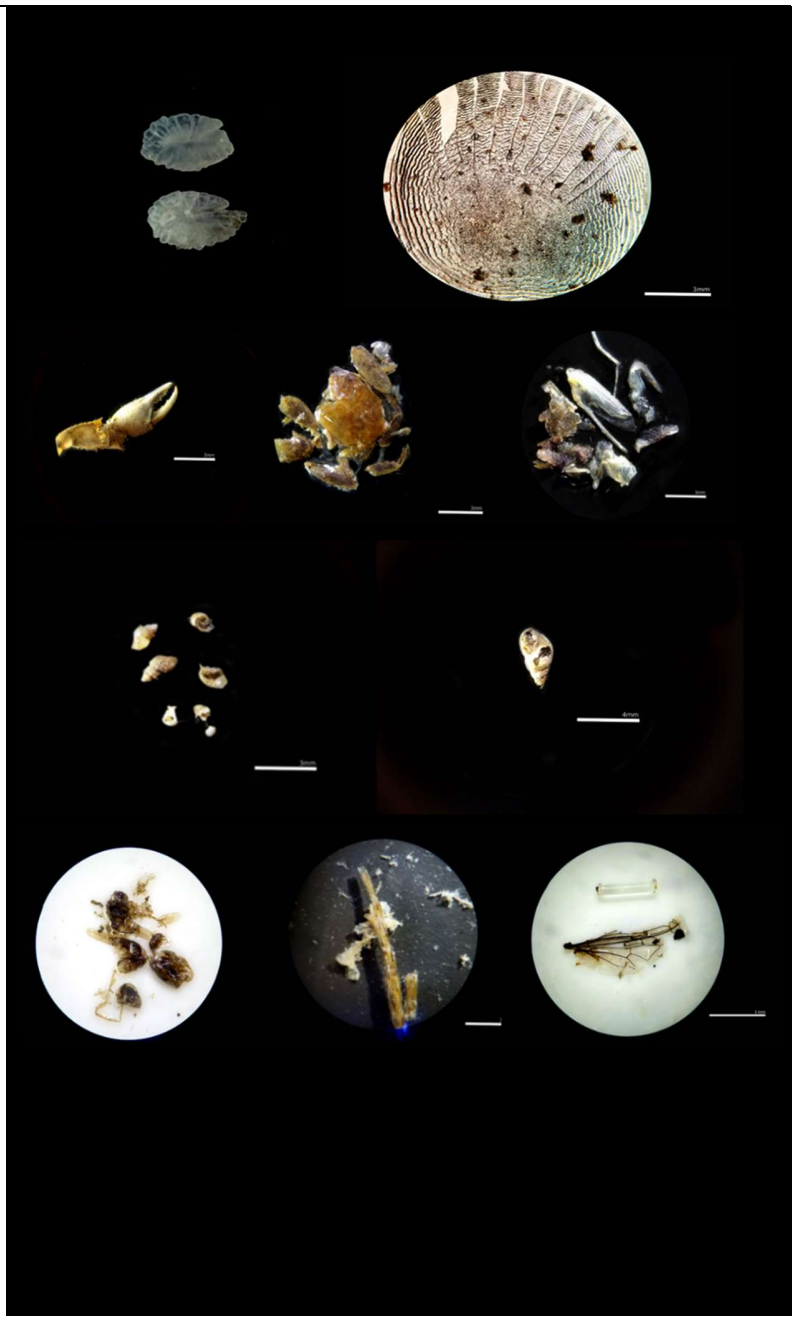


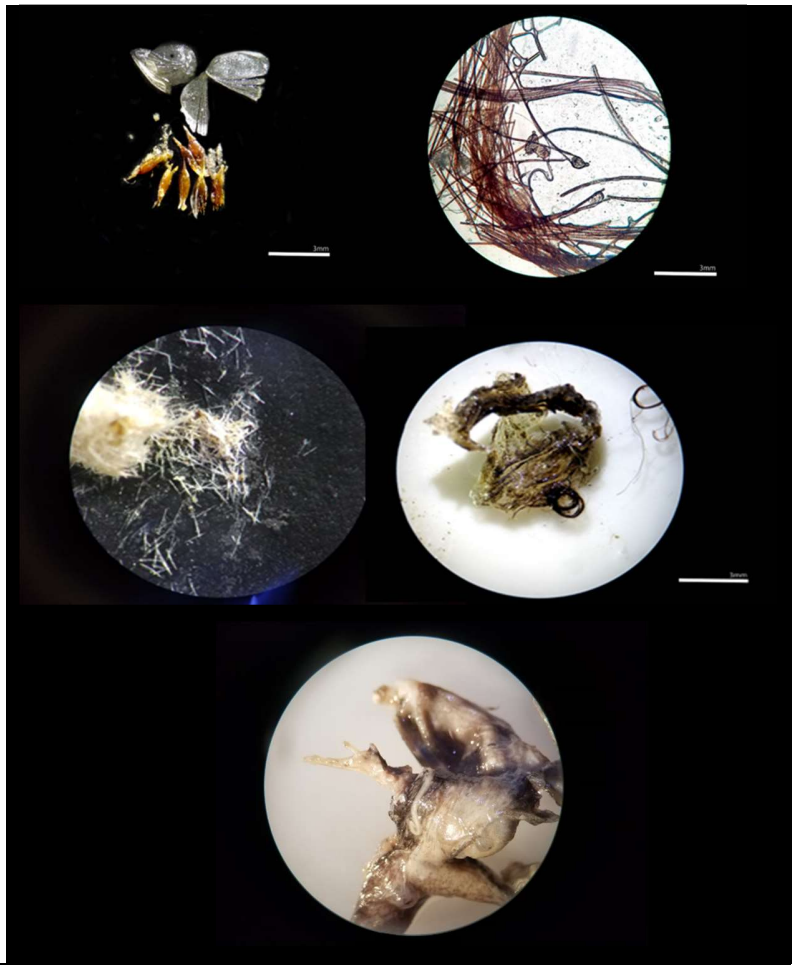
Figura 7: Alimentos consumidos por *A. trimaculatus*

Los ítems de mayor frecuencia en cada categoría se listan en la Tabla 4. La categoría más diversa fue insectos con 6 familias y una clase, seguido por peces y crustáceos con tres géneros respectivamente. La categoría que solo apareció una vez fue la de anfibios con un género. Según la incidencia de alimentación de *A. trimaculatus*, se clasifica como una especie omnívora con tendencia carnívora, con preferencia a los peces, seguida de crustáceos, insectos, moluscos. Se considera como especie omnívora debido a que el ítem MV, fue catalogada como un grupo tróficos de importancia secundaria, con un índice de frecuencia del 45.37%. Este hábito alimenticio indica directamente relacionada con la búsqueda e ingestión de los alimentos, indicando que los organismos poseen una habilidad de alimentarse en toda la columna de agua, incluyendo en el sedimento.

Tabla 4

Clasificación de los ítems de mayor frecuencia en A. trimaculatus.

Categoría	Clasificación ítem	Fotografía
Peces	*Poecilia sp y Cichlasoma sp*	
Crustáceos	*Penaeus* sp, *Macrobrachium* sp., *y Cardisoma* sp.	
Moluscos	Familia Thiaridae	
Insectos	Familia Libellulidae Ephemeroptera, Hymenoptera, Megaloptera, Diptera y Clase Arachnida	

Material vegetal	Semillas y microalgas	
Otros invertebrados	*Spongilla sp y Anelidae*	
Anfibios		

De acuerdo al análisis de componentes principales, los componentes 1 y 2 explican un 39.2% de la variancia de los datos. Se observa una relación positiva entre los conjuntos de ítems PC, INS y MV, seguido por ML, INV y ANF. Se observa una relación nula entre ambos grupos. El ítem CRU, posee una relación negativa con PC, INS, y MV. Por otro lado, se observa una relación nula con el conjunto ML, INV y ANF. Lo cual indica que el organismo se alimenta en función a la disponibilidad de los ítems en el Canal de Chiquimulilla (Figura 8), y que la ingesta de CRU, está relacionada al sistema hídrico del lugar.

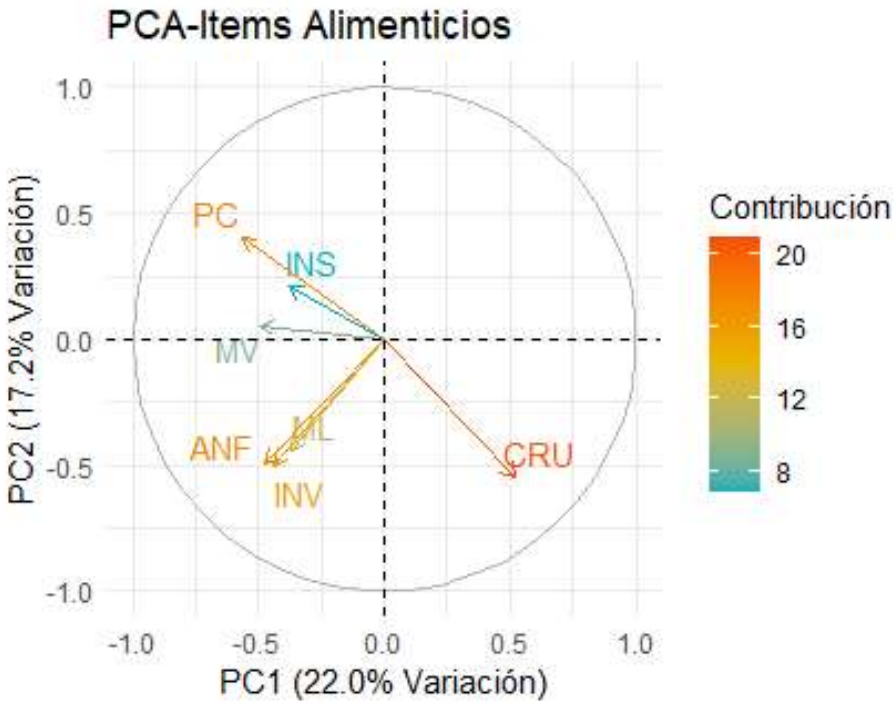


Figura 8: Relación de los ítems alimenticios en la población de *A. trimaculatus*

De acuerdo al análisis de componentes principales sobre la relación que existe de la preferencia de ítems alimenticios versus los meses evaluados, los componentes 1 y 2 explican un 68.8% de la variancia de los datos (Figura 9), los ítems alimenticios con mayor contribución ene le análisis son PC, CRU y MV.

Se puede observar que existe una fuerte relación para los ítems CRU, PC y MV para los meses de enero y marzo, observando mayor relación enero para CRU y marzo para MV. Para los ítems INS, ESP, ANF, ML los meses con una relación positiva fueron octubre y noviembre.

El resto de meses no existe una relación positiva entre los ítems evaluados, indicando que los organismos no tienen preferencia por un ítem en específico, si no posee una dieta variedad, la cual puede estar en función del ecosistema.

