



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

Ingeniería en Acuicultura

Evaluación del volumen y concentración
espermática en machos del morro colorado
(*Vieja fenestrata*).

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
EN ACUICULTURA

Presenta:

Julio Alberto Sánchez José

Director:

Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez

Loma Bonita, Oaxaca, febrero de 2023





Universidad del Papaloapan

FECHA:	27 de Enero del 2023
ÁREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/026/2023
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

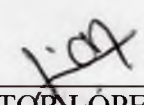
C. JULIO ALBERTO SÁNCHEZ JOSÉ
P R E S E N T E:

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada “**Evaluación del volumen y concentración espermática en machos del morro colorado (*Vieja fenestrata*)**” así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.
terra ubérrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú




MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vice-Réctor Académico.

**VICE-RECTORIA
ACADEMICA**

C.c.p. M.C. Raul Moreno de la Torre Jefe de Carrera de la Ing. en Acuicultura
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez. Director de Tesis.
C.c.p. Archivo.

OAXACA



Universidad del Papaloapan

Terra Uberrima, Mens Aperta



CLAVE: 20ESU3001N

Oficio No. JCIA/005/23

Loma Bonita, Oax., a 26 de enero de 2023

Asunto: Jurado de Examen profesional

M. E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
P R E S E N T E

Por medio del presente, informo a usted la conformación del Jurado del Examen Profesional del C. **JULIO ALBERTO SÁNCHEZ JOSÉ** (número de matrícula 17040066), egresado de la Carrera de **INGENIERÍA EN ACUICULTURA** de la Universidad del Papaloapan:

Dr. José Manuel Juárez Barrientos	Presidente del Jurado
Dr. Marco Antonio Anzuetto Sánchez	Secretario del Jurado
Dr. Víctor Manuel Meza Villalvazo	Vocal del Jurado
M. C. Raúl Moreno de la Torre	Primer suplente del Jurado
Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez	Segundo suplente del Jurado

Sin otro asunto en particular y agradeciendo su atención a la presente, le envío un cordial saludo.

Atentamente:

terra uberrima, mens aperta
Bou lo-tama, chi y ji



M. C. Raúl Moreno de la Torre
Jefe de la Carrera de Ingeniería en Acuicultura

Vo. Bo. M. C. Héctor López Arjona
Vice-Rector Académico

- Original. M. E. Yesenia Barrientos Arenal. - Jefa del Depto. de Servicios Escolares.
- C. c. p. M. C. Héctor López Arjona. - Vice-Rector Académico.
- C. c. p. Dr. José Manuel Juárez Barrientos. - Presidente del Jurado. - Para su conocimiento.
- C. c. p. Dr. Marco Antonio Anzuetto Sánchez. - Secretario del Jurado. - M/fin.
- C. c. p. Dr. Víctor Manuel Meza Villalvazo. - Vocal del Jurado. - M/fin.
- C. c. p. M. C. Raúl Moreno de la Torre. - Primer suplente del Jurado. - M/fin.
- C. c. p. Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez. - Segundo suplente del Jurado. - M/fin.
- C. c. p. C. Julio Alberto Sánchez José. - Sustentante. M/fin.
- C. c. p. Archivo.



Universidad del Papaloapan

Terra Urberrima, Mens Aperta

CLAVE: 20ESU3001N Ingeniería en Acuicultura

JCIA/F09/01/2023

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

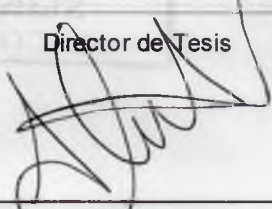
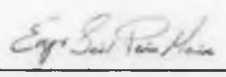
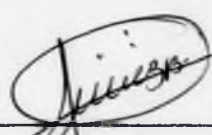
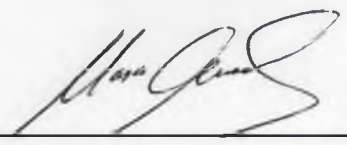
En la Ciudad de Loma Bonita, Oaxaca, el día 25 de enero de 2023 a las 10:00 horas, se reunieron en la sala de juntas del Instituto de Agroingeniería, los miembros de la Comisión revisora de tesis, designada por la jefatura de la carrera de Ingeniería en Acuicultura de la Universidad del Papaloapan, con la finalidad de examinar la tesis titulada "**Evaluación del volumen y concentración espermática en machos del morro colorado (*Vieja fenestrata*)**" presentada por el alumno **Julio Alberto Sánchez José**, con número de matrícula **17040066**, aspirante al grado de **Ingeniero en Acuicultura**.

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la comisión manifestaron QUE LA TESIS SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES, OTORGANDO SU APROBACIÓN PARA QUE EL ASPIRANTE PUEDA PROCEDER CON EL PROCESO DE TITULACIÓN.

Loma Bonita, Oaxaca, a 25 de enero de 2023.

ATTE.

LA COMISIÓN REVISORA

<p>Director de Tesis</p>  <hr/> <p>Dr. Juan Pablo Alcantar Vázquez Profesor-Investigador Universidad del Papaloapan</p>	<p>Revisor de Tesis</p>  <hr/> <p>Dr. Emyr Saúl Peña Marin Profesor-Investigador Instituto de Investigaciones Oceanológicas - UABC</p>
<p>Revisor de Tesis</p>  <hr/> <p>Dr. José Manuel Juárez Barrientos Profesor-Investigador Universidad del Papaloapan</p>	<p>Revisor de Tesis</p>  <hr/> <p>Dr. Marco Antonio Anzueto Sánchez Profesor-Investigador Universidad del Papaloapan</p>

c.c.p. M. C. Héctor López Arjona.- Vice-Rector Académico.- Para su conocimiento.
c.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal.- Jefa del Depto. de Servicios Escolares.- MFin.
c.c.p. Dr. Juan Pablo Alcantar Vázquez.- Director de tesis.
c.c.p. Dr. Marco Antonio Anzueto Sánchez.- Revisor de tesis.
c.c.p. Dr. José Manuel Juárez Barrientos.- Revisor de tesis.
c.c.p. Dr. Emyr Saúl Peña Marin.- Revisor de tesis.
c.c.p. Julio Alberto Sánchez José.- Tesista/fin.
c.c.p. Archivo.

DEDICATORIA

A Juanita, causa de todo buen rumbo que yo pueda tomar en la vida, y a mi padre que además de eso es un gran amigo.

A los otros amigos, los que se encuentran mientras uno se distrae viviendo.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, que se puso la camiseta con todas las probabilidades en mi contra, pero confió y no me abandonó en este camino; a su compañera, por ofrecer su ayuda incondicional.

Al Doc Juan Pablo, por tolerar todas las salidas en falso y todas las veces que pudo aventarme la pequeña motocicleta de su escritorio nada más para hacerme reflexionar.

Al Dr. Víctor Manuel Meza, por prestar su laboratorio y recursos para la realización de esta tesis y al M.C. Manuel Ochoa, por aclarar todas las dudas.

A los amigos y amigas, los que estuvieron presentes en el desarrollo de la carrera, la tesis y esta vida: Miryam, Berenice, Guillermo, Javier, Iraís, Ely, Teby, Pequeño, Rafita y los demás.

A los profesores que pusieron un grano de arena en mi formación: Dra. Ma. Teresa Kido, MC. Raúl, Dr. José Manuel, MC. Edwin Aquino y los demás.