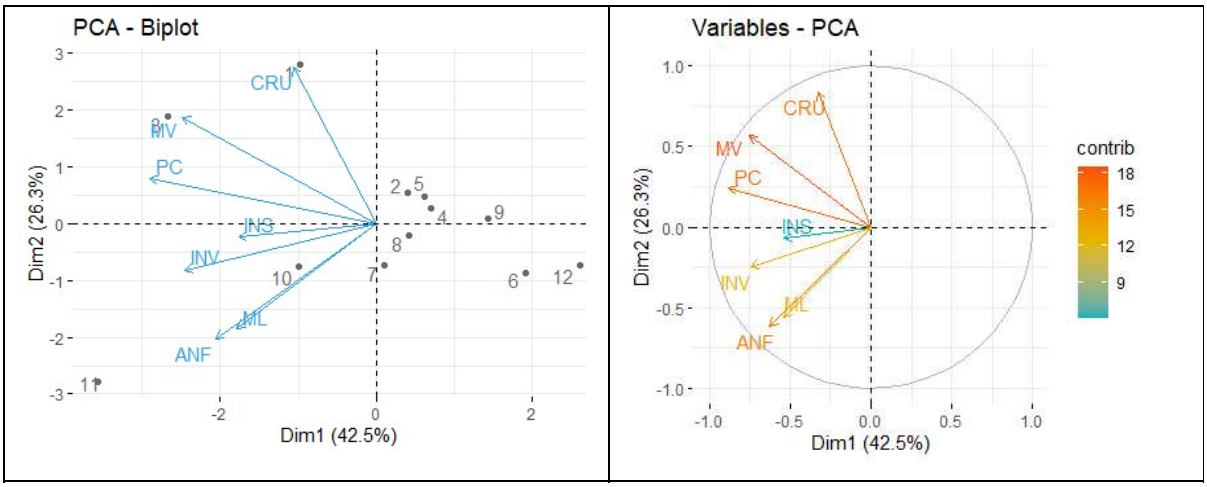


Figura 9: Relación de los ítems alimenticios en la población de *A. trimaculatus* por los meses evaluados. ID: los números corresponden al mes de monitoreo.

Descripción gonadal

El sistema genital de los organismos *A. trimaculatum* son gónadas alargadas, pareadas y redondeados, localizados en la parte dorsal de la cavidad abdominal. Se puede observar tanto en hembras y machos conductos (ováricos y testiculares) que se fusionan en la abertura urogenital.

Ovario

Las hembras se observan que son asincrónicas con ovocitos en diferentes etapas de desarrollo. El ovario es translúcido en organismos arriba de 10 cm, dejando ver a simple vista los oocitos en los estadios de madurez IV y V. En los primeros estadios de desarrollo del ovario los organismos poseen un color rosa claro, y a medida que va madurando el ovario, se torna de color crema - amarillo pálido (Figura 10a).

Testículo

Los testículos de *A. trimaculatus* son órganos pareados de forma a largada y color blanco. Están unidos entre sí por una lámina de tejido pigmentado que a su vez los adhiere a la vejiga natatoria. Los testículos inmaduros y maduros son simétricos (Figura 10b).

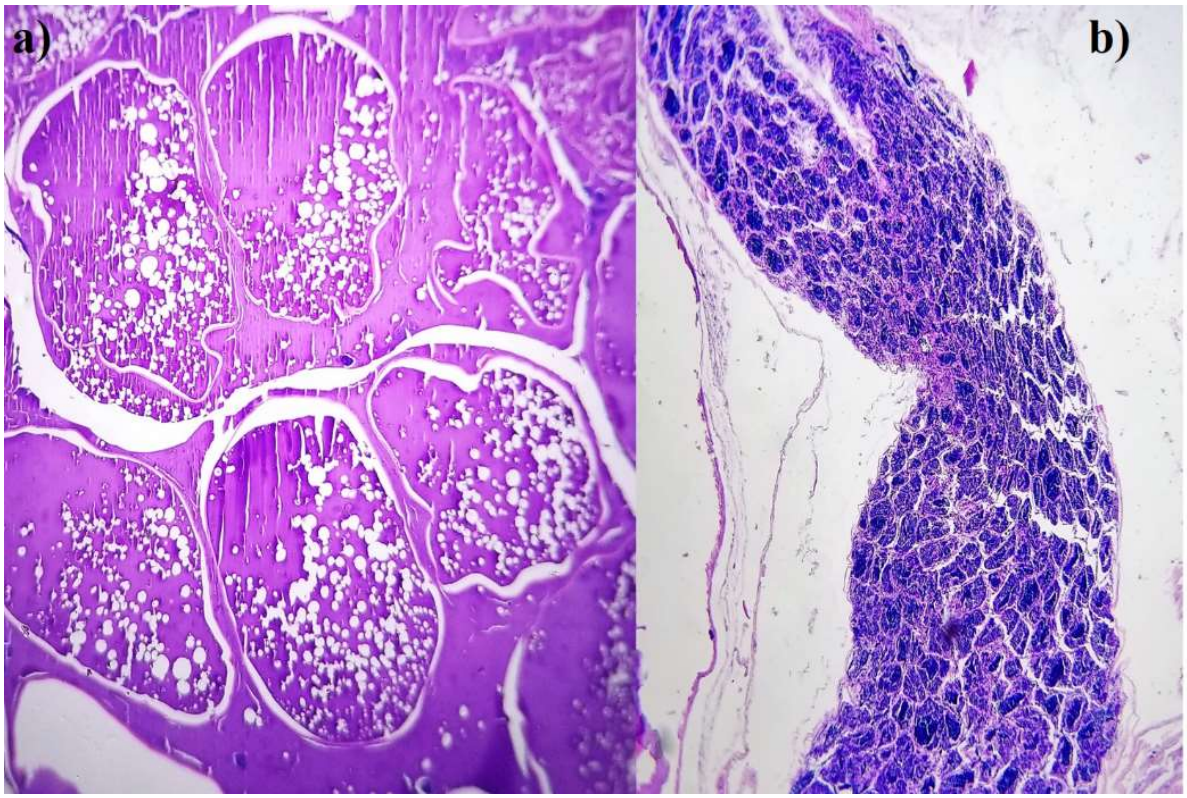


Figura 10: Ovario y testículo de *A. trimaculatus* sexualmente reproductivo. a: ovario; b: testículo

Para la evaluación de las gónadas se tomaron 30 hembras y 30 machos. Los machos presentaron únicamente estadios de I-IV (Figura 11), mientras que las hembras en estadio I-VI (Figura 12). Para las hembras se observó que el 85% de hembras se encontró en estadio IV-V predominantemente (Figura 13). Para este estudio la talla mínima de primera madurez fue calculada en 10.16 cm para hembras y 11.24 cm para machos

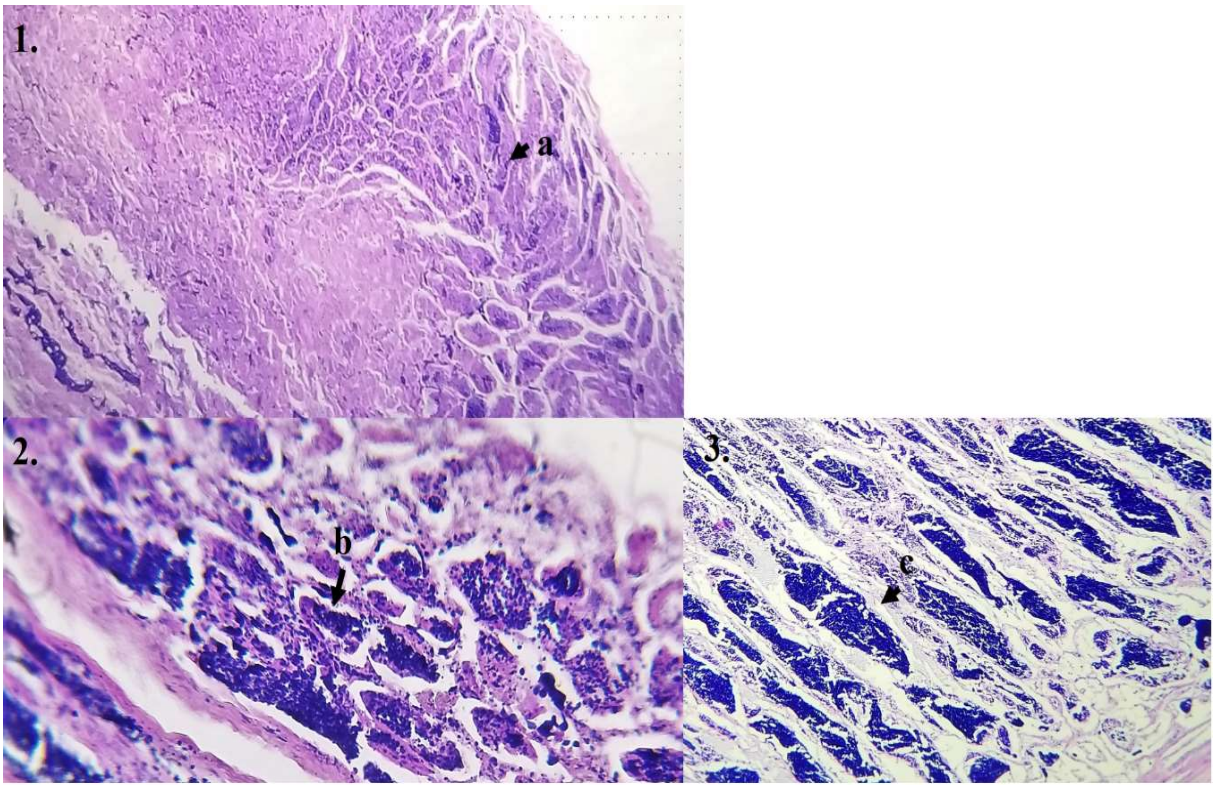


Figura 11: Testículo de *A. trimaculatus* sexualmente reproductivo. ID: a: espermatogonias, b: espermátidas y c: espermatozoides.

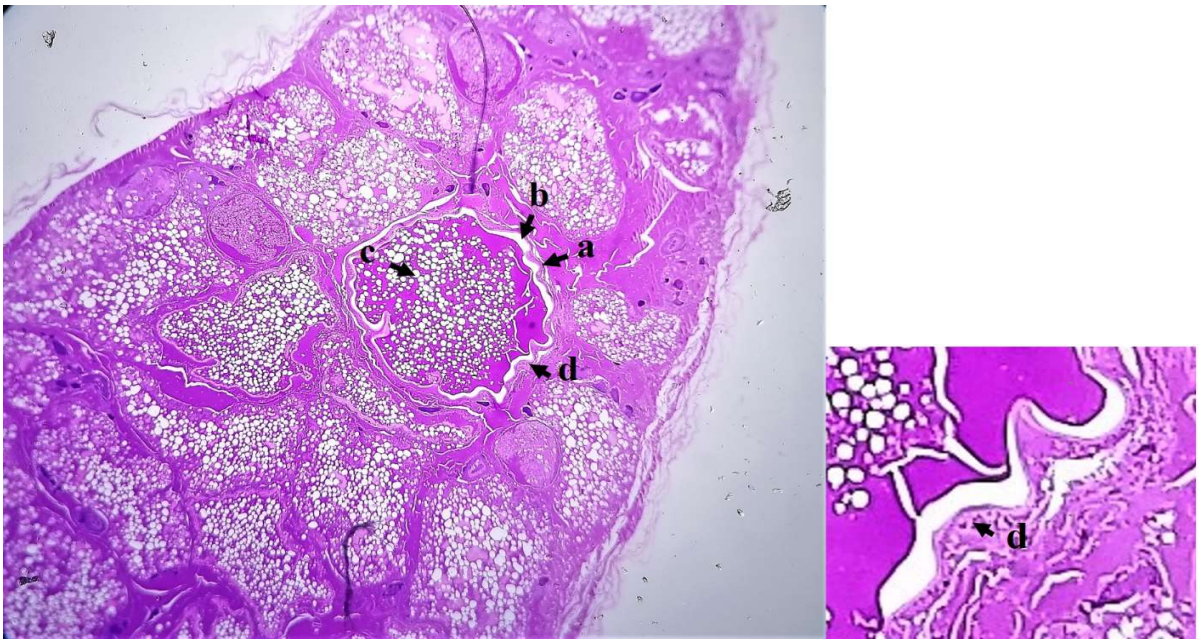


Figura 12: Ovario de *A. trimaculatus* sexualmente reproductivo. ID: a: corion, b: espacio entre ooplasma y el corion (artefacto), c: glóbulos de yema y d: células del folículo escamoso.

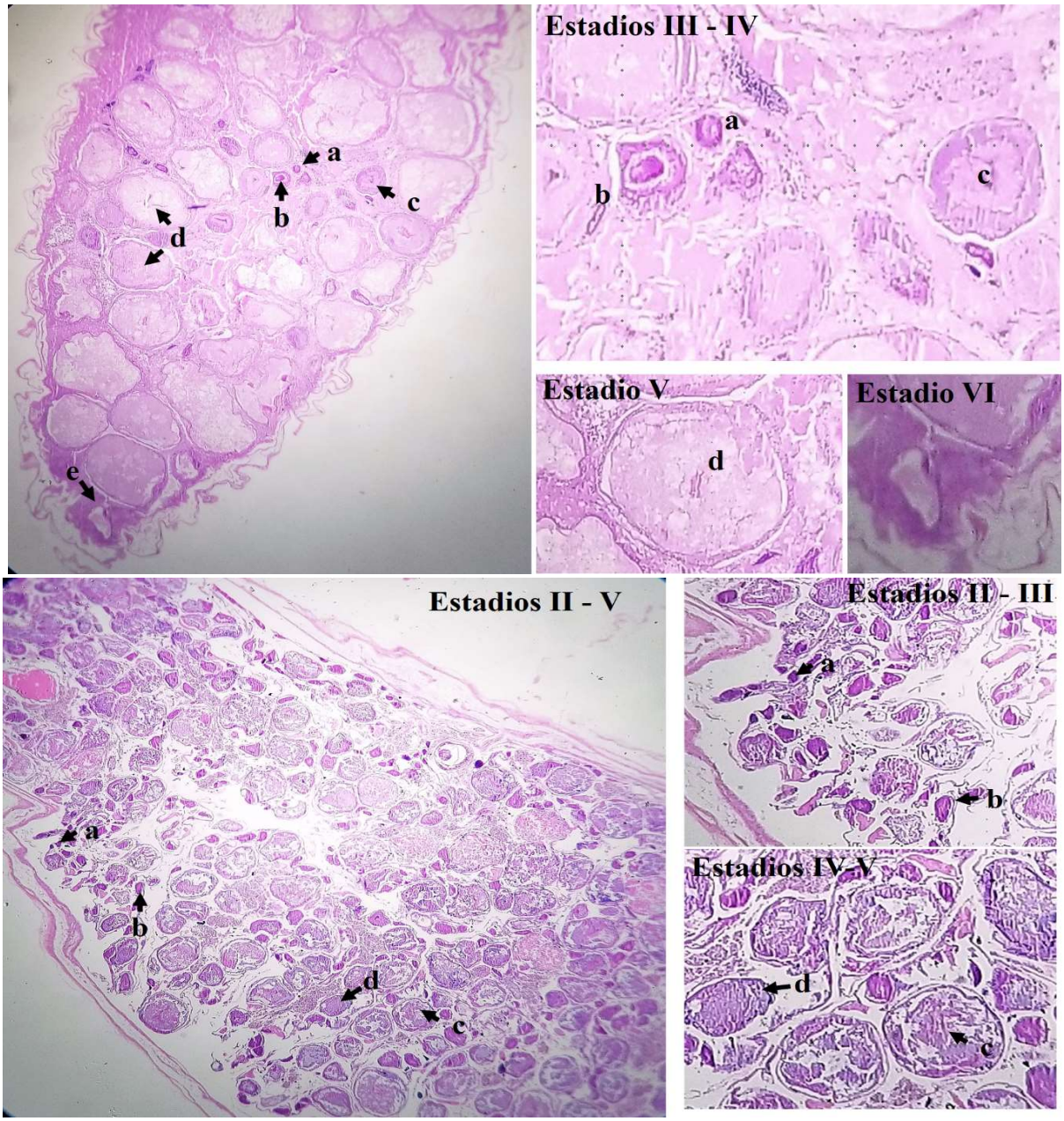


Figura 13: Grado de madurez gonadal, identificación de los estadios III – VI en *A. trimaculatus*. ID: a: ovocito en estadio II, b: ovocito en estadio III, c: ovocito en estadio IV, d: ovocito en estadio V.

La comparación del IG y IH, los índices fueron calculados a partir de 330 organismos, el resto de organismos el peso de la gónada era por debajo límite de cuantificación de la balanza (<0.03 g). Las hembras evidenciaron a partir del estadio IV un incremento del IG y disminución del IH, indicando la época de desove para las hembras. Los meses con mayor IG fue el periodo comprendido entre febrero a septiembre. Siendo los meses de mayor IG junio y julio (Figura 14).

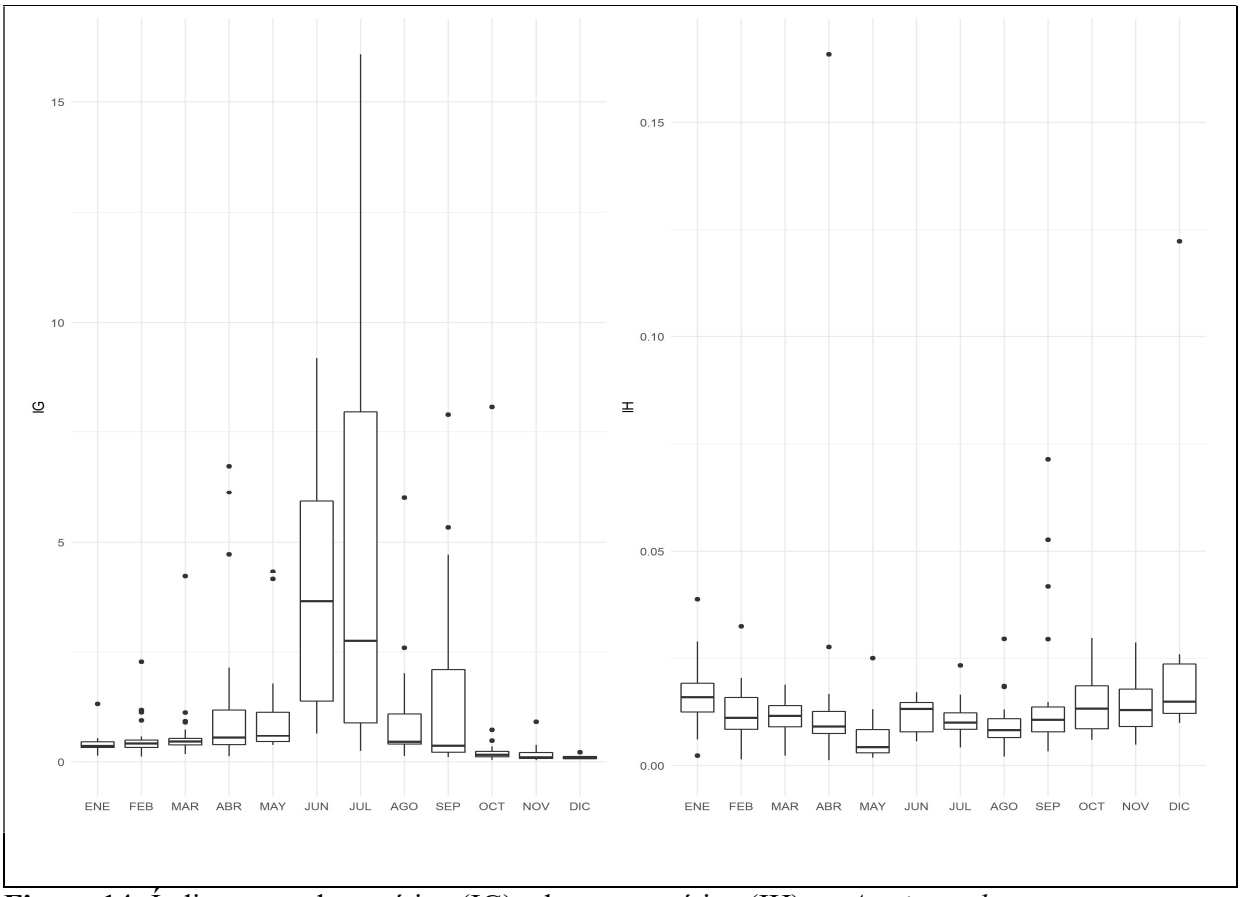


Figura 14: Índices gonadosomático (IG) y hepatosomático (IH) en *A. trimaculatus.*

Los periodos de reproducción inician en abril y finaliza en septiembre, siendo los picos de reproducción en junio y julio, en dichos meses se observa un valor gonadosomático mayor y un índice hepatosomático menor, para hembras.

Desarrollo acuícola

Acondicionamiento, inducción al desove, comportamiento social y reproductivo

Durante la adecuación de los reproductores y crías, se observaron diferentes patrones de coloración en los organismos. Se observó: 1. Intensificación de francas transversales desde la zona craneal hasta el pedículo caudal, 2. Incremento de la coloración amarilla (Distintas tonalidades), en todo el cuerpo, 3. Coloración verde oliva en todo el cuerpo, 4. Intensificación de la mancha ventral rojiza y 5. Coloración café oscuro (Figura 15).

Figura 15: Diferentes patrones de coloración en *A. trimaculatus.*

Los reproductores acondicionados al sistema de aclimatación presentaron los siguientes parámetros zoo métricos, los cuales se describen en la tabla 5.

Tabla 5

Parámetros zoométricos de reproductores de A. trimaculatus

Parámetros	Fecha de monitoreo		
	12/9/2019	29/11/2019	21/4/2020
Población	22	21	20
Peso promedio	161.454545	171.833333	193.54
Peso Mínimo	95.0	102.5	101.8
Peso Máximo	265	295	325.6
Desviación estándar	48.49	58.24	66.76
Varianza	2351.28	3392.08	4456.81
Biomasa (g)	3552	3608.5	3870.8
Biomasa ganada (g)		56.5	262.3
Mortalidad aparente	0	4.54	4.76
Días de cultivo	0	78	144
Tasa especifica de crecimiento		0.079	0.082
% de peso ganado		6.42	12.63
Coeficiente de variación	30.03	33.89	34.49
Observaciones:	Siembra de reproductores	Periodo final del acondicionamiento	Inicio de la reproducción en condiciones de laboratorio

Por otra parte, de los organismos nacidos en cautiverio, se observaron variaciones morfológicas corporales; alto y largo del cuerpo, relación cabeza *vs* tronco, proyección mandibular, y presencia y ausencia de manchas corporales tanto la mancha ocular y lateral (Figura 16).