INDICE

1. Introducción.....	1
2. Marco Teórico	5
2.1 Aspectos generales de <i>Vieja fenestrata</i>	5
2.2 Volumen y concentración	6
3. Antecedentes.....	8
4. Planteamiento del problema	11
5. Justificación	13
6. Objetivos.....	15
6.1 Objetivos generales	15
6.2 Objetivos particulares	15
7. Materiales y métodos.....	16
7.1 Organismos	16
7.2 Colecta de la muestra espermática.....	16
7.3 Análisis macroscópico y microscópico.....	17
7.3.1 Volumen.....	17
7.3.2 Concentración	17
7.4. Análisis estadístico	18
8. Resultados.....	19
9. Discusión	20
9.1 Macroscópico.....	20
9.1.1 Volumen.....	20
9.2 Microscópico	22
9.2.1 Concentración	22
10. Conclusiones.....	26
11. Literatura Citada.....	27

RESUMEN

El morro colorado (*Vieja fenestrata*) es una especie nativa del sur-sureste mexicano, con potencial acuícola comercial debido a su aceptación local por sus características tales como su color, tamaño, textura y sabor de la carne. Debido a que es una especie nueva en las prácticas acuícolas, existen pocos estudios relacionados con su biología, incluyendo las características espermáticas de sus machos reproductores, las cuales es necesario evaluar para poder estimar su potencial reproductivo bajo programas de manejo acuícola. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el volumen espermático, la concentración y el eyaculado total en el morro colorado utilizando el programa informático CASA. Se emplearon 30 machos de morro colorado a los cuales se les extrajo semen cada 10 semanas durante 40 semanas. De cada muestra espermática se evaluó la concentración espermática ($C \times 10^9$ células·mL⁻¹), el eyaculado total ($C \times 10^9$ células·mL⁻¹) y el volumen total (mL). Se observó un incremento significativo ($P < 0.05$) en la concentración espermática y eyaculado total a las semanas 30 y 40, en comparación con las semanas 10 y 20. En lo que respecta al volumen total, no se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las semanas analizadas. Los resultados obtenidos indican que los machos de morro colorado alcanzaron la madurez sexual al aclimatarse al cautiverio después de 30 a 40 semanas de manejo bajo condiciones acuícolas.

Palabras clave: morro colorado, *Vieja fenestrata*, volumen, concentración espermática, sistema CASA.

ABSTRACT

Morro colorado (*Vieja fenestrata*) is a native species of south-southeastern Mexico, with commercial aquaculture potential due to its local acceptance for its characteristics such as color, size, texture and flavor of the meat. Because it is a new species in aquaculture practices, there are few studies related to its biology, including the sperm characteristics of its reproductive males, which need to be evaluated in order to estimate its reproductive potential under aquaculture management programs. The aim of this study was to assess the sperm volume, concentration and total ejaculate in morro colorado using the CASA computer program. Thirty morro colorado males were used and semen was extracted every 10 weeks for 40 weeks. Sperm concentration ($C \times 10^9$ cells-mL⁻¹), total ejaculate ($C \times 10^9$ cells-mL⁻¹) and total volume (mL) were evaluated from each sperm sample. A significant increase ($P < 0.05$) was observed in sperm concentration and total ejaculate at weeks 30 and 40, compared to weeks 10 and 20. As for total volume, there were no significant differences ($P > 0.05$) between the weeks analyzed. The results obtained indicate that male morro colorado reached sexual maturity upon acclimatization to captivity after 30 to 40 weeks of management under aquaculture conditions.

Keywords: morro colorado, *Vieja fenestrata*, volume, spermatoc concentration, CASA system.

1. INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional de la Economía Social (2018), la acuicultura se define como el conjunto de actividades, técnicas y conocimientos de crianza de especies acuáticas vegetales y animales, las cuales se desarrollan en diversos cultivos ya sea de agua salada o dulce, bajo condiciones controladas. La producción acuícola es destinada, en su mayoría, a producir alimento que pueda colaborar en la meta “Hambre Cero” de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible (FAO, 2022).

En las últimas dos décadas el reconocimiento sobre los sectores y las actividades acuícolas ha crecido por su contribución esencial en la búsqueda de la seguridad alimentaria y la nutrición mundial (FAO, 2022). En el año 2018 la producción total de la acuicultura alcanzó 179 millones de toneladas, con un valor que asciende a los 401 000 millones de USD, de las cuales 82 millones de toneladas, con costo redituable de 250 000 millones de USD, fueron aportadas por la producción acuícola (FAO, 2020). Para el año 2020, la producción acuícola mundial alcanzó topes históricos productivos de 126.6 millones de toneladas que generaron una derrama económica de 285 500 millones de USD (FAO, 2022). Se estima que para el año 2050 la actividad acuícola en agua dulce aportará más del 50% del total de la producción acuícola a nivel mundial (FAO, 2020). El sector acuícola mantendrá números productivos y comerciales al alza, uno de los sectores de producción de alimentos de origen animal con mayor crecimiento ya que en las siguientes décadas la producción total de la pesca de captura y la acuicultura superará a la de carne de vacuno, porcino y aves de corral (Aranda, 2018).

En el caso de México, la producción dulceacuícola presenta un gran potencial, a pesar de haberse establecido recientemente en el país, por lo cual se encuentra aún en etapa de desarrollo (Avilés-Quevedo & Vázquez-Hurtado, 2006), entre los años 2000 a

2017 las prácticas acuícolas aumentaron con una tasa superior al promedio de crecimiento, que fue del 9 por ciento (FAO, 2019). Además, existe un total de 8,550 granjas acuícolas dentro del territorio nacional, de las cuales 4,605 concentran el 80% de la producción a nivel nacional. En el año 2016, la actividad acuícola generó una importante derrama económica que se remonta a 15 mil 940 mdp, lo que representa un incremento de 32% respecto de 2015, de acuerdo con la CONAPESCA (2016). Considerando que las proyecciones de crecimiento poblacional esperan que para el año 2030 se llegará a 141 millones de habitantes en el territorio nacional, con el escenario acuícola a favor mostrado anteriormente, las tendencias del crecimiento del sector podrán abastecer la demanda de pescado, pero insuficiente para lograr producir el equivalente al consumo per cápita similar al promedio mundial de 19.9 kilogramos consumidos por persona al año.

Según su importancia productiva y económica, los principales grupos de especies acuícolas cultivados en México son: mojarra, camarón, ostión, carpa y trucha (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017). Como parte de las estrategias para fundamentar el desarrollo de la acuicultura, primero se debe garantizar el abasto de las crías, semillas y postlarvas dentro del sector, lo cual se logra en gran medida (en especies como el morro colorado) incrementando la producción de centros de investigación que puedan dedicarse a mejorar la calidad genética de la progenie (Aranda, 2018) antes de escalar al cultivo comercial.

En México la acuicultura se ha basado en la implementación de cultivos exóticos, tal es el caso de la tilapia del Nilo, la cual es de origen africano y fue introducida en el año 1964 (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017). Lo anterior ha provocado que las especies nativas sean desplazadas por estas nuevas poblaciones de especies exóticas. Por lo anterior, es de vital importancia el cultivo de peces nativos, ya

no solo para la alimentación humana sino también para el repoblamiento de especies nativas en los cuerpos de agua naturales (McCrary *et al.*, 2001).

Existen problemas como la pérdida de biodiversidad, el desplazamiento de especies, la introducción de especies exóticas y el incremento demográfico, por tales motivos se han promovido esfuerzos para incrementar el rendimiento de los cultivos, la recuperación de sitios impactados, la reintroducción de especies y la búsqueda de alternativas para comprender, y evaluar la reproducción de las especies ícticas nativas (López-Hernández, *et al.*, 2018). Por ello, en los últimos años se han incrementado los esfuerzos dentro de varios grupos de investigación de algunas universidades (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad del Papaloapan, Instituto Tecnológico de Boca del Río), los cuales desde hace algunos años han abordado el estudio del cultivo de peces nativos tropicales (Flores-Nava, 2010). En México se han logrado diversos casos de éxito en el desarrollo de cultivos de especies nativas en agua dulce, tales como: pejelagarto (*Atractosteus tropicus*), mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*), tenguayaca (*Petenia splendida*), chara (*Menidia jordani*), pescado blanco (*Menidia estor*), entre otros (Dávila-Camacho *et al.*, 2019).

Una de las especies nativas con gran potencial acuícola es el morro colorado (*Vieja fenestrata*), el cual es un pez habitual de la región del sur-sureste mexicano, donde es muy apreciado por sus características, entre las que destacan el sabor de su carne, su color, tamaño y textura. En la región sur del país representa una alternativa local de gran potencial para las prácticas acuícolas, pues es relativamente abundante, se ha adaptado a las condiciones del trópico mexicano y usualmente habita aguas someras sin mucho movimiento, como lagunas mesotróficas, y canales superficiales (FishBase, 2019). Sin embargo, para poder desarrollar su cultivo es necesario, dentro del marco de la producción acuícola, abordar uno de los aspectos biológicos cuyo monitoreo y control

resulta crucial; la reproducción, que es uno de los factores limitantes del éxito del cultivo de cualquier especie acuícola, ya que permite la obtención de gametos y la optimización de su calidad (Zohar & Mylonas, 2001). Lograr el control de la función reproductiva de los peces en cautiverio es esencial para la sustentabilidad de la producción acuícola comercial. En este sentido es necesario el conocer y estudiar los factores que afectan la calidad de los gametos, como es el caso de los espermatozoides (Zohar & Mylonas, 2001; Rurangwa *et al.*, 2004; Herráez *et al.*, 2017). La calidad espermática es la capacidad y habilidad de un espermatozoide para fertilizar de manera exitosa un óvulo, generando el desarrollo de un embrión viable (Bobe & Labbé, 2010; Dumome *et al.*, 2017; López-Hernández *et al.*, 2018).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Aspectos generales de *Vieja fenestrata*

El género *Vieja* está compuesto por cíclidos que se encuentran en las vertientes del Atlántico-golfo de México y el Pacífico de América del Norte desde el sur-sureste de México hasta Panamá en Centroamérica (Kullander, 2003).

El morro colorado o mojarra vieja (*V. fenestrata*) es un pez perteneciente a la familia Cichlidae (FishBase, 2019). Habita ecosistemas acuáticos como arroyos, ríos, lagunas, lagos, estuarios salobres, incluso agua marina, agua clara a teñida con taninos o lodosa; corriente nula, lenta a moderada, ocasionalmente veloz; múltiples sustratos como lodo, arena, pizarra, roca, algas, hojarasca, troncos, roca madre; sin vegetación o rala, de algas, raíces de árboles y en profundidades de hasta 1.5 metros entre los estados de Oaxaca y Veracruz (Miller *et al.*, 2009; Fishbase, 2019).

En el sureste del país, particularmente en la región del Papaloapan, el morro colorado (*V. fenestrata*) es un pez nativo, muy apreciado culturalmente por su sabor y su atractivo estético debido a su color llamativo, tamaño y textura. Por lo anterior, esta especie representa una oportunidad de diversificación para el interés acuícola local, ya que las especies nativas han sido poco exploradas desde una perspectiva de producción. Su valor para el comercio local se debe a su presencia en la región, su relativa abundancia y aprovechamiento como recurso pesquero (Gaspar-Dillanés & Hernandez-Montaño, 2013).

Sobre el morro colorado se tienen escasos registros científicos acerca de sus aspectos biológicos y reproductivos, los cuales son base primordial para el desarrollo del paquete tecnológico para su cultivo acuícola. Es por ello necesario investigar aspectos reproductivos, lo cual incluye aspectos de la calidad espermática, como pueden

ser el volumen y la concentración de células espermáticas en el semen de machos del morro colorado (Bobe & Labbé, 2010; Fauvel *et al.*, 2010; Lopez-Hernández *et al.*, 2018).

2.2 Volumen y concentración espermática

En los peces las estrategias reproducción son variadas, en este caso la reproducción sexual se da por fecundación externa, es decir, que los espermias y los óvulos son liberados en el medio acuático simultáneamente, donde el agua activa los espermatozoides para que este posteriormente fertiliza a los óvulos (Dumorné *et al.*, 2017; Mylonas *et al.*, 2010; Zohar & Mylonas, 2001). En la fertilización externa se requiere de un gran número de gametos para incrementar la posibilidad de encuentro al azar entre óvulos y espermatozoides, esto a su vez incrementa la oportunidad de sobrevivencia de los embriones (Herráez *et al.* 2017; Rurangwa *et al.*, 2004; Mylonas *et al.*, 2017). Razón por la cual, la concentración de células espermáticas es uno de los parámetros que se analizan tradicionalmente, junto a la motilidad o la actividad y los porcentajes de células activas (Cabrita *et al.*, 2014; Rurangwa *et al.*, 2004).

El volumen espermático es el total de semen de la muestra recolectada en mililitros por cada macho reproductor (Gennotte *et al.*, 2012). La concentración está definida como el número de espermatozoides por mililitro ($\text{células}\cdot\text{mL}^{-1}$) de semen previo a dilución, sin intervenciones en su composición de ningún tipo (García, 2012; Gennotte *et al.*, 2012). Este parámetro es frecuentemente empleado en la caracterización de la calidad espermática (Arias-Rodríguez, 2001).

Para obtener un número total de espermatozoides por macho se emplea el método clásico estandarizado de conteo celular (esperma/mililitro) en una cámara

Neubauer. El resultado indica un promedio de células espermáticas producidas por individuo reproductor (Rurangwa *et al.*, 2004).

Murakami *et al.* (2014) mencionan que el número total de espermatozoides puede estar relacionado con diversos aspectos del ambiente naturales e inducidos como las estaciones reproductivas, disponibilidad de alimento y sus propiedades nutricionales, tratamientos hormonales, porcentajes de fecundación de la especie y calidad del agua. Estos autores recomiendan que este parámetro sea analizado por cada reproductor en lo individual, debido a que la concentración espermática puede variar entre individuos de la misma especie.

3. ANTECEDENTES

En la tabla 1 se presentan trabajos relacionados a la caracterización espermática en peces tropicales y subtropicales:

Tabla 1. Trabajos relacionados con la caracterización en peces de parámetros espermáticos.