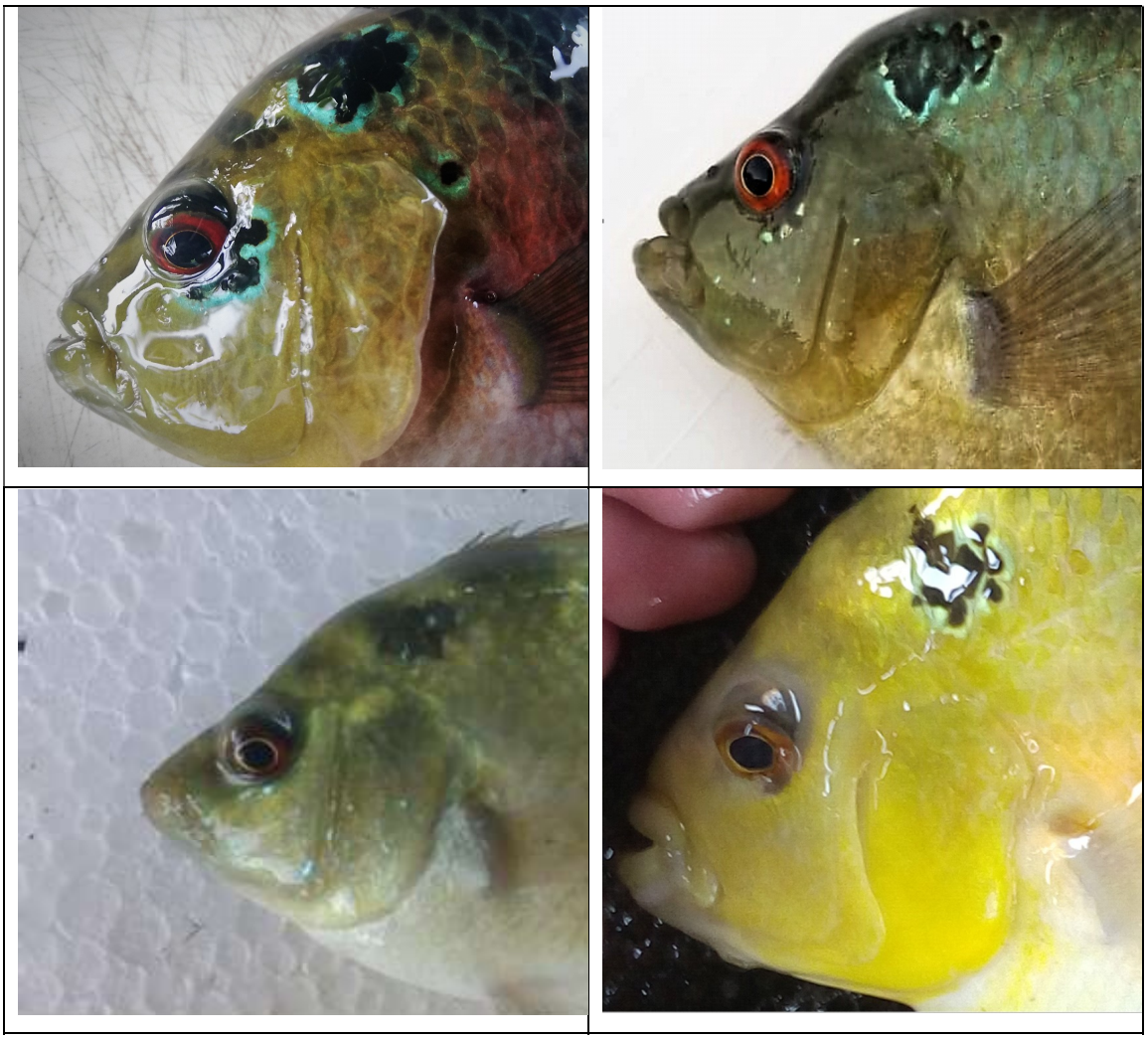


Figura 16: diferenciación de morfológicas de organismos producidos en cautiverio.

Se observaron dos categorías de status social: I. Dominante y II. No dominante. Siendo la categoría I; peces de mediana - alta talla, con intensificación de coloración en su banda transversal.

No se logró distinguir características específicas de dimorfismo sexual, exceptuando cuando los organismos han alcanzado su madurez sexual y están listos para desovar. Ya que el poro genital se alagar formando un triángulo truncado, e incrementa la vascularización en dicha área, para hembras, mientras que el poro genital en macho es únicamente se alagar, sin vascularización.

En el caso de los machos, se observa un incremento en su coloración, en algunas ocasiones se evidencia coloración rojiza en la parte ventral del área pectoral. Al igual que otras especies de la familia Cichlidae estos cambios en la conducta, coloración e incluso morfológicos son características que favorecen a los machos a obtener una buena posición en la jerrarquia y obtener una buena pareja para la reproducción.

La formación de parejas es evidente, ya que delimitan un área dentro del sistema de cultivo. Por lo general se evidencio que el macho es más grande que la hembra, pero esto está en función a la población dentro del sistema de producción, para la formación de parejas. Ya que en algunas ocasiones se observó hembras de mayor tamaño que los machos.

Previo al desove de los huevos se observa que la pareja realiza la limpieza del sustrato durante 3-5 días, removiendo exceso de algas epifitas y sedimentos. Posterior, existe un cortejo, la hembra coloca huevos adherentes en la superficie del área previamente limpia, y enseguida el macho pasa fertilizando los huevos. El periodo de puesta puede variar entre un rango de 45 a 90 minutos (Figura 17).

Figura 17: Proceso de desove en *A. trimaculatus.*

Se observó cuidado agresivo parental de ambos padres, cuidado y limpiando el nido constantemente. Ambos padres cuidaron a las larvas hasta el 10mo - 12vo día, tiempo en que las larvas pueden movilizarse completamente. Se puede sincronizar nuevamente el desove de los reproductores en tiempo entre 20 – 30 días, siempre y cuando se realice el destete de las larvas, se mantenga el régimen alimenticio y recambie el 75% del agua cada 15 días. La productividad de las hembras fue de 37 huevos/g de peso corporal, con una tasa de eclosión del 95.4%.

Desarrollo larvario

Se observó que las larvas eclosionan entre 48-72 post liberación. Durante los primeros 5 días, se mantienen sujetas a la superficie del nido. Posterior a ellos inician a nadar dentro de un área pequeña dentro del nido. A partir del sexto día los organismos inician un nadado en un área mayor del nido. Pero los padres siguen en constante cuidado parental. Post eclosión se observa las siguientes etapas:

1. **Larva del saco vitelino** (Figura 18): se observa una larva con poco movimiento y con un saco vitelino grande que abarca >50% de la cavidad abdominal. El saco vitelino presenta una coloración amarilla el cual se encuentra lleno de glóbulos de grasa (glóbulos vitelinos), y se observa melanóforos a lo largo del saco. En la región caudal fue evidente la notocorda y no se diferencia ninguna aleta, no existe evidencia de los sistemas gástricos, visual entre otros.

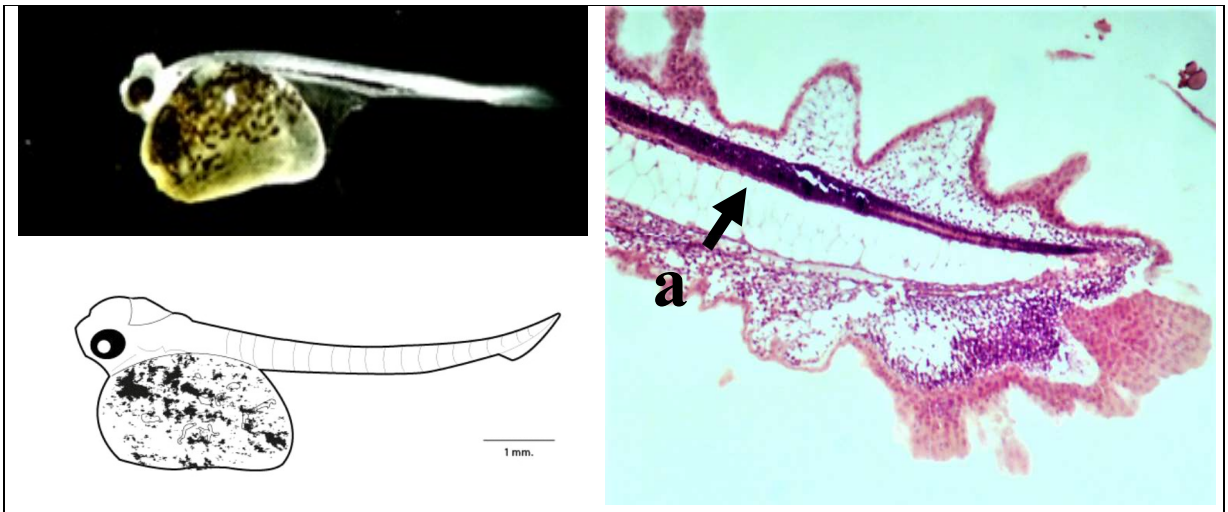


Figura 18: Larva del saco vitelino. ID: a: notocorda.

2. **Larva de preflexión** (Figura 19): esta etapa inicia en el día 2 y finaliza en el día 3. Se observa el inicio de la flexión hacia arriba de la notocorda. En esta etapa se observa un incremento en el tamaño de la larva, con un desarrollo morfológico bucal leve – moderado (n=5). Se observa que el saco vitelino es absorbido en ±75%, sigue observándose melanóforos a lo largo del saco con vascularización moderada. Se evidencia un desarrollo incompleto en el sistema visual (ojos), respiratoria (branquias) y gástrico (estomago).

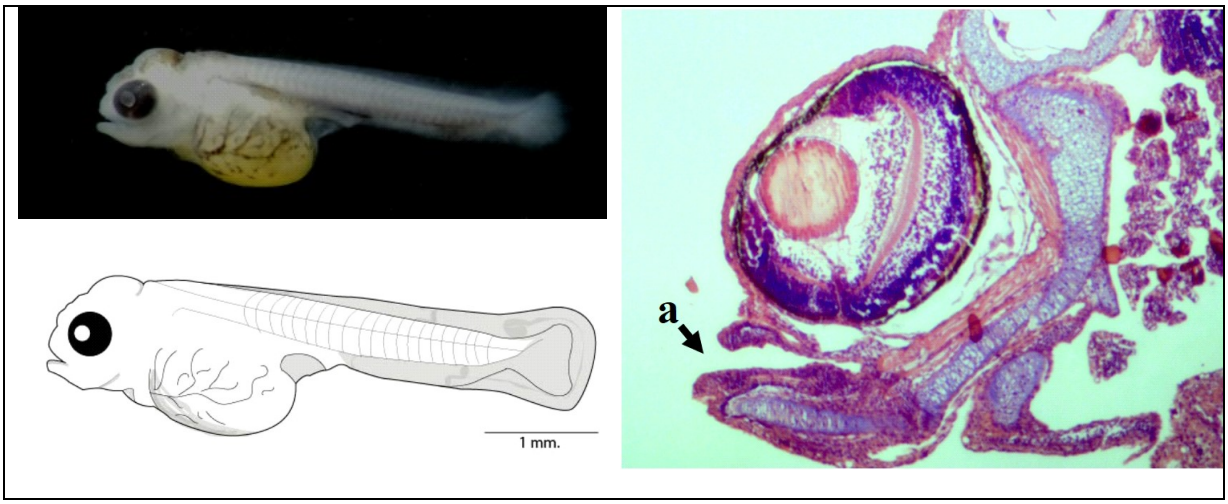


Figura 19: Larva de preflexión. ID: a: desarrollo bucal moderado

3. **Larva en Flexión** (Figura 20): esta etapa inicia en el día 3 y finaliza en el día 4. En esta etapa de desarrollo que comienza con la flexión de la notocorda y termina con los huesos hipurales asumiendo una posición vertical. Se observa un desarrollo gástrico casi completo, un mayor desarrollo del sistema visual, excretorio y hematopoyético.

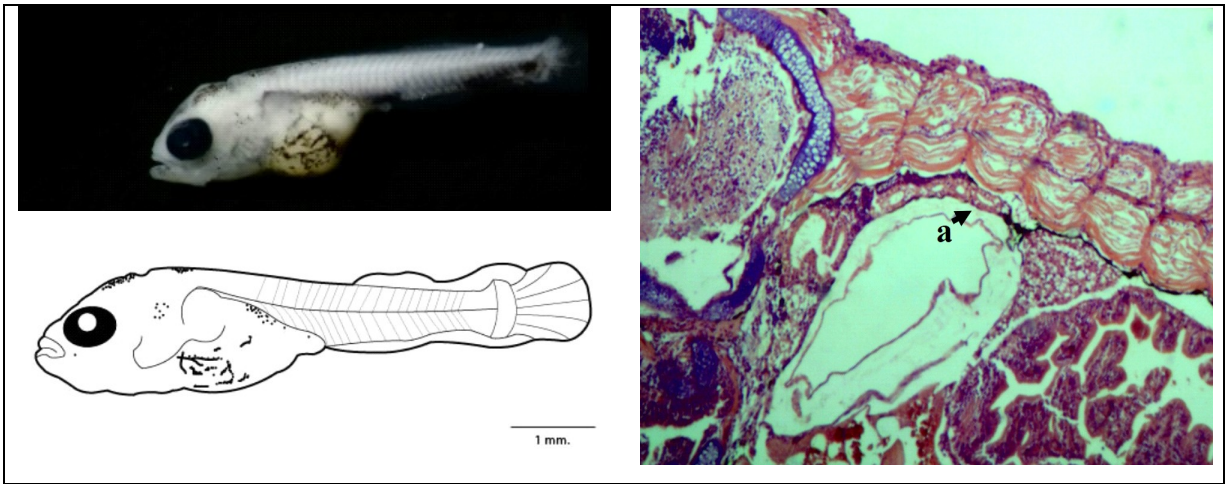


Figura 20: Larva en Flexión: la notocorda desaparece.

4. **Larva en posflexión** (Figura 21): Esta etapa inicia en el día 5 y finaliza en el día 12. En esta etapa se observa el desarrollo a partir de la formación de la aleta caudal (elementos hipurales vertical) para obtener complementos merísticos externos completos (radios de aleta). Se observa todos los sistemas ya desarrollados.

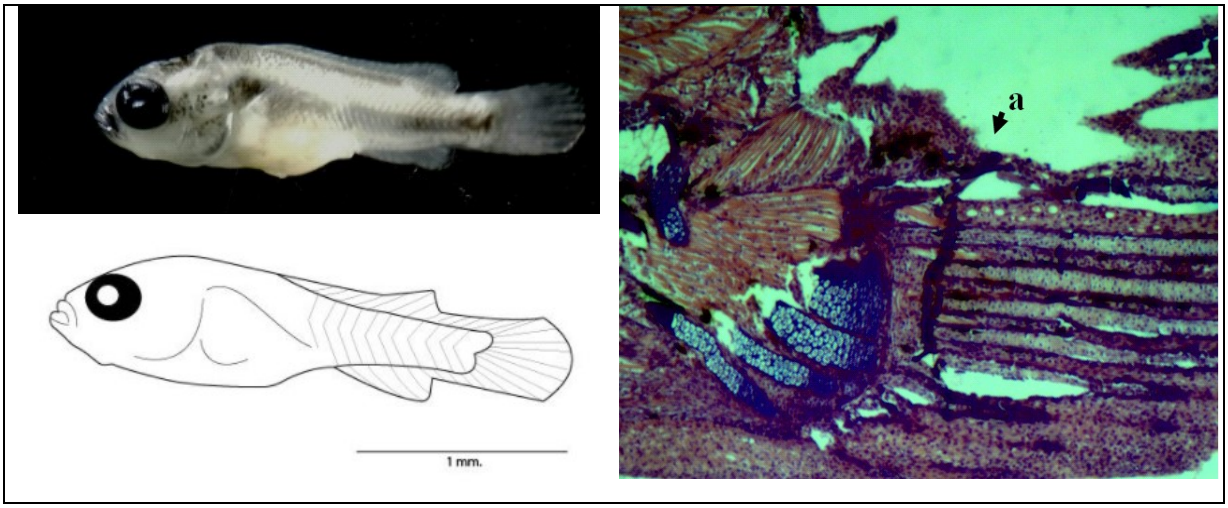


Figura 21: Larva en posflexión. a: elementos hipurales vertical, formación completa de aleta caudal.

5. **Etapa juvenil** (Figura 22): Esta etapa inicia en el día 13, y es donde se puede observar la finalización del conteo de rayas y comienzo de la escamación. Esta etapa dura hasta que el pez ingresa a la madurez sexual.

Figura 22: Etapa juvenil. ID: a: formación completa de vertebras Precaudales, b: Inserción de los rayos de la aleta anal, en los sacos óseos de la musculatura. c: Sistema gástrico completo (Estomago), con evidencia de quistes de artemia, d: hígado.

Ensayo de engorde de alevines de A. trimaculatus

Las condiciones medioambientes en los sistemas de cultivo fluctuó 24 – 30 °C, con cantidad de oxigeno >3 ppm, los valores indican que a pesar que fueron fluctuantes, se encuentra dentro de los rangos de tolerancia para la especie. Los tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre todos los parámetros zoométricos calculados para los alevines de *A. trimaculatus* (Tabla 6).

El tratamiento (alimento de trucha) que reflejo una tasa de crecimiento mayor, factor de conversión alimenticia menor y bajo porcentaje de mortalidad. El tratamiento que presento valores desfavorables fue el T2 el cual fue alimentado con alimento para tilapia 32% PC, con una tasa especifica de crecimiento menor y un alto factor de conversión alimenticia.

Tabla 6

Categoría de contenido de estómago de Amphilophus trimaculatus

Parámetros	**T1**	**T2**	**T3**
Biomasa inicial (g)	69.18	2,200.80	102.10
Biomasa final (g)	1,6237.41	7,038.99	2,166.00
Biomasa ganada (g)	1,6168.23	4,838.19	2,063.90
Mortalidad aparente (%)	1.82	14.29	11.85
Días de cultivo (#)	226.00	227.00	97.00
Alimento suministrado (g)	1,6076.20	7,580.10	2,606.20
FCA	0.99	1.57	1.26
Tasa especifica de crecimiento (%)	2.42	0.58	1.98
Coeficiente de variación	28.91	37.88	37.08
	Alimento de trucha 45% CP	Alimento de camarón 35% CP + Alimento de trucha 45% (Relación 50:50)	Alimento de tilapia 32% CP

La aceptación de las dietas experimentales, fue buena durante todo el estudio, se pudo observar que el organismo tiene preferencia a los alimentos con proteína de origen hidrobiológico, aunque su aceptación por alimentos con bajo porcentaje de dicha proteína es aceptable.

16. Análisis y discusión de resultados

En general se observa que la población de *A. trimaculatus* asociada a la RUSMM, es estable desde el último estudio realizado para esta especie en la década de 80, donde se evidencio que los organismos poseen una distribución de tallas de 104.5 a 164.5 mm (Rosales 1980), similar a lo encontrado en este estudio de 112 a 170 mm. En relación a otras poblaciones dentro del rango de distribución de *A. trimaculatus*, se puede observar que la talla y peso máximos en este estudio, se encuentra por debajo a lo reportado por Ortiz (2011): 197.71 / 356.49 g, y Galicia (2018) 246.2 mm / 598.91 g.

La frecuencia de tallas en este estudio fue multimodal con mayor frecuencia para el grupo de talla 25-50 g / 110 -150 mm, contrario a lo reportado en el sistema lagunar estuario Chantuto Panzacola, Chiapas y el río Atoyac- Oaxaca, México, donde la mayor distribución de tallas fue entre 160-180 mm. Lo cual indicando que los sistemas hídricos están expuestos a diversas variaciones físicas (temperatura y salinidad) y biológicas (alimentación, depredación y competencia), que pueden ser factores que determinen el tamaño y distribución de los organismos acuáticos de una misma especie (Bruno et al., 2013). Se pudo evidenciar que la técnica de colecta puede ser un factor que sesgue la captura del organismo, en el presente estudio se utilizó la técnica activa (Atarraya tipo bolinche de 1.5 cm de luz de malla), contrario a lo utilizado por Galicia (2018), quien utilizó electropesca. Dicha técnica de muestra tener mayor efectividad para tallas grandes en ecosistemas con difícil acceso, tipo y calidad de agua diversa (Borgstrøm & Skaala, 1993). La RNUMM es un ecosistema conformado por zonas de manglar (rojo, blanco, negro y botoncillo), tular, carrizales, áreas de baja profundidad, lo cual proporciona micro hábitats de refugio para toda la ictiofauna, reduciendo así la efectividad del arte de pesca (atarraya), para la captura de los organismos.

Se observó que la población de machos *A. trimaculatus* en la RNUMM posee un peso y talla mayor con respecto a las hembras (Figura 4), similares resultados se han observado para las poblaciones de México, esto concuerda con los cíclidos neo-tropicales donde los machos por lo general son de mayor tamaño que las hembras (Kullander, 2003).

La estructura de sexos en la población asociada a la RNUMM fue de 1 H : 1.13 M, indicando que la población está en equilibrio, datos similares obtenidos con la población de *A. trimaculatus* en la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México, donde se registró una proporción de 1H : 1.43M (Violante-González, 1995) y en la población asociado al sistema lagunar de Chantuto Panzacola, Chiapas, con proporción de 1H : 1.3M (Galicia, 2018). Cabe descartar que esta especie puede ir modificando dichas proporciones debido a las condiciones medioambientales, fisicoquímicas del agua y de temporalidad.