Autor	Título	Aportaciones
Linhart <i>et al.</i> , 2000.	Evaluación de la calidad espermática en <i>Cyprinus carpio</i> post-congelación.	Elaboraron métodos de criopreservación para la carpa común. Analizaron el rendimiento de fertilización, de eclosión de los embriones, las malformaciones larvarias y el porcentaje y la velocidad de la motilidad en espermatozoides congelados/descongelados con respecto a espermatozoides frescos. Los resultados indicaron que la congelación no afecta la tasa de eclosión, ni las malformaciones larvarias. En el resto de las variables si se observó una influencia significativa de la crioconservación.
Viveiros & Godinho, 2009.	Crioconservación y análisis espermático es especies de agua dulce nativas de Brasil.	Evaluaron los parámetros de volumen espermático, motilidad, medios de congelación, métodos de congelación y calidad espermática post-congelación en especies nativas de Brasil. Además, discuten sobre la técnica de crioconservación como medio para garantizar la diversidad genética y conservar las especies nativa, así como el desarrollo de programas para el cuidado de los mismos.
Gennotte <i>et al.</i> , 2012.	Análisis de la calidad espermática en machos XX, XY e YY del cíclido <i>Oreochromis niloticus</i> .	Evaluaron la calidad espermática (motilidad, concentración, número total de espermatozoides e índice gonadosomático) en machos revertidos (XX) y super machos (YY) del cíclido <i>Oreochromis niloticus</i> , con respecto a machos normales (XY). Los resultados

		demostraron que el genotipo y los tratamientos de reversión sexual no alteran los niveles de calidad espermática en los reproductores machos de la tilapia del Nilo.
Cejko <i>et al.</i> , 2014.	Evaluación de la calidad del esperma al comienzo del período reproductivo en <i>Cyprinus carpio</i> .	Analizaron la calidad espermática durante un periodo de desove estimulado hormonalmente con Ovopel. Se evaluó mediante el sistema CASA los parámetros de porcentaje de espermatozoides móviles, espermatozoides progresivamente móviles, velocidad curvilínea, velocidad en línea recta, linealidad del movimiento, índice de oscilación, amplitud del desplazamiento lateral de la cabeza y frecuencia cruzada de latido. Los resultados indican que la estimulación hormonal con Ovopel no afecta de manera significativa los parámetros de calidad espermática de <i>Cyprinus carpio</i> .
Salirrosas <i>et al.</i> , 2017.	Evaluación de la calidad espermática en súper machos YY de la tilapia roja <i>Oreochromis niloticus</i> .	Se evaluó la influencia de los genotipos sexuales en la calidad espermática, comparando la calidad espermática de una población introducida de tilapia roja macho con genético YY y XY. Los resultados mostraron una mejor movilidad espermática, motilidad, viabilidad, confluencia y menos anomalías en los machos con doble cromosoma Y (machos YY), sin embargo, el peso corporal de los individuos fue significativamente mejor en los machos XY.
Fernández-Santos, 2019.	Evaluación de la calidad espermática en machos YY de <i>Oreochromis niloticus</i> .	Se evaluaron las características espermáticas en machos YY de <i>Oreochromis niloticus</i> con respecto a machos normales XY de la misma especie. Se analizaron parámetros tales como volumen, concentración y motilidad mediante el sistema CASA. Los resultados que se obtuvieron indican que las características seminales de los

machos reproductores YY no se ven afectados negativamente por el genotipo sexual, incluso presentan valores significativamente más altos de volumen y concentración espermática.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La acuicultura se enfrenta al reto de incrementar su volumen de producción año con año, todo esto para abastecer la demanda de recursos alimentarios que requerirá una población que aumenta sus números demográficos (FAO, 2018). A su vez, este sector encuentra topes productivos como la limitación de la semilla debido a los problemas reproductivos de las especies dulceacuícolas (Aranda, 2018). Este problema biológico busca ser solucionado desde la investigación de diversos parámetros de la calidad espermática, la cual es una herramienta básica que nos ayuda a obtener líneas genéticas viables para la producción acuícola. Ahora bien, hablando de especies que comienzan a domesticarse, en estos casos se requiere de esperma de alta calidad (Fauvel *et al.*, 2010) ya que la calidad de la semilla define frecuentemente los beneficios del cultivo de una especie (Kowalski & Cejko, 2019).

En la actualidad se cuenta con herramientas de software sofisticadas que brindan métodos más efectivos para analizar la calidad espermática en peces, tal es el caso del sistema CASA (Computer-assisted sperm analysis), dicho programa computacional puede rastrear una gran cantidad de células espermáticas simultáneamente y permiten mediciones de parámetros como concentración, morfología y motilidad en términos de proporción de células móviles, velocidad de los espermatozoides y trayectorias (Rurangwa *et al.*, 2004; Fauvel *et al.*, 2010; Gennotte *et al.*, 2012). Esta herramienta ha podido demostrar su eficacia en la examinación de las variables relacionadas con la calidad de los espermatozoides en peces como la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Fernández-Santos, 2019), así como en otras especies de interés acuícola.

Aunque el morro colorado es un cíclido como la tilapia del Nilo, se desconocen los aspectos básicos de la calidad de sus gametos, pues hasta ahora, no existen estudios

relacionados con la calidad espermática de esta especie. El escaso conocimiento que se tiene hasta ahora acerca de su biología y más específicamente de la calidad de sus gametos, limita su potencial a futuro como una especie acuícola, al no permitir su mejoramiento genético. Esto conlleva a que el morro colorado sea explotado directamente del medio natural, es decir que el consumo de esta recaiga exclusivamente sobre la pesca, generando una disminución de las poblaciones silvestres y poniendo a la especie en potencial riesgo. Agregando también que no hay regulaciones de ningún tipo, se busca provocar un contrapeso, ya que estos trabajos representan una puerta hacia la búsqueda de bancos genéticos que puedan ser aprovechados por el sector acuícola. Hasta el momento esto resulta difícil debido a que la investigación al respecto es limitada. Se tiene poco conocimiento hasta ahora acerca de su biología, la cual, es información necesaria para establecer medidas biotecnológicas y emprender así su cultivo.

Los parámetros de volumen y concentración espermática son los primeros que deben cuantificarse a nivel productivo, ya que, el primero es medible a nivel macroscópico con ayuda de un tubo capilar graduado y el segundo es medido tradicionalmente con el método de conteo por dilución en hematocitómetro, el cual requiere de equipos relativamente asequibles, como lo son un microscopio y una cámara de Neubauer,

5. JUSTIFICACIÓN

El camino de la acuicultura conlleva esfuerzos desde las etapas de investigación científica hasta la comercialización por parte de los productores, es por ello que desarrollar nuevas tecnologías puede influir en las mejoras de rentabilidad. Para esto se necesita una base reproductiva para la obtención de gametos de buena calidad, ya que es un factor que define el porcentaje de éxito en el cultivo y por ende la rentabilidad de la producción.

El morro colorado es señalado como una especie de potencial acuícola, que en los últimos años ha visto su conservación amenazada por especies invasoras y sobrepesca, lo cual ha provocado que esta especie se encarezca en su comercialización. Es una especie atractiva visualmente por sus colores, es nativa de la región del Papaloapan por lo que está adaptada a la temperatura local y al fotoperiodo, además, muestra tranquilidad y nado activo al manejarse en los estanques reducidos usados en el sector. Todas estas características resultan favorables para el sector acuícola, pudiendo explotar a esta especie y mejorar su manejo.

Ahora bien, desde una perspectiva ecológica, la producción acuícola del morro colorado permitiría coadyuvar en la repoblación de los cuerpos de agua locales mediante la reproducción controlada de la especie, además de satisfacer la demanda que existe actualmente por esta especie.

Por todo lo anterior, es necesario generar conocimiento básico sobre la calidad espermática del morro colorado con el fin de reproducir esta especie bajo entornos controlados, llegando así a la fertilización de los ovocitos y desarrollando nuevas biotecnologías relacionadas con la calidad de los gametos masculinos.