En cuanto al tipo de crecimiento como se puede observar en la figura 5, el coeficiente de crecimiento *b* muestra que la especie prestan un desarrollo de alométrico negativo, indicando que los individuos incrementan su longitud relativa más que su peso. Otras poblaciones en *A. trimaculatus* demuestran un crecimiento alométrico positivo, donde los individuos de mayor talla han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud. Esta diferencia entre los tipos de crecimientos de dos poblaciones de *A. trimaculatus* es debido que la frecuencia de tallas, fue menor para Guatemala RSNMM, en relación a las poblaciones de México. La diferencia entre los crecimientos de las poblaciones de *A. trimaculatus* pueden estar asociados a rasgos adaptativos con alto valor evolutivo, para cada uno de los ecosistemas, como se ha demostrado en otras especies (Cifuentes et al., 2012).

Por otra parte, el índice de condición para todos los organismos capturados (Figura 6), reflejan una condición positiva, lo cual se evidencia la constante alimentación de los organismos dentro del ecosistema. La evolución en tiempo del factor K los meses de junio y julio reflejaron diferencia estadística en relación al resto. Esto parece estar relacionado con las actividades reproducción de la especie y al cambio de régimen de lluvia en el ecosistema, tal y como lo reportan en diversas especies de peces de la familia Cichlidae (Ayoade & Ikulala 2007)

En cuanto la preferencia alimenticia, se observa que la frecuencia por cada ítem está en función a la disponibilidad en el ecosistema, por ejemplo, el ítem CRU, cuando existe mayor abundancia, los organismos prefiere alimentarse de este tipo de ítem, y dejar a un lado el ítem PC, el cual es su alimento esencial, durante todo el año. La preferencia de alimento de esta especie en la RSUMM, no ha cambiado desde 1980, sigue siendo peces, crustáceos e insectos, y se evidencia el consumo de materia vegetal (Rosales, 1980).

El nicho trófico en esta especie se presume que es amplio, ya que existen una diversidad de grupos que se consumen de forma variable, según la disponibilidad de ecosistema. De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se puede inferir basados en la composición proximal de los dos items principales para *A. trimaculatus* (PC: peces del genero *Poecilida*; CRU: camarones del género *Penaeus*). Cabe resaltar que los cálculos corresponden a la composición proximal colectados en diversas fuentes literarias (Belandria & Morillo, 2013; Fernández-Méndez, Gonzales & Neyra, 2019). Por lo tanto, los nutrientes esenciales como las proteínas y lípidos para estas especies deberán ser: ≥45% PC, y ≥15% LIP.

Los organismos colectados se observan que las hembras son asincrónicas con ovocitos en diferentes etapas de desarrollo, los estadios de madurez fluctuaron con respecto al tiempo, muy similar por muchos peces de la familia Cichlidae. Los picos de reproducción suceden en junio y julio, en dichos meses se observa un valor gonadosomático mayor y un índice hepatosomático menor, para hembras. Indicando la dinámica en la utilización de la energía endógena de los órganos, tales como el hígado y la gónada, la variación en el peso del hígado refleja procesos de almacenamiento y transferencia de proteínas y lípidos asociados al esfuerzo reproductivo, tal y como lo describe Heidinger y Crawford, (1977) y Gonçalves da Silva y colaboradores (2005). Estos resultados concuerdan con lo reportado para las poblaciones de *A. trimaculatus* en diversos ecosistemas en México (Violante-González, 1995; Galicia, 2018). Los datos recolectas de IG y IH demuestran que existe una correlación inversa en el caso de las hembras, mientras que para macho el índice se mantiene similar en todo el periodo de evaluación, indicando así que en este grupo necesitan menos energía para la reproducción, en comparación a las hembras. Como lo describe Acevedo y colaboradores (2007), el proceso de ovogénesis implica mayores demandas de nutrientes, esto debido al tamaño de los gametos y presencia de vitelo (Acevedo et al., 2007). De forma general los datos indican que con protocolos de alimentación y acondicionamiento es posible obtener reproducción en *A. trimaculatus* durante un año.

En cuanto al comportamiento de los organismos se observaron dos categorías de status social: I. Dominante y II. No dominante. El comportamiento en la jerarquía de peces de la familia Cichlidae están asociados a presiones selectivas, las cuales forzar a los organismos a incrementar su territorialidad, según el hábitat (Alonso 2011).

Se observó en la población una gran diversidad de coloraciones en los organismos, la diversidad de fenotipos (color) observados durante el presente estudio puede estar asociado para la comunicación intra especie y adaptación en el ecosistema por la diversidad y variabilidad de los ambientes en los que éstos habitan, debido a que los organismos acuáticos poseen genes que pueden ser expresados acorde al ecosistema que regula la producción génica (Kodric-Brown, 1998). En este estudio se infiere que los cambios de coloración pueden estar controlados por el sistema nervioso o bien por el sistema endocrino, tal y como lo reporta Alonso (2011) con la especie *Cichlasoma dimerus*, la cual utiliza ambos sistemas para poder realizar cambios de coloración para adecuarse a un estatus social y ambiental. Por lo tanto, la respuesta a los diversos fenotipos (coloración) observada en *A. trimaculatus* en este estudio pueden ser a un determinado contexto en la jerarquía de los organismos, y factores como intensidad lumínica, patrones de fondo, alimentación, tipo de estanques entre otros, son los factores determinantes de la coloración.

Se observó un éxito reproductivo de los organismos, indicando así que la reproducción es un factor de gran relevancia del cual depende el éxito o fracaso del cultivo de peces. *A. trimaculatus* demostró ser una especie la cual se puede cerrar el ciclo productivo, similares resultados se pueden evidenciar con otros peces de la familia Cichlidae: *Petenia splendida, Cichlasoma istlanum, Cichlasoma festae, Cichlasoma urophthalmus*, entre otros (Luna-Figueroa & Figueroa, 2000; Lorenz, 2000; Álvarez et al.., 2011; González et al., 2020), mostrando hábitos reproductivos y de crianza muy similares.

En términos de productividad, en este estudio se observa que se puede obtener crías entre 20-30 días por pareja, diferendo de lo encontrando por Uscanga-Martínez y colaboradores (2015), que quienes reportan que al tener una proporción hembra: macho (3:1), se pueden alcanzar mayores desoves a lo largo de 90 días. Por lo tanto, esta especie tiende a ser polígama, cuando está en presencia de varias hembras, y monógama cuando está en presencia de una sola hembra.

La información descriptiva sobre el desarrollo temprano para *A. trimaculatus* es nula, y para organismo dentro de la familia Cichlidae es escaso. De acuerdo a lo encontrado se puede observar que desarrollo larvario de *A. trimaculatus* es muy similar al de *Cichlasoma dimerus* (Meijide & Guerrero, 2000), las larvas en el tercer día eclosionan, y los padres realizan un cuidado parental continuo. Las larvas del saco vitelino presentan glándulas adhesivas sobre la cabeza. Al quinto día las larvas nadan libremente y comienzan a alimentarse de forma exógena.

Dado que el saco vitelino no está completamente reabsorbido hasta 2 o 3 días después, hay un período de suministro combinado de alimentos endógenos y exógenos.

Durante los ensayos de producción acuícola, se observó que el crecimiento se ve influenciado por el nivel proteico y lípido del alimento, se observó mayor crecimiento y eficiencia alimenticias con los alimentos con porcentajes de proteína y cantidad de lípidos alto (45% PC: 15% LIP). A pesar que esta especie es de tipo carnívora los porcentajes de proteínas fueron similares en fusión a lo que naturalmente se encontró en el tracto digestivos PC, CRU e INS. Toledo-Solís y colaboradores (2019), reportan que *A. trimaculatus* en fase de larvaria tienen un mejor crecimiento con una proteína de 45% y 22% de lípidos, la fuente principal fue caseína (>40%), harina de sorgo (>20%) y harina de pescado (10%), los organismos obtuvieron una tasa de crecimiento del 6.34%, muy por arriba de la tasa reportada en este estudio (2.54%). Lo cual evidencia que un alimento con proteína alto, para ser exclusivo para crecimiento, los lípidos deberán ser altos, para que pueden satisfacer la demanda energética, y la proteína sea exclusiva para el crecimiento (Kumar et al., 2018). Por lo tanto, los resultados en términos de crecimientos alcanzados en este estudio, se podrían deber a la baja incorporación de lípidos en la dieta de los organismos.

Por otra parte, se deberá contemplar la actividad enzimática de *A. trimaculatus*, ya que, en la actualidad para bajar los costos de los alimentos balanceados en peces, es común utilizar harinas de origen vegetal de diversas clases, por lo que, si el organismo no posee un buen perfil enzimatico, su eficiencia alimenticia será reducida. Según, Toledo-Solís y colaboradores (2013) *A. trimaculatus* su actividad enzimática está compuesta tanto de proteasas ácidas como de alcalinas, y desde el punto de vista enzimático apunta a ser considerada de hábitos omnívoros con tendencia a la carnívora. Por ello en el presente estudio, la dieta donde se utilizó alimento balanceado de tilapia 32%, fue efectivo para el crecimiento de los organismos, con una tasa de crecimiento del 1.98%.

17. Conclusiones

A. trimaculatus posee patrón de crecimiento alométrico negativo ($b > 3$), presenta hábitos omnívoros con tendencia carnívora; con preferencia de peces y camarón durante todo el año. Se observó que la talla de primera madurez sexual en este estudio, fue calculada 10.16 cm para la hembra y 11.16 cm para el macho, el período de desove es de febrero a septiembre, alcanzando su pico de reproducción de junio a julio. Estos datos son similares a lo reportado por Rosales, (1980), dentro de la RSUMM en Guatemala, pero difieren ligeramente de los reportados en México por Ortiz (2011) y Galicia (2018).

Dentro del componente acuícola se acepta la hipótesis formulada: es posible acoplar a un sistema de cautiverio organismos de *A. trimaculatus,* capturados del medio natural. Se observó una productividad para los reproductores de 37 huevos / g de peso hembra, con una tasa de eclosión del 95.4%. Los ensayos de crecimiento fueron positivos, alcanzando una tasa de crecimiento del 2.42% en 226 días de cultivo en un sistema extensivo de producción, con alimentos balanceados disponibles en la industria acuícola. A pesar que los resultados fueron positivos, difieren de los presentados por Toledo-Solís y colaboradores (2019), quienes reportan que *A. trimaculatus* logra una tasa de crecimiento del 6.34%, muy por arriba de la tasa reportada en este estudio. Se infiere que la tasa de crecimiento es alta debido que el alimento proporciono, fue con una proteína de 45% y 22% de lípidos, evidencia que un alimento con proteína alto, para ser exclusivo para crecimiento, los lípidos deberán ser altos, para que pueden satisfacer la demanda energética.

El cultivo de *A. trimaculatus* es posible, se puede controlar la reproducción de animales capturados en el medio silvestre, pueden crecer en un sistema controlado (Extensivo), con alimentos balanceados disponibles en el mercado. Aunque se debe de tomar en cuenta que para implementar una acuicultura tropical sostenible deberá trabajar a partir de la tercera generación filial, en la cual se deben avocar esfuerzos a implementar programas de mejoramiento genético basados en la selección de cría selectivas.

Por otra parte, se debe de tecnificar el sistema de cultivo, proveyendo una alimentación en función a su perfil nutricional y enzimático, con el fin de incrementar los rendimientos productivos como lo son la ganancia de peso, tiempo de cultivo y resistencia a enfermedades.

18. Impacto esperado

La acuicultura de peces en Guatemala sigue siendo altamente dependiente de especies exóticas introducidas (tilapia y trucha), se estima una producción de tilapia cerca de 13,500 TM, evidenciando desde 2010 un crecimiento 3.9%, aproximadamente. A pesar que el crecimiento de la acuicultura de peces va en ascenso, la diversificación de especies es limitada. Guatemala al ser un país mega diverso cuenta con gran diversidad de especies ícticas continentales y marinas. La familia Cichlidae es emblemática para Guatemala, ya que es conocida como el grupo "Mojarra", el cual durante las últimas décadas ha sido el grupo de mayor importancia comercial y alimenticia, previo a la introducción de la especie exótica "tilapia".

El grupo de cíclidos en Guatemala sigue siendo de gran importancia para la pesca artesanal. Desafortunadamente, desde el ingreso del género *Orechromis* a Guatemala con fines acuícolas, y la sobre explotación del recurso pesquero de especies nativas, ha conllevado que las especies nativas sean sub estimadas, y que no se estudien con mayor frecuencia. Países alrededor de Latinoamérica han desarrollado tecnología con el fin de explotar la acuicultura de especies nativas, en especial para la familia Cichlidae.

A pesar de la biodiversidad que existen en Guatemala, se han estudiado poco la ictio fauna, tanto a nivel biológico, ecológico y acuícola. Por lo tanto, los resultados de la presente investigación son bases fundamentales para entender la biología de *A. trimaculatus*, especie de gran importancia para la pesca artesanal al sur de Guatemala, y así ayudar paralelamente a la domesticación de la especie, con fines acuícolas.

Ya que se cuentan con datos sobre la época de reproducción, tipo de reproducción y capacidad de reproductiva de los organismos, para establecer los sistemas de reproducción y crianza. Por otro lado, se obtuvieron los datos de los ítems alimenticios, los cuales son la base fundamental para entender a nivel nutricional, el mejor alimento.

Todo esto ayudará a las instituciones encargadas de regular el recurso hidrobiológico, así como las instituciones académicas relacionadas a las ciencias acuícolas, para proponer bajo un principio científico la diversificar las especies en la acuicultura para disminuir la dependencia del cultivo de tilapia. Y proporcionar protocolos de reproducción alimentación apropiados en función de los resultados encontrados.

19. Referencias

Acevedo, J., Angulo, W., Ramírez, M., & Zapata, L.A. (2007). Reproducción del pez *Brotula clarkae* (Pisces: Ophidiidae) en el Pacífico colombiano. *Revista Biología Tropical, 55*(3-4), 957-967. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442007000300019

Alvizuris, S. (2018). Parásitos en peces de importancia comercial del Canal de Chiquimulilla, aldea Monterrico, Taxisco, Santa Rosa. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/24/24_0247.pdf

Alonso, F., Cánepa, M., Guimaraes, R., Pandolfi, M. (2011). Social and reproductive physiology and behavior of the Neotropical cichlid fish Cichlasoma dimerus under laboratory conditions. *Neotropical Ichthyology, 9*(3): 559-570. http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252011005000025

Álvarez-González, C. A., Ramírez-Martínez, C., Martínez-García, R., Ramírez, J., & Márquez-Couturier, G. F. (2013). *Cultivo de mojarras nativas: Tenguayaca (Petenia splendida) y castarrica (Cichlasoma urophthalmus)*. UNAL-UJAT-Fomix, CONACYT-gobierno del estado de Tabasco México. ISBN: 9786074337174

Agrocadena de la tilapia de Guatemala (2016) Análisis y Plan de Trabajo de la Agrocadena de la tilapia 2017-2020.

Ayoade, A.A., & Ikulala, A.O.O. (2007). Length weight relationship, condition factor and stomach contents of *Hemichromis bimaculatus, Sarotherodon melanotheron* and *Chromidotilapia guentheri* (Perciformes: Cichlidae) in Eleiyele Lake, Southwestern Nigeria. *Revista de Biología Tropical, 55*(3-4), 969-977. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442007000300020&lng=en&tlng=.Rosales, 1980

Balon, E. K. (1995). Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: From Roman gourmet to the swimming flows. *Aquaculture, 129*, 3-48. http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(94)00227-F

Belandria, J. C., & Morillo, N. J. (2013). Perfil de aminoácidos y contenido de pigmentos en las harinas de residuos de camarón. *Zootecnia Tropical, 31*(1), 24-34.

Blanda, E. (2008). *A study on the reproductive system of two different species of Agonidae and two species of Liparidae (Teleostei, Scorpaeniformes).* [Bachelor degree, University of Padova].

Blazaer, V. S. (2002). Histopathological assessment of gonadal tissue in wild fishes. *Fish Physiology and Biochemistry, 26,* 85–101. https://doi.org/10.1023/A:1023332216713

Bruno, D., Barbini, S., Díaz, J. M., & Martos, P. (2013). Fish abundance and distribution patterns related to environmental factors in a choked temperate coastal lagoon (Argentina). *Brazilian Journal of Oceanography, 61*(1), 43-53. https://doi.org/10.1590/S1679-87592013000100005Borgstrøm & Skaala, 1993

Carrillo-Ovalle, L., Guerra, Bringuez, S., Cifuentes, M., & Rodríguez, P. (2011). *Evaluación del potencial acuícola de Atractosteus tropicus (Pejelagarto) para la diversificación de la pisciultura nacional*. Proyecto FODECYT. https://fondo.senacyt.gob.gt/portal/index.php/catalogo/15-codigo/409-71-2007-agropecuaria

Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, 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 Especial,76*(1), 101-110. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382012000100009

Conkel, D., (1993). *Cichlids of North and Central America*. T.F.H. Publications.

Contreras-Sanchéz., W. M., Alvarez-González., C. A., Márquez-Couturier., G., Hernández-Vidal, U., & Hernández-Franyutti., A. (2006) *Incorporation of the native cichlid (Petenia splendida) into sustainable aquaculture: reproduction systems, nutrient requirements, and feeding strategies*. Aquaculture Collaborative Research Support Program Twenty-fourth Annual Administrative Report. http://crsps.net/resource/incorporation-of-the-native-cichlid-petenia-splendidainto-sustainable-aquaculture-reproduction-systems-nutrient-requirements-and-feeding-strategies/

Cortés., E. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54*, 726-738. https://doi.org/10.1139/f96-316

Elías, G., Castro, M., & García, J. (2007). *Evaluación del potencial reproductivo de la chumbimba Vieja maculicauda en cautiverio con fines de repoblamiento y producción comercial.* Fase

I de investigación. Proyecto DIGI. https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2007-026.pdf

Elias, J. M., Abarca, O. R., Figueroa, E., & Loera, J. (2011). Evaluación financiera de producción de pejelagarto (Atractosteus tropicus): caso cooperativa de producción pesquera acuícola, El Pejelagarto, S.C., de R.L. *Quinta Epoca, 29*, 704-718. http://hdl.handle.net/20.500.11799/38656

FAO. (2014). Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris. [En línea]: Disponible en http://www.fao.org/3/bc354s/bc354s.pdf

FAO. (2018). FishStat fishery statistical collections: aquaculture production (2017). [En línea]: Disponible en http://www.fao.org/fhishery/statitics/software/fishstat/

Faunce, C.H., Lorenz, J. J. (2000) Reproductive Biology of the Introduced Mayan cichlid, *Cichlasoma urophthalmus*, Within an Estuarine Mangrove Habitat of Southern Florida. *Environmental Biology of Fishes, 58,* 215–225. https://doi.org/10.1023/A:1007670526228

Fernández-Méndez, Ch., Gonzales, M., & Neyra, K. (2019). (Crecmiento y sobrevivencia en la alimentación de juveniles de Arahuana (*Osteoglossum bicirrhosum*). *Folia Amazonica, 28*(1), 123-129. https://doi.org/10.24841/fa.v28i1.479

Franco, L., Leiva, V., & García-Pérez, J. (2008). *Evaluación Biológica de la especie Agonostomus monticola para la evaluación de la cuenca del rio Jones ubicada en Zacapa Área de Medio Ambiente y Acuicultura*. Proyecto FODECYT.

Fujimura, K., & Okada, N. (2008). Bone development in the jaw of Nile tilapia Oreochromis niloticus (Pisces: Cichlidae). *Development, Growth & Differation, 50*(5), 339-355. https://doi.org/10.1111/j.1440-169X.2008.01032.x

Galicia, Z. I. A. (2018). *Aspectos reproductivos de la mojarra prieta Amphilophus trimaculatum (Gunther, 1867) (Perciformes: Cichlidae) en el sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas*. Tesis de Licenciatura, Universidad De Ciencias Y Artes De Chiapas.

García-Pérez, J. (2013). *Analysis of Competitiveness of Tilapia Industry: Case Guatemala vs. Honduras*. Tesis de Maestría en Acuicultura, National Taiwan Ocean University, Taiwan.

Hale, E.B. (1969). *Domestication and the evolution of behaviour.* In: The Behaviour of Domestic Animals, Hafez, E.S.E. (ed.). Bailliere, Tindall and Cassell, London.

Holden, M.J., & Raitt, D.F.S. (1975). *Métodos para Investigar los Recursos y su Aplicación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Hynes, H. B. N. (1950). The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus and Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *Journal of Animal Ecology, 19*, 36-58. https://doi.org/10.2307/1570

Kodric-Brown, A. (1998). Sexual Dichromatism and Temporary Color Changes in the Reproduction of Fishes. American Zoologist, 38(1), 70-81. https://doi.org/10.1093/icb/38.1.70

Kullander, S. O. (2003). *Cichlidae (Cichlids).* In: R.E. Reis, S.O. Kullander and C.J. Ferraris, Jr. (eds.) Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS.

Kumar, V. E., Ravikumar, G., & Jeyasanta, I. (2018). Occurrence of microplastics in fishes from two landing sites in Tuticorin, South east coast of India. *Marine Pollution Bulletin, 135,* 889-894. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.023

Langler KF. (1956). *Freshwater Fishery Biology*, Dubuque, lowa: Wm. C. Brown.

Le-Cren, C.D. (1951) The Length-Weight Relationship and Seasonal Cycle in Gonad Weight and Condition in Perch, *Perca fluviatilis. Journal of Animal Ecology, 20,* 201-219. http://dx.doi.org/10.2307/1540

Lezama E. & Gunther J. (1992) The routine metabolism of guapote, *Cichlasoma managuense* (Gunther, 1869), related to body weight and temperature. *Journal of Fish Biology 41*,373-380. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1992.tb02666.x

Meijide, F. J., & Guerrero, G. A. (2000). Embryonic and larval development of a substrate-brooding cichlid *Cichlasoma dimerus* (Heckel, 1840) under laboratory conditions. *Journal of Zoology, 252*(4), 481–493. doi:10.1111/j.1469-7998.2000.tb01231.x

Metian, M., Troell, M., Christensen, V., Steenbeek J., & Pouil, S. (2020). Mapping diversity of species in global aquaculture. *Reviews in Aquaculture, 12*(2), 1-11. https://doi.org/10.1111/raq.12374

Miller, R. R., Minckley, W. L, Norris, S. M. & University of Michigan. Museum of Zoology (2005). *Freshwater fishes of México.* University of Chicago Press.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *Manuales y Tesis SEA, 1*, 84.