Los parámetros de volumen y concentración espermática son los primeros en cuantificarse a nivel productivo, ya que nos permitirán definir a grandes rasgos el potencial reproductivo de los machos del morro colorado. En el presente trabajo se utilizará del sistema CASA para lograr lo anterior. Este sistema permite la medición rápida y precisa de diversos parámetros de la calidad espermática, incluidos el volumen y concentración, además de que presenta la ventaja de eliminar el factor de error humano en el conteo.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

- Evaluar el volumen y concentración espermática en machos reproductores del morro colorado (*Vieja fenestrata*) mantenidos en cautiverio.

6.2 Objetivos Particulares

- Estimar el volumen total de semen obtenido en machos reproductores del morro colorado (*Vieja fenestrata*) mantenidos en cautiverio.
- Evaluar el eyaculado total obtenido en machos reproductores del morro colorado (*Vieja fenestrata*) mantenidos en cautiverio.
- Determinar la concentración de células espermáticas en machos reproductores del morro colorado (*Vieja fenestrata*) mantenidos en cautiverio.

7. MATERIALES Y MÉTODOS.

7.1 Organismos

Se seleccionaron 30 machos reproductores en el rango de 350-500 g de peso y entre 12-15 meses de edad. Estos ejemplares seleccionados fueron identificados con base en la diferenciación de la papila genital, técnica establecida para especies de la familia Cichlidae (González & Quevedo, 2001).

El experimento se llevó a cabo en la Universidad del Papaloapan, campus Loma Bonita, dentro de las instalaciones de la Unidad Acuícola Experimental. Los organismos se alimentaron dos veces al día con alimento comercial con 32% de proteína (Purina Agribands de energía digestible 3.00 Kcal/g).

7.2 Colecta de la muestra espermática

Se empleó el método descrito por Gennotte *et al.* (2012), de acuerdo con el cual los reproductores fueron anestesiados por inmersión en agua con 2-fenoxietanol (0.4 mL de 2-fenoxietanol/L de agua), se les colocó un paño húmedo en los ojos para así disminuir los niveles de estrés. Se limpió el área de la papila genital con agua destilada y se secó cuidadosamente con papel absorbente, asegurándonos de no dejar residuos de ningún tipo. Posteriormente se colectó el esperma mediante un suave masaje abdominal en dirección antero-posterior y se colocó directamente en microtubos Eppendorf (Abascal *et al.*, 2007). El proceso completo consistió en repetir estos pasos por cada uno de los reproductores, todo esto con el fin de que se pudiera obtener la mayor cantidad de muestra de semen.

7.3 Análisis macroscópico y microscópico.

7.3.1 Volumen

El volumen espermático consistió en la medición directa de la cantidad de eyaculado recolectado en los microtubos Eppendorf inmediatamente después de toma la muestra. Dichos tubos fueron graduados utilizando una regla numérica para representar de manera precisa los valores volumétricos obtenidos. Esta medida se adoptó debido a que los tubos Eppendorf vienen graduados en intervalos de 0.1 - 0.5 - 1.0 mL. Debido a la falta de antecedentes sobre esta especie, se tomaron como normal los valores que más se repitieron en las muestras colectadas y se compararon con el de otros cíclidos cultivados de manera comercial (tilapia del Nilo).

7.3.2 Eyaculado total y concentración espermática

Las muestras analizadas empleando el sistema CASA fueron preparadas de la siguiente manera; se diluyó la muestra 1:200 de eyaculado (5 μ L) /agua destilada (995 μ L), de esta dilución se toman 8 μ L, se colocan en una cámara de Neubauer y se dejó en reposo de 5 a 10 minutos. Posteriormente, se colocó en la platina del microscopio y se observó bajo el objetivo 20x. En total se capturaron cuatro campos con un número indeterminado de células espermáticas y se procedió a correr el conteo utilizando el sistema CASA, ajustándolo previamente al reconocimiento de células espermáticas de peces. El sistema CASA cuenta de una interfaz sencilla e intuitiva, característica que permite capturar de manera inmediata los datos de la muestra, los cuales se guardaron en formato Excel (.xlsx) e imágenes de los campos de captura (Figura 1). Para calcular el eyaculado total en cada muestreo, se multiplicó la concentración espermática obtenida por el volumen total colectado.

Las mediciones para volumen, eyaculado total y concentración espermática se tomaron cada 10 semanas hasta completar 40 semanas. Lo anterior se estableció considerando que los machos por lo general se recuperan en periodos de 4 a 6 semanas (Martínez *et al.*, 2019), lo cual se considera tiempo suficiente para su recuperación.

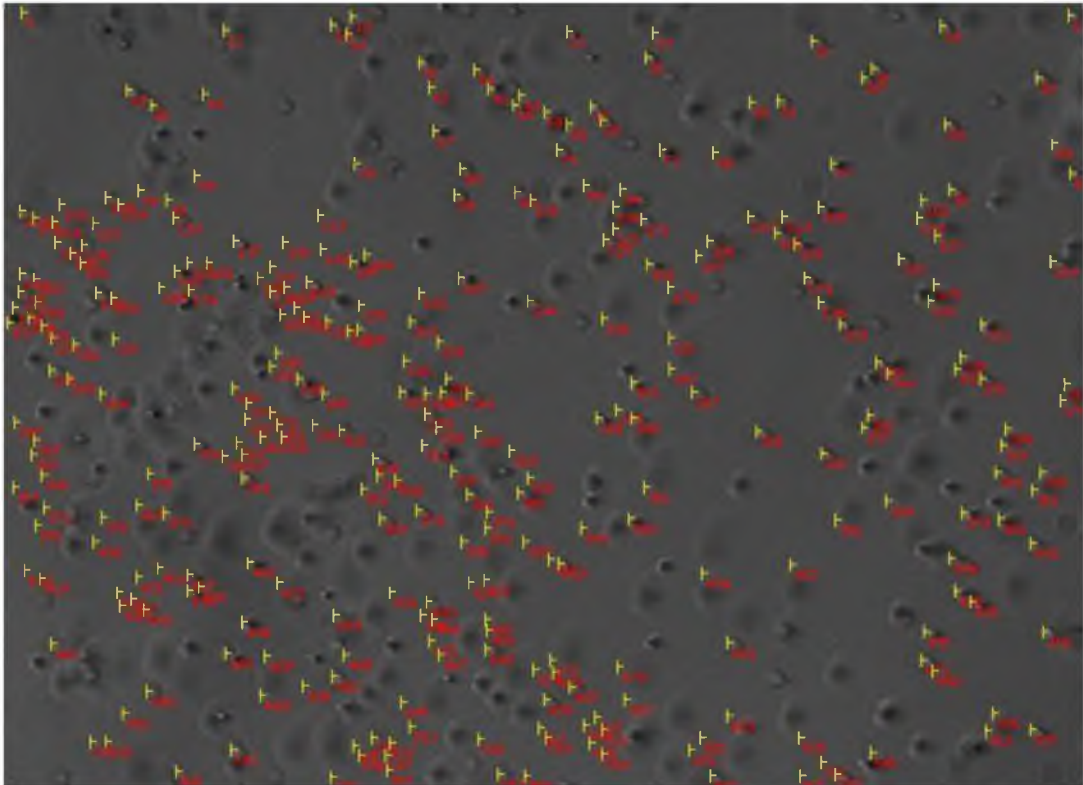


Figura 1. Ejemplo de fotografía tomada del campo capturado por el programa CASA

7.4 Análisis Estadístico

Los datos fueron ordenados y sometidos a pruebas de homogeneidad y homocedasticidad utilizando el programa estadístico MINITAB 2019. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con intervalo de confianza del 95% para comparar las medias repetidas ($P > 0.05$).

8. RESULTADOS

Los resultados de concentración espermática, eyaculado total y volumen total obtenidos en machos de morro colorado (*V. fenestrata*) se encuentran contenidos en la Tabla 2. El volumen total obtenido a lo largo del experimento no registró diferencias significativas ($P > 0.05$) en las semanas muestreadas, aunque fue posible observar una tendencia hacia un mayor volumen total a partir de la semana 20, la cual se mantuvo hasta la semana 40.

El eyaculado total al igual que la concentración de células espermáticas registró los valores significativamente más altos ($P < 0.05$) a las semanas 30 y 40 en comparación con las semanas 10 y 20. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) para el eyaculado total o la concentración espermática entre los muestreos realizados a las semanas 10 y 20, así como entre las semanas 30 y 40.

Tabla 2. Concentración espermática ($C \times 10^9$ células·mL⁻¹), eyaculado total ($C \times 10^9$ células·mL⁻¹) y volumen total (mL) obtenidos en machos de morro colorado (*Vieja fenestrata*) a lo largo de 40 semanas. Promedio \pm Desv. Std.

Tratamiento	Semana 10	Semana 20	Semana 30	Semana 40
Volumen total	0.19 \pm 0.08 ^a	0.29 \pm 0.10 ^a	0.25 \pm 0.09 ^a	0.24 \pm 0.05 ^a
Eyaculado total	0.064 \pm 0.007 ^b	0.145 \pm 0.070 ^b	0.545 \pm 0.250 ^a	0.561 \pm 0.140 ^a
Concentración	0.34 \pm 0.04 ^b	0.50 \pm 0.25 ^b	2.18 \pm 1.02 ^a	2.34 \pm 0.61 ^a

Los superíndices con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

9. DISCUSIÓN

Hasta este momento no existen antecedentes sobre la calidad espermática del morro colorado. Esta especie como alternativa en la práctica acuícola local está siendo considerada como una alternativa real, sin embargo, aún es muy limitada la información que se tiene de ella. De tal manera, este trabajo abordó la aclimatación de esta especie a las condiciones de los estanques, a las dietas comerciales y al manejo para la colecta espermática. Este último aspecto es importante ya que puede tomar tiempo para que un colector de muestra espermática pueda obtener muestras no contaminadas (sin contacto con agua, orina, heces o cualquier sustancia que pueda afectar la activación de las células) (Beirão *et al.*, 2019). Todo lo anteriormente mencionado se llevó a cabo a lo largo de 40 semanas tratando de reducir el estrés para nuestros reproductores, ya que esto incidiría en la viabilidad de la calidad espermática. Finalmente se logró observar la evolución de la madurez sexual de los machos del morro colorado.

9.1 Macroscópico

9.1.1 Volumen

El volumen espermático no presentó diferencias significativas en cualquiera de las semanas muestreadas en este trabajo, a pesar de que las muestras presentaron inmadurez hasta la semana 20. En el morro colorado, Ramírez-Ochoa (2022) observó que en eyaculados inducidos con gonadotropina el volumen espermático aumenta hasta dos veces sobre los eyaculados naturales para la misma especie. Sin embargo, es importante aclarar que en dichas muestras el volumen total consistió en mayor medida de líquido seminal y no de células espermáticas. En nuestro trabajo la media de volumen del morro colorado resultó ser mayor que lo reportado por Salirrosas-Fernández (2015) para el caso de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Ambas especies pertenecen a la misma familia

(Cichlidae) al ser géneros cercanos, por lo cual se puede considerar que el volumen seminal obtenido a las semanas 30 y 40 en el morro colorado se encuentra dentro intervalos normales para los peces pertenecientes a representantes de la familia Cichlidae. Es importante aclarar que las mediciones reportadas fueron hechas en etapas maduras de su ciclo en ambos casos.

En comparación con otras especies de interés acuícola (Tabla 3), el volumen seminal observado en el morro colorado aún se mantiene por debajo de la media, tal es el caso reportado por Cejko *et al.* (2014) que evaluaron la calidad espermática de la carpa común (*Cyprinus carpio*), obteniendo valores que duplican a los observados en este trabajo. Por otro lado, Castro & Patil (2019), evaluaron la calidad espermática en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), reportando un volumen de eyaculado superior a los 11 mL. La diferencia pronunciada entre *Salmo salar* y morro colorado probablemente es causada por que el primero tiene por objetivo dispersar el contenido espermático en toda la columna de agua buscando coincidir con los desoves de las hembras. Para garantizar la fertilización del mayor número de huevos se necesita de un mayor volumen de eyaculado. Mientras que las diferencias con *C. carpio* y *Brycon amazonicus* se podrían deber a que el morro colorado apenas empieza a ser domesticado, con lo cual, se ha comprobado que la adaptación de las especies a las condiciones de hacinamiento de los estanques suele ser sumamente estresantes para los organismos, esto a su vez puede afectar el sistema endócrino y con ello la producción de hormonas que ayudan en la generación y maduración de los gametos (Barandica & Tort, 2008). De igual forma, ha sido reportado que el tamaño de los organismos tiene una relación directa con la cantidad del volumen seminal producido, lo cual es otro factor que puede influir en la producción de semen (Guerrero-Quiroz *et al.*, 2008).

Por todo lo anterior, la domesticación del morro colorado, aunado a la selección de líneas genéticas mejoradas, podría coadyuvar a incrementar los volúmenes totales en los eyaculados de organismos bajo condiciones de cautiverio, pues se ha reportado que factores tales como la temperatura, nutrición, buen manejo y domesticación influyen de manera significativa en la producción de células sexuales, así como en el éxito de la reproducción (Fauvel *et al.*, 2010). Por lo cual, el manejo de los animales, las condiciones de los estanques y los factores de estrés son los principales factores que delimitan el correcto desarrollo de las células espermáticas.

Tabla 3. Valor medio del volumen espermático en muestras naturales de *Vieja fenestrata* con respecto a otras especies acuícolas de importancia comercial.

Especie	Volumen (mL)	Referencia
<i>Vieja fenestrata</i>	0.25 ± 0.09	Este estudio
<i>Oreochromis niloticus</i>	0.22 ± 0.17	Salirrosas Fernández, 2015
<i>Cyprinus carpio</i>	0.51 ± 0.21	Cejko <i>et al.</i> , 2014
<i>Salmo salar</i>	11.13 ± 5.46	de Castro & Patil, 2019
<i>Brycon amazonicus</i>	1.8 ± 1.2	Cruz-Casallas <i>et al.</i> , 2007
<i>Piaractus brachypomus</i>	7.44 ± 2.18	Suarez-Martínez <i>et al.</i> , 2019

9.2 Microscópico

9.2.1 Concentración

La concentración espermática presentó un incremento conforme se avanzó en las semanas evaluadas para los muestreos, probablemente derivado de la aclimatación de los reproductores a las condiciones de cautiverio pues se observaron diferencias significativas entre la semana 10 y la semana 40 en cautiverio, presentando una mayor

concentración en el último muestreo. Es importante mencionar que este trabajo es uno de los primeros reportes referente a la calidad de los gametos en el morro colorado, por lo cual, el incremento significativo en el número de células espermáticas por mililitro observado en el transcurso de las semanas evaluadas puede considerarse como la maduración del número de espermatozoides por eyaculado para la especie.

La concentración espermática reportada en este trabajo resultó similar a la reportada por Salirrosas-Fernández (2015) y superior a lo observado por Alcántar-Vázquez *et al.* (2022) quienes evaluaron la calidad espermática de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.) y la tilapia del Nilo (*O. niloticus*), respectivamente. Cabe resaltar que esta mayor concentración espermática (1.3 veces mayor en morro colorado sobre *O. niloticus*) se puede deber a que la segunda es una especie ampliamente domesticada y varios autores establecen que la concentración espermática disminuye con el tiempo de domesticación de la especie, ya que, debido a la nula competencia reproductiva del entorno natural se vuelve innecesaria la generación de un gran número de gametos (Smitherman *et al.*, 1988; Osure & Phelps, 2006).

Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que el intervalo de tiempo entre las colectas no afectó a sus consecuentes muestreos, es decir, que en condiciones experimentales no hay influencia negativa en la calidad espermática con los tiempos que se manejan en el presente trabajo. Al respecto, Suarez-Martínez *et al.* (2019) reportaron en la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), que en un intervalo de cuatro semanas se puede obtener semen de calidad similar empleando un mismo reproductor sin variaciones significativas en los parámetros espermáticos, en este trabajo se emplearon tiempos de 10 semanas entre muestreo, lo que se considera un tiempo de recuperación suficiente, en especial en machos reproductores no domesticados como los del morro colorado.

Especies cultivadas en el sector acuícola como la carpa común (*C. carpio*) y la trucha arcoíris (*O. mykiss*), muestran concentraciones de espermatozoides superiores a lo observado en morro colorado (Tabla 4). Kowalski & Cejko (2019), han establecido que el número de células espermáticas por desove puede alterarse por las condiciones de su medio. Debido a esto se produce mayor cantidad de espermatozoides en las especies de peces que habitan en aguas de corriente rápida, esta particularidad se hace con el fin estratégico de fecundar la mayor cantidad de huevos posibles (Lahnsteiner *et al.*, 1996). Por el contrario, para las especies que habitan en aguas someras como morro colorado, ya que acostumbra a fertilizar los desoves a la altura del sustrato, no se necesita de un elevado número de espermatozoides para lograr la mayor cantidad de huevos, idealmente (FishBase, 2019). Debido a que, para el morro colorado la fertilización ocurre en aguas tranquilas, resulta conveniente a nivel productivo para el desarrollo de una técnica *in vitro* ya que solo se emplearía de una extracción manual del espermatozoides y depositarlo sobre el desove, eliminando la necesidad de un flujo constante que emplean las especies de aguas de corriente rápida (Piamsomboon *et al.*, 2019). En la fertilización artificial de peces como el salmón o la trucha, se requiere de un flujo constante de agua que ayude a los gametos a lograr una fertilización exitosa (Munkittrick & Moccia, 1984; Lahnsteiner *et al.*, 1996; Hugunin *et al.*, 2008). Nuevamente, es importante mencionar que no hay investigaciones previas de la calidad espermática en el morro colorado, por lo que se puede inferir que lo observado hasta el momento, puede ser resultado de los factores mencionados anteriormente, de la evolución en su madurez sexual durante el periodo experimental (40 semanas), o bien, pueden ser las características propias de la especie.

En el presente trabajo existieron diferencias en el número de células espermáticas por mL obtenidas a lo largo del periodo experimental, es decir, hubo un

aumento significativo en la presencia de estas conforme se avanzó en las semanas muestreadas hasta la semana 40, tiempo suficiente para que se pueda reportar que los datos obtenidos se consideren como muestras completamente maduras y con los mayores números en el conteo de espermatozoides por eyaculado para la especie.

Tabla 4. Valor medio de la concentración espermática en muestras naturales consideradas maduras de *V. fenestrata* con respecto a la media de otras especies acuícolas de importancia comercial.

Especie	Concentración espermática (x10⁹ células·mL⁻¹)	Referencia
<i>Vieja fenestrata</i>	2.26 ± 0.82	Este estudio
<i>Oreochromis niloticus</i>	0.75 ± 0.54	Salirrosas Fernández, 2015
<i>Cyprinus carpio</i>	3.10 ± 1.39	Kovacik <i>et al.</i> , 2018
<i>Salmo Salar</i>	15.99 ± 3.36	Dziewulska <i>et al.</i> , 2011

10. CONCLUSIONES

1. El volumen y la concentración espermática del morro colorado obtenidos al final del periodo experimental permiten la viabilidad de su cultivo a corto plazo en materia de volumen espermático y cantidad de células espermáticas.
2. Los valores de concentración espermática obtenidos al final del experimento son evidencia de que los tiempos adecuados para un reproductor de esta especie, debido a la falta de domesticación, son alrededor de 30 a 40 semanas en cautiverio.
3. La concentración espermática se incrementó significativamente con el paso de las semanas muestreadas, lo cual es indicativo del proceso de aclimatación al confinamiento de los machos reproductores del morro colorado.

11. REFERENCIAS.

- Alcántar-Vázquez, J. P., Fernández-Santos, J., & Meza-Villalvazo, V. M. 2022. Sperm kinetics and motility subpopulation in XY and YY Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) males. *Aquaculture Research*, 53(3), 932-939
- Aranda, A. 2013. Acuicultura en México: Tercer Foro Económico de Pesca y Acuicultura. Septiembre 20, 2021, de SAGARPA-CONAPESCA Sitio web: https://foroeconomico.conapesca.gob.mx/history/historial/2013/ponencias/01_Conf_Magistral_1_Alfredo_Aranda.pdf
- Arias-Rodríguez, L. 2001. Inactivación genética de esperma e inducción de ginogénesis y de triploidía en el botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842). (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Mazatlán, Sinaloa, México.
- Atencio, García, V., Bello Sierra, B., Bello Sierra, L., & Espinosa, J. 2012. Manejo de reproductores y reproducción inducida de peces nativos. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 6(2), 1-12.
- Avilés-Quevedo, S., & Vázquez-Hurtado, M. 2006. Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México. *EN MÉXICO*, 69.
- Cabrita, E., Martínez-Páramo, S., Gavaia, P. J., Riesco, M. F., Valcarce, D. G., Sarasquete, C., Herráez, M. P. & Robles, V. 2014. Factors enhancing fish sperm quality and emerging tools for sperm analysis. *Aquaculture*. 432, 389-401.
- Cardona-Maya, W., Berdugo, J., & Cadavid, A. 2008. Comparación de la concentración espermática usando la cámara de Makler y la cámara de Neubauer. *Actas Urológicas españolas*, 32(4), 443-445.

- Cejko, B. I., Krejszeff, S., Judycka, S., Sarosiek, B., Dietrich, M., Kucharczyk, D., & Kowalski, R. K. 2014. Sperm quality and selected biochemical markers of seminal plasma at the beginning of the reproductive period of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture International*, 22(1), 111-122.
- Cruz-Casallas, P. E., Medina-Robles, V. M., & Velasco-Santamaría, Y. M. 2007. Seasonal variation of sperm quality and the relationship between spermatocrit and sperm concentration in yamú *Brycon amazonicus*. *North American Journal of Aquaculture*, 69(2), 159-165.
- CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2016. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2016. Mazatlán, Sinaloa, México: Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación.
- Dávila-Camacho, C. A., Galaviz-Villa, I., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. D. R., Quiroga-Brahms, C., & Montoya-Mendoza, J. 2019. Cultivation of native fish in Mexico: cases of success. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 816-829.
- de Castro, P. L., & Patil, J. G. 2019. Comparative gonad histology and semen quality of normal (XY) and neo-males (XX) of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Research*, 50(11), 3171-3180.
- Dumorné, K., Figueroa, E., Cosson, J., Lee-Estévez, M., Ulloa-Rodríguez, P., Valdebenito, I. & Farías, J. C. 2017. Protein phosphorylation and ions effects on salmonid sperm motility activation. *Reviews in Aquaculture*, 10, 1-11.
- Dziewulska, K., Rzemieniecki, A., & Domagała, J. 2011. Sperm motility characteristics of wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta m. trutta* L.) as a basis for milt selection. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(4), 1047-1051.

- FAO. 1974. *La acuicultura en América Latina: Actas del simposio sobre acuicultura en América Latina vol. 2 - Documentos de reseña*. Montevideo, Uruguay: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. 2019. *Aquaculture growth potential in Mexico*. December 26, 2021, de Food and Agriculture Organization of the United Nations Sitio web: <https://www.fao.org/3/ca7136en/ca7136en.pdf>
- FAO. 2020. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- FAO. 2022. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Fauvel, C., Suquet, M., & Cosson, J. 2010. Evaluation of fish sperm quality. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(5), 636-643.
- Fernández-Santos, J. 2019. *Evaluación de la calidad espermática en machos YY de tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus)*. (Tesis de Maestría). Universidad del Papaloapan.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. 2017. Producción de tilapia a través de la Acuicultura. Septiembre 20, 2021, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/produccion-de-tilapia-a-traves-de-la-acuicultura?idiom=es#:~:text=La%20tilapia%20o%20mojarra%20es,en%20el%20pa%C3%ADs%20desde%201964>.

FishBase. 2019. *Vieja fenestrata* (Günther, 1860). Fish Base: The SPECIES Table.

Consultado en:

<https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?id=26784&lang=spanish>, septiembre 20 de 2021.

Flores-Nava, A., & Brown, A. 2010. Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. FAO. Serie Acuicultura en Latinoamérica, ISBN 978-92-5-306658-2

Gennotte, V., François, E., Rougeot, C., Ponthier, J., Deleuze, S., & Mélard, C. 2012. Sperm quality analysis in XX, XY and YY males of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Theriogenology*, 78(1), 210-217.

González, C, E., & Quevedo, E, T. 2001. Cultivo de las tilapias roja (*Oreochromis* spp.) y plateada (*Oreochromis* spp.). AGROSAVIA. AGRIS, <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19713>.

Herráez, M. P., Ausió, J., Devaux, A., González-Rojo, S., Fernández-Díez, C., Bony, S., Saperas, N. & Robles, V. 2017. Paternal contribution to development: Sperm genetic damage and repair in fish. *Aquaculture*, 472, 45-59.

Huginin, H. A., Parsons, J. E., & Nagler, J. J. 2008. The influence of coelomic fluid on in vitro fertilization success in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 281(1-4), 155-157.

Instituto Nacional de la Economía Social, INES. 2018. Acuicultura, historia y actualidad en México. Septiembre 24, 2021, de Secretaría De Gobernación Sitio web: <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/acuicultura-historia-y-actualidad-en-mexico?idiom=es>

- Kovacik, A., Tirpak, F., Tomka, M., Miskeje, M., Tvrda, E., Arvay, J., & Massanyi, P. 2018. Trace elements content in semen and their interactions with sperm quality and RedOx status in freshwater fish *Cyprinus carpio*: A correlation study. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50, 399-407.
- Kowalski, R. K., & Cejko, B. I. 2019. Sperm quality in fish: Determinants and affecting factors. *Theriogenology*, 135, 94-108.
- Lahnsteiner, F., Patzner, R. A., & Weismann, T. 1996. Semen cryopreservation of salmonid fishes: influence of handling parameters on the postthaw fertilization rate. *Aquaculture Research*, 27(9), 659-671.
- López-Hernández, J. C., Osorio-Pérez, A., Jiménez-Félix, S. A., Páramo-Delgadillo, S., Márquez-Couturier, G., Yasui, G. S., & Arias-Rodríguez, L. 2018. Artículo de Revisión: La calidad espermática en peces y los métodos de evaluación. *Journal of Marine and Coastal Sciences*, 67-96.
- McCrary, J. K., Van Den Berghe, E. P., McKaye, K. R., & Pérez, L. L. 2001. El cultivo de tilapias: una amenaza a las especies ícticas nativas en Nicaragua. *Encuentro*, (58), 9-19.
- Miller, R. R., W. L. Minckley, & Norris, M. S. 2009. Peces dulceacuícolas de México. CONABIO, SIMAC, ECOSur, DFC, México D.F.
- Munkittrick, K. R., & Moccia, R. D. 1984. Advances in the cryopreservation of salmonid semen and suitability for a production-scale artificial fertilization program. *Theriogenology*, 21(4), 645-659.
- Murakami, A. E., Rodrigueiro, R. J. B., Santos, T. C., Ospina-Rojas, I. C., & Rademacher, M. 2014. Effects of dietary supplementation of meat-type quail

breeders with guanidinoacetic acid on their reproductive parameters and progeny performance. *Poultry Science*, 93(9), 2237-2244.

Mylonas, C. C., Fostier, A. & Zanuy, S. 2010. Broodstock management and hormonal manipulations of reproduction. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 516-534.

Osure, G. O., & Phelps, R. P. 2006. Evaluation of reproductive performance and early growth of four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) with different histories of domestication. *Aquaculture*, 253(1-4), 485-494.

Gaspar-Dillanes, M. T., & Hernandez-Montaña, A. 2013. Pesquerías continentales de México. Gobierno de México. Instituto Nacional de Pesca.

Piamsomboon, P., Mehl, N. S., Sirivaidyapong, S., & Wongtavatchai, J. 2019. Assisted reproduction in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: Milt preservation, spawning induction and artificial fertilization. *Aquaculture*, 507, 139-143.

Ramírez-Ochoa, J. M. 2022. *Evaluación de las características macro y microscópicas del esperma del morro colorado (Vieja fenestrata)*. (Tesis de maestría), Universidad del Papaloapan, Maestría en Biotecnología. 79 p.

Rurangwa, E., Kime, D. E., Ollevier, F., & Nash, J. P. 2004. The measurement of sperm motility and factors affecting sperm quality in cultured fish. *Aquaculture*, 234(1-4), 1-28.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. *Acuicultura en México: genera una derrama económica por 15,940 mdp*. gob.mx. Enero 15, 2021.
<https://www.gob.mx/siap/articulos/acuicultura-en-mexico-genera-una-derrama-economica-por-15-940-mdp>

- Osure, G. O., & Phelps, R. P. 2006. Evaluation of reproductive performance and early growth of four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) with different histories of domestication. *Aquaculture*, 253(1-4), 485-494.
- Smitherman, R. O., Khater, A. A., Cassell, N. I., & Dunham, R. A. 1988. Reproductive performance of three strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 70(1-2), 29-37.
- Suarez-Martinez, R. O., Medina Robles, V. M., & Cruz Casallas, P. E. 2019. Effect of two semen collection in a breeding season on the seminal quality of red-bellied pacu (*Piaractus brachypomus*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú (RIVEP)*, 30(3), 1184-1195.
- Zohar, Y., & Mylonas, C. C. 2001. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Reproductive Biotechnology in Finfish Aquaculture* (pp. 99-136). Elsevier.