Nelson, J.S., Crossman, E. J., Espinosa-Pérez, H., Findley, L. T., Gilbert, C. R., Lea, R. N., & Williams, J. D. (2004). Common and scientific names of fishes from the United States,

Canada, and Mexico. *American Fisheries Society, 29,* 386. hptt://doi.10.1643/0045-8511(2006)2006[559:CTCASN]2.0.CO;2

Nikolsky, G.V. 1963. *The ecology of fishes*. Academic Press, London.

Ortiz., V. (2011). *Análisis del crecimiento y madurez sexual de Cichlasoma trimaculatum (Gunther, 1867) de la subcuenca río Atoyac-Paso de la Reina de la Cuenca Río Atoyac, Oaxaca*. Tesis de maestria, Instituto Politecnico Nacional.

Pérez-Sánchez, E., & Páramo-Delgadillo, S. (2008). The culture of cichlids of southeastern Mexico. *Aquaculture Research, 39*,777-783. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01929.x

Pérez-Irungaray, G. E., Gándara., G. A., Rosito, J. C., Maas, R. E., Gálvez, J. J. (2016). Ecositemas de Guatemala, una aproximación baada en el sistema de clasificación de Holdridge. *Revista Eutopía, 1*(1), 25-68. http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/reu/article/view/1145http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/reu/article/view/1145

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Austria. https://www.R-project.org/.

Rinze, M., Franco, I., & Rivas, G. (2012). *Adaptabilidad de la especie de róbalos (Centropomus robalito) a condiciones controladas de cultivo*. Proyecto DIGI.

Rinze, M., Franco, I., García-Pérez, J., & Ochoa, A. (2010). *Evaluación del Potencial del Pargo Amarillo (Lutjanus argentiventris) para Cultivo en Condiciones Controladas.* Proyecto DIGI.

Rinze, V. M., Franco-Arenales, I., Rivas, G. A., Monroy, I. (2012). *Adaptabilidad de la especie de róbalos (Centropomus robalito) a condiciones controladas de cultivo*. Proyecto DIGI.

Rosales-Loesener, F. (1980). *Contribución al conocimiento de algunos aspectos biológicos de Cichlasoma trimaculatum mojarra roja y Cichlasoma macracanthum mojarra negra del canal de Chiquimulilla, Departamento de Santa Rosa, Guatemala*. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].

Santo, Tomas. (2002) *Producción de crías de Cichlasoma urophthalmus''Castarrica''con fines de repobalción, rescate y el fomento a la protección de la fauna acuática dentro de la reserva de la Biosfera Pantanos de Centla*. Informe Técnico, México. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/centla.pdf

Simposio sobre Acuicultura en América Latina. (1977). *Técnicas para la producción de semillas en cultivo de peces en América latina*. FAO.

Toledo-Solís, F. J., Márquez-Couturier, G., Uscanga-Martínez, A., Guerrero-Zárate, R., Perales-García, N., Martínez-García, R., Contreras-Sánchez, W. M., Camarillo-Coop, S., Álvarez-González, C. A. (2015). Partial characterization of digestive proteases of the three-spot cichlid *Cichlasoma trimaculatum* (Günter 1867). *Aquaculture Nutrition, 22*(6), 1230–1238. hptt://doi:10.1111/anu.12329

Torres-Rojas, Y. E. (2011). *Nicho trófico de pelágicos mayores capturados en la boca del Golfo de California.* Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz Baja California Sur, México.

Uscanga-Martínez, A., Velázquez-Velázquez, E., Gómez-Gómez, M. A., Perales-García, N., Rodríguez-Valencia, W., Toledo-Solís, F. J., López-Tapia, C. L., Álvarez-González, C. A., Aguilar-López, E. (2015) *Avances en el cultivo de la mojarra tahuina Cichlasoma trimaculatum Actinopterygii: Perciformes: Cichlidae) en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas.* In: Velázquez-Velázquez E, Romero-Berny EI, Rivera-Velázquez G (Eds.) Reserva de la Biósfera La Encrucijada, dos décadas de investigación para su conservación. Colección Jaguar, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México

Valladão, G. M. R., Gallani, S. U., & Pilarski, F. (2016). South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture, 10*(2), 351–369. hptt://doi: 10.1111/raq.12164

Violante-González, J. 1995. *Contribución al conocimiento de la biología de la mojarra nativa Cichlasoma trimaculatum (Günther, 1868), en la Laguna de Tres Palos Gro., México y determinación del desarrollo larvario y requerimientos proteicos en condiciones de laboratorio*. Tesis de maestría FACIMAR. Universidad de Colima, Colima.

Vital-Rodriguez, B. E. (2011). *Hábitos alimentarios del genero Chirostoma del lago de Pátzcuaro Michoacán México*. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

20. Apéndice

Apéndice I: Organizador y participante en la Jornada Acuícola (Online) “Diversificación de la acuicultura en Latinoamérica”

Apéndice II: Presentación (Online) en el aniversario 43 del Centro de Estudio del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala: Diversificación de la acuicultura en Guatemala: evaluación de peces nativos.

Apéndice III: Presentación en el 3er Coloquio Nacional de Nutrigenomica y Biotecnología Acuícola (CONYBA) 2020, Nayarit, México (Trabajo aceptado y presentado).

Apéndice IV: 10mo Simposium Internacional de Investigación Multidisciplinaria 2020, Tabasco, México (Trabajo aceptado, pero no presentado)

Tenosique, Tabasco, México; 18 de noviembre de 2020

CARTA DE ACEPTACIÓN

Estimados Autores:

Marvin Jeraldo Xajil Sabán, Carlos Humberto Mazariegos Ortíz, Josué Rodolfo García Pérez, Lucía Gabriela López Ruano

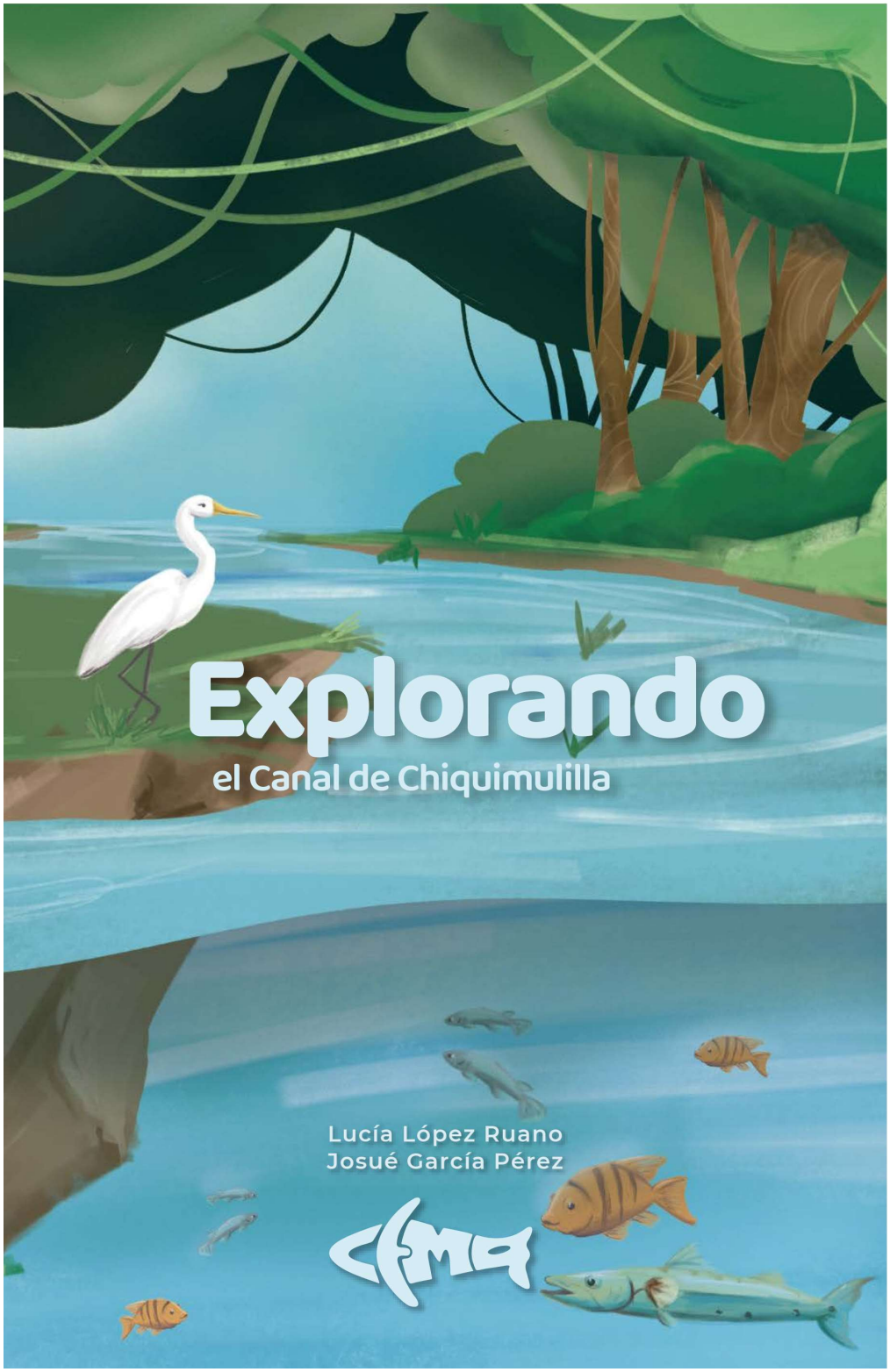
Por este medio, le informo que su trabajo: "Crecimiento de Amphilophus trimaculatus con alimentos balanceados comerciales basadas en diferentes niveles proteicos y lipídicos", ha sido **ACEPTADO** para su presentación en el 10º Simposium Internacional de Investigación Multidisciplinaria y el 11º Encuentro Nacional de Investigación Científica, mismo que tendrá efecto los días 26 y 27 de noviembre del año 2020 a través del aula virtual de Microsoft Teams.

Le recordamos que para tener derecho a su constancia como ponente deberá presentar su trabajo durante el evento.

Atentamente

Dr. Sergio Quiroz Gómez	**M.A. Neris Nahuath Mosqueda**
Presidente del Comité Organizador	Presidenta del Comité Cientifico

Apéndice V: Libro infantil Explorando el Canal de Chiquimulilla



Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	**Firma**
Josué Rodolfo García Pérez	
Lucía López Ruano	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	**Categoría**	**Registro de Personal**	**Pago**		**Firma**
			SI	**NO**	
Josué Rodolfo García Pérez	Coordinador	20070463	X		
Lucía López Ruano	Auxiliar		X		

Guatemala 5 de abril de 2021

PhD (c). Josué Rodolfo García Pérez, M.Sc.
Proyecto de Investigación DES1CU-2020

Ing. Agr. Saúl Guerra
Coordinador del Programa Universitaria Recursos Naturales y Ambiente

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas