

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES
DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

T E S I S

Determinación de la concentración letal media
del metanosulfonato de tricaína para
pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) (Gill, 1863)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y
MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

Emanuel Vázquez Pineda

Tonalá, Chiapas

Octubre de 2025



Pensada Por Impresión
Vobu. Dr. Arcady Osanga
17/10/2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tonalá, Chiapas
21 de octubre de 2025

C. Emanuel Vázquez Pineda

Pasante del Programa Educativo de:

Licenciatura en Biología marina y Manejo integral de cuencas

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

Determinación de la concentración letal media de metanosulfonato de tricaína para pejelagarto

(*Atractosteus tropicus* Gill, 1863)

En la modalidad de: Tesis profesional

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

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. José Reyes Díaz Gallegos

Mtro. Alexis Fanuel Velasco Ortiz

Dr. Arkady Uscanga Martínez

Firmas:

Ccp. Expediente

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

TESIS

Determinación de la concentración letal media
del metanosulfonato de tricaína para
pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) (Gill, 1863)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y MANEJO
INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

Emanuel Vázquez Pineda

DIRECTOR

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

CODIRECTOR

CDR. NATALIA PERALES GARCÍA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS – CENTRO DE INVESTIGACIONES
COSTERAS



Tonalá, Chiapas
2025

Noviembre de

CONTENIDO

<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	v
<u>ÍNDICE DE GRÁFICAS</u>	vi
<u>ÍNDICE DE CUADROS</u>	vii
<u>AGRADECIMEINTOS</u>	viii
<u>RESUMEN</u>	ix
<u>I. INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>II. MARCO TEÓRICO</u>	6
<u>2.1 BIENESTAR ANIMAL</u>	6
<u>2.2 EFECTO DEL ESTRÉS EN PECES</u>	9
<u>2.3 USO DE ANESTÉSICOS</u>	11
<u>III. ANTECEDENTES.</u>	14
<u>3.1 UTILIZACIÓN DE ANESTÉSICOS EN PECES</u>	14
<u>3.2 TAXONOMÍA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO</u>	20
<u>3.3 LEPISTOSTEIFORMES.</u>	21
<u>3.4 EMPLEO DEL MS-222 EN PECES</u>	24
<u>IV. OBJETIVOS</u>	26
<u>4.1 GENERAL</u>	26
<u>4.2 ESPECÍFICOS</u>	26
<u>4.3 HIPÓTESIS</u>	26
<u>4.3.1 Nula</u>	26
<u>4.3.2 Alterna</u>	26
<u>V. MÉTODOS</u>	27
<u>5.1 OBTENCIÓN DE EJEMPLARES DE PEJELAGARTOS <i>A. TROPICUS</i></u>	27
<u>5.2 CUALIDADES DEL ESTUDIO</u>	28
<u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	29
<u>5.4 VARIABLES MEDIDAS</u>	29
<u>5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.</u>	31
<u>VI. RESULTADOS</u>	32
<u>6.1 DETERMINACIÓN DE DOSIS EFECTIVA</u>	32
<u>6.4 TIEMPO DE RECUPERACIÓN</u>	36
<u>VII. DISCUSION</u>	40
<u>VII. CONCLUSIONES</u>	45
<u>VIII. REFERENCIAS</u>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura 1. Características externas de un Juvenil de <i>Atractosteus tropicus</i> (Gill, 1963), familia de los Lepisosteiformes.</u>	21
<u>Figura 2. Lote de reproductores pertenecientes al área de reproducción acuícola del CEICO.</u>	27
<u>Figura 3. Frasco de Metanosulfonato de tricaína de 100 g y 100% de pureza.</u>	28
<u>Figura 4. <i>A. tropicus</i> encontrándose en la fase cinco de sedación implementado el método de inmersión (Pérdida total de la respuesta a estímulos, y reflejos, ritmo opercular lento).</u>	29
<u>Figura 5. Procedimiento de manipulación de pejelagartos (<i>A. tropicus</i>). A) Obtención de longitud total, B) obtención de pesaje</u>	36
<u>Figura 6. Se muestra el proceso de recuperación de los peces, con ayuda de aireación y supervisión constante.</u>	38
<u>Figura 7. Organismo recuperado post anestesia.</u>	38

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1: Tiempos de pérdidas de reflejos en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). (Media $\pm$ desviación estándar, n = 30). Los valores medios en las columnas para cada concentración de anestésico con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P <0.05). 32

Grafica 2. Correlación de peso vs TR en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). 33

Grafica 3. Correlación de peso vs TM en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). 34

Grafica 4. Correlación de peso vs TFA en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). 34

Grafica 5. Tiempo de manipulación en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). (Media $\pm$ desviación estándar, n = 30). Los valores medios en las columnas para cada concentración de anestésico con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P <0.05). 35

Grafica 6: Tiempo de recuperación en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). (Media $\pm$ desviación estándar, n = 30). Los valores medios en las columnas para cada concentración de anestésico con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P <0.05). 37

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Descripción de las fases de sedación del anestésico en peces (Summerfelt y Smith, 1990, en Cooke et al., 2004). ¡Error! Marcador no definido.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de esta tesis. En primer lugar, mi

profundo agradecimientos a mis asesores, el Dr. Arkady Uscanga Martínez y la Mtra. Natalia Perales García, por su inigualable guía y paciencia y conocimientos brindados a lo largo de este proceso. Su rigor académico, sus acertadas críticas y culminación de este trabajo.

A los profesores del Centro de Investigaciones Costeras, Instituto de ciencias biológicas, quienes, a lo largo de mi formación profesional, me compartieron no solo el saber científico, sino también la pasión por la investigación y el aprendizaje continuo. Su enseñanza fue el cimiento sobre el que se construyó este proyecto. De manera muy especial, agradezco a mis amigos y compañeros de carrera, por su compañerismo, por las largas horas de estudio, por su motivación en los momentos de frustración y por celebrar cada pequeño avance. Este logro también es suyo. A mi familia, pilar fundamental de mi vida. A mis padres, Antonio Vázquez Arreola y Guadalupe Pineda Peralta, por su amor incondicional, por sus sacrificios y por creer en mi incluso cuando yo dudaba. A mis hermanos, por su comprensión durante mis ausencias y por ser mis fuentes de alegría y fortaleza. Le dedico mi triunfo. Finalmente, a todas aquellas personas que, aunque no se mencionan explícitamente, me brindaron su apoyo y aliento durante esta etapa. Y también mi rotundo agradecimiento a la Agencia Digital Tecnológica del Estado que con el programa Beca Tesis Licenciatura 2025 por el apoyo fundamental para la realización de esta tesis.

A todos, ¡mil gracias!

Emanuel Vázquez Pineda

RESUMEN

El pejelagarto (*A. tropicus*) es una especie icónica de las aguas continentales de México y Centroamérica, reconocida por su importancia ecológica y su creciente

potencial para la acuicultura regional. Sin embargo, su manejo en condiciones de cultivo presenta desafíos particulares debido a su morfología única, comportamiento y adaptaciones fisiológicas especializadas. El desarrollo de esta investigación presento como objetivo evaluar la dosis de efectividad y los tiempos de inducción del anestésico metanosulfonato de tricaína (MS-222) durante el manejo de juveniles de pejelagarto (*A. tropicus*). Para realizar el ensayo se utilizaron N=270 juveniles con un peso promedio de 298.16 ± 82.43 g, una longitud promedio de 40.47 ± 18.54 cm. Se evaluaron tres concentraciones de MS-222 (1.5, 2.5 y 3.5 g/ml) todos los tratamientos se realizaron por triplicado. Posteriormente, se utilizaron tinas con una capacidad de 16 l y se les agrego 250 ml de anestésico con cada una de las concentraciones a evaluar. A continuación, los peces fueron colocados y sumergidos individualmente para cronometrar cada una de las etapas de sedación de los peces normal (N), sedación ligera (SL), sedación profunda (SP), pérdida parcial del equilibrio (PPE), pérdida total del equilibrio (PTE), pérdida de reflejos (PR), colapso medular (CM), tiempo final de anestesia (TFA), tiempo de manipulación (TM). Consecuentemente, los peces son trasladados al área de recuperación el cual consistió en colocar en tinas de 100 L con aireación constante hasta lograr su recuperación. Los resultados presentan diferencias significativas al utilizar la dosis de 3.5 g/ml para llegar al estadio de PR; en lo que respecta al TFA se obtuvo un tiempo de 8.13 ± 8.14 min, asimismo con el TM (2.55 ± 2.67) empleando la dosis de 3.5 g/ml. La dosis que presento los mayores TFA (23.71 ± 7.75) y el TM 0.67 ± 0.38 min, PR fue la de 1.5 g/ml. No se reportaron mortalidades o efectos adversos de algún tipo obteniendo supervivencia del 100%. Por lo tanto, se concluye que los pejelagartos *A. tropicus* requieren una dosis de 3.5 g/ml del anestésico metanosulfonato de tricaína (MS-222) para su manejo.

Palabras clave: Pejelagarto, Anestesia, MS-222, Dosis y Manejo.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura en México, tiene sus raíces en prácticas prehispánicas donde culturas como los aztecas desarrollaron sistemas de cultivo de peces en estanques conocidos como “chinampas”, sin embargo, la acuicultura moderna comenzó a desarrollarse durante el siglo XX, impulsada por esfuerzos gubernamentales y científicos. Los principales hitos históricos, durante la época prehispánica las podemos encontrar con los aztecas que criaban especies como el charal (*Chirostoma spp.*) y el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) en lagos y canales (Soto, 2014).

Los aztecas y tarascos, eran en la antigüedad los pueblos nativos que más se beneficiaban de los cuerpos de agua, durante la colonia; las técnicas de pesca no podían saciar las necesidades alimenticias de una población en crecimiento; ahora bien, afortunadamente nuestro país cuenta con condiciones climáticas privilegiadas, que permiten tener una diversidad de especies marinas y acuáticas; Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2019). Por último, en 1984 las actividades de crianza de especies de importancia comercial para consumo humano se institucionalizan, fundando así el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) para promover las futuras Investigaciones en el sector acuícola; Diario Oficial de la Federación (DOF, 1984).

Una de la problemáticas principales, que promueve a la acuicultura como fuente para la obtención de alimentos acuáticos en los últimos años es la sobre explotación pesquera de estos mismos recursos que someten a los ecosistemas a un gran impacto y un deterioro continuo en el ambiente, así como una disminución de las especies nativas; esto último desemboca en un desequilibrio ecológico que, si no es atendido, puede llevar al colapso de estos entornos naturales; una de las principales soluciones, es la crianza de especies en ambientes controlados (Cuellar-Lugo, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura por sus siglas en inglés (FAO), en 2022 reporta que el 89% de la producción total de animales acuáticos fue destinada al consumo humano, significando una proporción de 20,7 kg per cápita, alrededor de 185, 4 millones de toneladas, perteneciente a animales acuáticos, la producción de especies acuáticas en 2022 correspondió el 69% en la pesca y captura en zonas marinas, el 31% procedente de la acuicultura y un 84% que corresponde a la producción en aguas continentales; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024).

Por otro lado, dentro de la actividad de crianza o cultivo de organismos acuáticos destinados para consumo o liberación; uno de los desafíos más grandes durante este proceso, es denominado estrés, el estrés se puede describir, como la suma de todas las respuestas fisiológicas que sufre un organismo que intenta estabilizar ante fuerzas químicas o físicas (Selye, 1950).

Pese a los avances tecnológicos y de cultivo, así como en todos los sectores que involucra la crianza de organismos vivos, la manipulación es una herramienta fundamental para realizar diversos procesos de la misma; sin embargo otro detonante principal de estrés viene siendo la “mala manipulación” en intervenciones médicas veterinarias y traslados a otros espacios de desarrollo que puede provocar que los ejemplares produzcan altas cantidades de cortisol (hormona esteroidea producida por las glándulas suprarrenales, ubicada encima de los riñones, conocida como hormona del estrés), los altos niveles de este compuesto genera en los ejemplares, pérdida de peso, pérdida de apetito y en algunos casos la muerte del mismo, para impedir esto una de las soluciones para esta problemática ha sido la implementación de anestésicos en este sector convirtiéndose en una pieza clave para la disminución del estrés en los ejemplares al igual que la reducción de las mortalidades (Solís-Murgas *et al.*, 2010).

Dentro del sector acuícola al pasar de los años; se han creado algunos anestésicos para uso exclusivo en peces; claros ejemplos pueden ser el eugenol, metanosulfonato de tricaína (MS-222), 2-fenoxietanol, metomidato, benzocaína, quinaldina y clorobutanol (Coyle, 2004).

Las numerosas opciones de fármacos anestésicos, permite tener un amplio margen de selección, dependiendo de las necesidades de los peces, entre otras más. Los riesgos que pueden presentarse por el uso de estos fármacos, pueden derivarse desde, las dosis implementadas, tiempos de exposición, solubilidad y fisiología del ejemplar entre muchos otros más; especialmente al usarlas con especies de importancia comercial, pero de reciente cultivo.

Siendo más empleado el MS-222, este es un compuesto que ha sido muy estudiado, para ser usado en procedimientos invasivos (procedimientos denominados así debido a que implican la introducción de instrumentos o dispositivos médicos dentro del cuerpo, generalmente a través de incisiones o perforaciones en la piel) en muchas especies de peces, como por ejemplo: bagres (*Kryptopterus bicirrhys*) molly (*Poecilia sphenops*), tilapia (*Oreochromis niloticus*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y salmón (*Salmo salar*), como otras especies más (Ayala-Soldado, 2015).

En nuestro país, una de las especies endémicas, de importancia comercial y reciente mente agregada en el ámbito de la producción acuícola; es el Pez armado o Pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). Este pez, posee un cuerpo alargado y cilíndrico con un color verde grisáceo, los laterales son de color blanco, cubierto de una especie de sustancia mucilaginoso, alcanzando tallas mayores de un metro (SADER, 2021).

La SADER de México, reconoce ampliamente al pejelagarto (*A. tropicus*) como una especie con gran potencial acuícola debido a su gran adaptabilidad, con un buen valor comercial y contribuir a la diversificación productiva en muchas regiones tropicales.

Dentro del cultivo y manejo otra de las problemáticas respecto a la crianza de esta especie resalta la manipulación física del pejelagarto (*A. tropicus*), este es particularmente difícil debido a su morfología, comportamiento y adaptaciones evolutivas, su piel cubierta por una armadura natural, dificulta la sujeción aumentando el riesgo a lesiones para el pez como al manipulador (Ferrara *et al.*, 2019), el cuerpo alargado como musculoso y potentes además de su forma cilíndrica que lo hace resbaladizo y difícil de sostener (Contreras-Sánchez *et al.*, 2017), posee un comportamiento agresivo y defensivo, porta mandíbulas potentes con dientes afilados, capaces de provocar heridas graves (Domínguez-López *et al.*, 2018), al sentirse amenazado, realiza sacudidas violentas para librarse de sus posibles depredadores (Paramo-Delgadillo *et al.*, 2018).

La especie tiene la particularidad de poder respirar fuera del agua durante periodos muy prolongados de tiempo gracias a su vejiga natatoria modificada permitiendo resistir el estrés durante la manipulación (Graham, 2019), resiste bien al estrés físico, pero si se sobrepasa el límite de manipulación por el manejo repetido puede llegar a debilitar su sistema inmunológico (Reyes-Becerril *et al.*, 2019).

Los riegos para el manipulador, el uso de herramientas especializadas obliga a los acuicultores el uso de guantes anticorte y equipos más especializados para evitar mordeduras (Aguilar-Jiménez *et al.*, 2020), recomendando tener protocolos de inmovilización implementado anestesia para estudios de biometría para reducir riesgos (Martínez-Palacios *et al.*, 2016).

Para el manejo, se recomiendan la implementación de anestesia con MS-222 o benzocaína para minimizar el estrés; Comisión Nacional de Agricultura y Pesca, (CONAPESCA, 2020), sujetar atrás de la cabeza y antes de la aleta dorsal para evitar contacto con la cola y manipular en tiempos cortos de aproximadamente 30 segundos fuera del agua para no dañar por deshidratación (Graham, 2019).

En la actualidad no existen una dosis de anestesia para el pejelagarto, que logren estandarizar el uso de la implementación del MS-222, siendo estos estudios muy limitados en otras especies acuícolas.

La variabilidad en concentraciones reportando rangos amplios en consenso sobre que dosis optimas a utilizar por cada etapa del ciclo de vida (Palacios-Mejía *et al.*, 2021 y Domínguez-López *et al.*, 2022). La inconsistencia en condiciones ambientales, por ejemplo, la eficacia del MS-222 depende del pH al igual que de la temperatura, no existen guías claras para ajustar dosis en diferentes calidades de agua (Contreras-Sánchez *et al.*, 2018).

Limitaciones en la investigación; principalmente en etapas tempranas, lamentablemente la mayoría de los protocolos se prueban en juveniles o larvas, dejando vacíos para adultos reproductores (Palacios-Mejía *et al.*, 2021), falta de comparativas rigurosas, pocos estudios que comparan el MS-222; con otros anestésicos bajo condiciones controladas (Gómez-Camargo *et al.*, 2019).

Por último, no se ha considerado la variabilidad genética de los pejelagartos (*A. tropicus*), en distintas regiones de poblaciones originarias del Golfo en contra del Pacífico y el efecto sobre las conductas naturales desde alimentación y/o reproducción post anestesia siendo poco documentadas.

Por lo que esta investigación, tiene como objetivo evaluar la efectividad y los tiempos de inducción del anestésico metanosulfonato de tricaina (MS-222) durante el manejo de juveniles de pejelagarto (*A. tropicus*).

II. MARCO TEÓRICO

2.1 BIENESTAR ANIMAL

El bienestar animal, es una de las prácticas con mayor auge y relevancia en los últimos años; sin embargo, tenemos que entender que a lo largo de los años múltiples investigadores elaboraron diferentes interpretaciones de la misma un ejemplo es Broom (1986), define al bienestar animal como “El bienestar de un individuo en su estado en relación con sus intentos de afrontar el ambiente”. La definición puede variar dependiendo el contexto en el cual es sometido el animal o animales. Asimismo, Broom (2011) redefinió el termino de bienestar animal donde indica que el bienestar de un individuo es su estado en relación a sus intentos por adaptarse al ambiente", vincula el concepto con variables medibles (fisiológicos, conductuales y de salud); rechazando evaluaciones basadas solo en emociones humanas proyectadas.

Otro fundamento importante es el proporcionado por Fraser (2008), el sintetiza las perspectivas científicas simplificándolas en tres dimensiones interconectadas; la primera lo titula como funcionamiento biológico (salud): Determina que es la ausencia de enfermedades, crecimiento normal y una fisiología equilibrada, la segunda englobada como estado afectivos (emociones): Determina la presencia de emociones positivas y ausencia de emociones negativas y por último la naturaleza animal (conducta natural): Que es la capacidad de expresar comportamientos innatos. Como se mencionó anteriormente, la contextualización en la que se aplica el bienestar animal, varía dependiendo del ámbito en el que se aplica (Dubois y Fraser, 2013). Grandin (2017), propone diferentes métricas objetivas y prácticas para poder evaluar el bienestar de animales de corral criados para engorde; el menciona que métricas como la condición corporal (flaco, ideal y gordo), lesiones y cojeras (refiriéndose al

porcentaje de animales que tienen lesiones y/o heridas) y ensuciamiento (nivel de barro o suciedad en el cuerpo que puede estar relacionado con estrés o infecciones).

En segundo aspecto, la definición cambia también si trasladamos la aplicación del bienestar animal en peces de importancia acuícola. Ashley (2007), define que es "Un estado de salud física y mental que permite al animal enfrentar su ambiente de manera efectiva, sin sufrimiento prolongado". Según Huntingford (2006), propone adaptar tres libertades en la acuicultura:

1. Libertad al hambre/sed - Dietas adecuadas y acceso al agua de calidad.
2. Libertad a la incomodidad - densidades optimas y oxígeno disuelto.
3. Libertad de dolor/lesiones - Manejo sin redes abrasivas y eutanasia humanitaria.

Besson *et al.*, (2020), concluye que el bienestar en peces no solo consiste en evitar el estrés, si no promover conductas naturales. Analizando las definiciones anteriores, se resalta que; para tener una evaluación más precisa respecto a la condición de los animales; se requiere conocimiento científico, fomentar lo mejor posible a las conductas naturales, dietas adecuadas, manejo, sacrificio humanitario, además de mantener una observación constante y detallada de los animales (Góngora y Cardoso, 2002).

Por otra parte, en muchos países, existen regulaciones internacionales que sirven de guía para cuidar y salvaguardar el bienestar de organismos silvestres o domésticos; por ejemplo, en Estados Unidos, la única ley de protección de animales que regula el trato de animales para experimentación, exhibición, transporte y venta, firmada en el año de 1966. Posteriormente en 1985, se actualizo con un agregado que especifica las medidas de protección en el cuidado humano en animales de uso experimental (Jar, 2014).

En México existen una multiplicidad de leyes para la protección y bienestar animal, desde animales de compañía, crianza, granja, trabajo etc.

Tomando como algunos ejemplos:

- Ley de Protección y Bienestar de los Animales de la Ciudad de México: Esta ley tiene como objetivo proteger a los animales, garantizar su bienestar y fomentar una cultura de respeto hacia ellos en la Ciudad de México; Congreso de la ciudad de México, (CDMX, 2024).
- Ley Federal de Sanidad Animal: Establece las bases para la prevención, control y erradicación de enfermedades y plagas que afectan a los animales, así como para garantizar su bienestar en todo el territorio nacional; Cámara de diputados, (C.DD., 2024).
- Iniciativa de Ley General en Materia de Bienestar: Cuidado y Protección Animal: Esta iniciativa propone la creación de una ley general que armonice y coordine las disposiciones en materia de bienestar animal en todo el país; Senado de la república, (SR, 2024).
- Ley de Protección y Bienestar Animal para la Sustentabilidad del Estado de Nuevo León: Esta ley estatal establece las normas para la protección y el bienestar de los animales en Nuevo León, promoviendo su trato digno y respetuoso; Honorable consejo del estado de Nuevo León, (HCNL, 2020).
- Ley de Bienestar Animal del Estado de Puebla: Esta ley tiene como finalidad garantizar el bienestar de los animales en el estado de Puebla, estableciendo medidas para su protección y cuidado; Congreso del Estado de Puebla, (CEP, 2024).

Esto solo es una fracción de las leyes que ayudan a salvaguardar y proteger la integridad de los animales que tienen un peso importante en nuestras vidas, desde animales domésticos, crianza, trabajo y silvestres.

2.2 EFECTO DEL ESTRÉS EN PECES

El estrés genera respuestas fisiológicas en cualquier organismo, en los peces genera una liberación de cortisol en el hipotálamo pituitaria interrenal (HPI) (Wendelaar-Bonga, 1997), aumenta la glucosa en sangre (hiperglucemia) lo que le ayuda a obtener energía rápida (Barton y Iwama, 1991).

Además del cortisol, otro indicador de estrés es la α -amilasa (asociada al estrés simpático); como un indicador de estrés celular (Sopinka *et al.*, 2017), el estrés crónico altera el microbiota intestinal lo que afecta a la inmunidad (Gómez *et al.*, 2020), los peces bajo estrés generan radicales libres que tienen la capacidad de dañar lípidos como material genético. Los antioxidantes como la vitamina E logran mitigar estos efectos (Lushchak, 2011).

Especies de importancia acuícola como la tilapia, tienen una mayor resistencia al estrés oxidativo que en peces migratorios (Birnie-Gauvin *et al.*, 2019), el estrés crónico provoca una reducción en LH (Hormona Luteinizante) y GnRH (Hormona Liberadora de Gonadotropinas) que son cruciales para la liberación de óvulos y espermatozoides, afectando de manera significativa a los desoves (Zohar *et al.*, 2010). En salmónidos, el cortisol alto inhibe la vitelogénesis (es el proceso de formación y acumulación de vitelo en el ovocito de los organismos ovíparos) (Schreck, 2010).

Esto genera un impacto contundente a la salud de los peces; debido a la inmunosupresión lo que los hace más susceptibles a las enfermedades (Tort, 2011) y un crecimiento reducido provoca por una baja ingesta de alimento y eficiencia alimenticia (Barton, 2002). Esto desencadena conductas anormales en los organismos, como nado errático, falta de apetito o agresividad (Schreck *et al.*, 2016).

Para mitigar esto, se busca gestionar una buena optimización de las condiciones ambientales: oxigenación óptima para la especie cultivada y niveles de amonio controlados (Timmons *et al.*, 2002), en condiciones de manipulación el uso de anestésicos como el MS-222 o eugenol durante los procedimientos (Neiffer y Stamper, 2009) y estructuras en los tanques (refugios) ayudan a reducir agresión (Arechavala-López *et al.*, 2021).

El estrés tiene múltiples definiciones, una de ellas proporcionada por Ortiz Espinoza (2015), menciona que es “Aquellas respuestas del organismo ante cualquier evento en el cual las demandas ambientales, las demandas internas, o ambas, agotan o exceden los recursos de adaptación del sistema social o del sistema orgánico del individuo, al tiempo que se le concede gran importancia a la evaluación que el sujeto hace del estímulo, lo que tendrá una influencia en la intensidad de la respuesta”.

Una vez abarcada la definición, tenemos que señalar que el estrés en los peces, requiere una buena comunicación interna; es decir entre su sistema inmune, nervioso y endocrino para así responder de forma adecuada al cambio en el ambiente en el que se desarrollan (Pérez y Ramírez, 2005).

A partir de la observación constante en distintas poblaciones de peces, durante largos periodos de tiempo, se han identificado distintos detonantes de estrés en los peces. Gonzales y Espinosa (2004), mencionan cinco fuentes que originan el estrés, estas son: estrés social, estrés físico, estrés químico, estrés nutricional y estrés traumático.

El estrés en peces es una respuesta fisiológica conductual a factores adversos que alteran su homeostasis. Puede llegar a ser agudo o crónico causadas por:

1. Factores ambientales.
 - Calidad del agua: bajos niveles de oxígeno, altos niveles de amonio o nitritos y pH extremos (Barton, 2002).
 - Temperatura: cambios bruscos fuera del rango óptimo de la especie (Portz *et al.*, 2006).
2. Manejo Humano:
 - Captura, transporte y manipulación (Ashley, 2007).
 - Sobrepoblación en cultivos (Conte, 2004).
3. Factores biológicos:
 - Presencia de depredadores y competencia por alimento (Schreck *et al.*, 2016).

2. 3 USO DE ANESTÉSICOS

La implementación de anestésicos en organismos acuáticos o marinos, constituyen una herramienta crucial para la piscicultura, ayudando a mitigar los niveles de estrés en momentos de manipulación y/o intervención de los criadores (Millan y Torres, 2012).

Entonces podemos entender, que los anestésicos son sustancias químicas o naturales que tienen la capacidad de interrumpir el flujo nervioso de manera duradera y reversible (González y López, 2004). En la piscicultura existe una amplia gama de agentes anestésicos; que facilitan diversos procedimientos, como el transporte, biometrías, cirugías y eutanasia, reduciendo así los el estrés como también promoviendo a su bienestar; dependiendo de las cualidades del fármaco, la vía de administración puede variar.

Cabe señalar que el tipo de anestésico implementado; puede variar dependiendo de las cualidades del mismo, como las necesidades de la investigación; a continuación, se presentan algunos.

Por inmersión:

- Metanosulfonato de tricaína (MS-222): Considerado uno de los anestésicos más utilizados en peces debido a su eficacia, así como una rápida inducción (Jerez *et al.*, 2015).
- Benzocaína: Anestésico local que actúa bloqueando los canales de sodio en las neuronas, inhibiendo la transmisión de los impulsos nerviosos (Velasco *et al.*, 2008).
- Eugenol (aceite de clavo): Utilizado por su bajo costo y disponibilidad, aunque su uso en peces destinados al consumo humano está restringido en algunos países; Global Seafood Alliance, (GSA, 2022).

Por vía parental:

- Ketamina: Anestésico disociativo que proporciona analgesia y sedación (Heano *et al.*, 2022).
- Alfaxalona y alfadolona: Esteroides neuroactivos que inducen anestesia general (Bugman y Langer, 2016).
- Pentobarbital (Nembutal): Barbitúrico utilizado para anestesia profunda o eutanasia (Arzuffi - Barrera y Guarneros-Bañuelos, 1993).

Por vía local:

- Lidocaína (xilocaína) y procaína (novocaína): Bloquean la conducción nerviosa en áreas específicas (Stevens y Chatigny, 2018).

Por medio físico:

- Choque térmico: Consiste en reducir la temperatura del agua para inducir anestesia mediante hipotermia (González *et al.*, 2013).

Los anestésicos constituyen una herramienta crucial en la piscicultura, ya que su implementación ayuda a mitigar los niveles de estrés durante la manipulación e intervención de los peces. Estas sustancias, ya sean químicas o naturales, actúan irrumpiendo de manera reversible y duradera el flujo nervioso (Cunha *et al.*, 2010). En la práctica acuícola se emplea una amplia gama de agentes anestésicos para facilitar procedimientos como el transporte, las biometrías, las cirugías o la eutanasia, lo que contribuye directamente a reducir el estrés y a promover el bienestar animal (Wilson *et al.*, 2009).

La elección del anestésico específico varía en función de las propiedades del fármaco y los requerimientos de la investigación o manejo. Entre los más comunes administrados por inmersión se encuentran el Metanosulfonato de tricaína (MS-222), muy utilizado por su eficacia y rápida inducción; la Benzocaína, que bloquea los canales de sodio; y el Eugenol o aceite de clavo, apreciado por su bajo costo, aunque con restricciones en peces para consumo (Park y Im, 2015).

Por vía parental o inyectada se usan anestésicos como la Ketamina, de efecto disociativo; la Alfaxalona y Alfadolona, que son esteroides neuroactivos; y el Pentobarbital, empleado para anestesia profunda. También existen anestésicos de aplicación local, como la Lidocaína y la Procaína, y métodos físicos como el choque térmico, que induce anestesia mediante hipotermia. En conjunto, el uso adecuado de estas sustancias es fundamental para garantizar el manejo eficaz y ético de los organismos acuáticos (Struk *et al.*, 2018).

III. ANTECEDENTES

III.1 UTILIZACIÓN DE ANESTÉSICOS EN PECES

El uso de anestésicos en peces ha sido ampliamente estudiado en acuicultura, investigación y medicina veterinaria para minimizar el estrés, facilitar el manejo y mejorar el bienestar animal.

La benzocaína (etil-4-aminobenzoato), es un anestésico local ampliamente utilizado en acuicultura y medicina veterinaria desde el siglo XX. La benzocaína fue desarrollada en 1890 por el químico alemán Eduard Ritsert como derivado de la cocaína, con el objetivo de buscar un anestésico menos tóxico (Ritsert, 1890, citado de Becker y Reed, 2012).

Más adelante en la década de los 60, se logó adoptarlo en la acuicultura como una alternativa más económica al MS-222, especial en peces de agua dulce como carpas y bagres (Schreck y Moyle, 1990; Ross y Ross, 2008); actúa inhibiendo la conducción nerviosa al poder bloquear los canales de sodio en los tejidos celulares, los que es similar a otros anestésicos locales (Neiffer y Stamper, 2009), su capacidad para difundirse rápidamente a través de las branquias y absorción en la piel la convierte en una herramienta eficaz en pece (Harms, 2005). La ventaja de este fármaco es que no requiere un periodo de retiro en algunas regulaciones; Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, 2021), lamentablemente tiene una menor solubilidad en agua requiriendo disolventes como el etanol (Hoseini *et al.*, 2019) y un riesgo de metahemoglobinemia (es un trastorno sanguíneo en el cual una cantidad anormalmente alta de metahemoglobina, que es una forma de hemoglobina que no puede transportar oxígeno) en exposiciones muy prolongadas (Stoskopf, 1993).

Regulada por la FDA, para uso en peces destinados al consumo, pero con restricciones en dosis (FDA, 2021).

Dentro de este análisis sobre los antecedentes de la implementación anestésica, el aceite de clavo cuyo principio activo es el eugenol (4alil-2-

metoxifenol), ha emergido como una alternativa natural a los anestésicos sintéticos en la acuicultura.

El condimento clavo de olor (*Syzygium aromaticum*); el cual se ha utilizado desde la antigüedad en la medicina tradicional por sus propiedades analgésicas y antisépticas (Chaieb *et al.*, 2007); en la década de los 90, investigadores brasileños comenzaron a estudiar su eficacia en peces tropicales como sustituto del MS-222, destacando en su bajo costo y biodegradabilidad (Soto y Burhanuddin, 1995).

El clavo de olor tiene como mecanismo de acción el bloqueo de canales de sodio y potasio inhibiendo la conducción nerviosa, similar a la lidocaína, pero como una menor toxicidad (Hajek, 2011), reduciendo el estrés oxidativo inducido por el manejo, protegiendo tejidos branquiales (Hoseini *et al.*, 2019), la baja toxicidad hace que no requiere periodo de retiro para consumo humano; Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2018); reduciendo el daño branquial post manejo (Bittencourt *et al.*, 2021) y siendo 10 veces más económico que el MS-222 (Soto y Burhanuddin, 1995). Sin embargo, depende de factores como la temperatura, especie y pH del agua (Keene *et al.*, 1998), al ser un aceite requiere vehículos de disolución como etanol o DMSO (Dimetilsulfóxido) para dilución (Neiffer y Stamper, 2009).

La FDA, no ha aprobado para peces de consumo, pero permitido en investigación (FDA, 2021) y autorizado bajo la directiva 2010/63/EU para experimentación animal (EFSA, 2018).

El MS-222, es un anestésico usado ampliamente en peces y otros organismos acuáticos. El MS-222, fue desarrollado en la década de 1960 por la compañía conocida antiguamente como Sandoz (que actualmente se le conoce como Novartis), como un derivado del ácido amino benzoico, muy similar a la benzocaína, pero con la particularidad de ser 200 veces más soluble (Carter *et al.*,

2011); su nombre químico es 3-aminobenzoato de etilo metanosulfonato, como tener un ion activo de tricaína (Carter *et al.*, 2011).

Inicialmente, se empleó en investigaciones ictiológicas para ayudar a reducir el estrés durante la manipulación y el transporte (Schreck y Moyle, 1990).

Al inicio en la década de los 70, fue adoptado en la industria acuícola para diversos procedimientos como: marcaje y toma de muestras (biopsias y extracción de escamas), cirugías menores (implantes de transmisores, estudios reproductivos) y transporte de peces vivos (reduciendo los niveles de mortalidad por estrés) (Summerfelt y Smith, 1990). Las indicaciones de la FDA (Food and Drug Administration - EE. UU): advierte que el tiempo óptimo para la excreción completa del anestésico en el sistema de los peces es de 21 días generalmente antes del consumo humano; Food and Drug Administration (FDA, 2020).

De igual forma, la Unión Europea; bajo la regulación de la Agencia Europea de Medicamentos (EMA), permite el uso en peces ornamentales y experimentales, manteniendo restricciones en acuicultura comercia; Agencia Europea de Medicamentos (EMA, 2018). Canadá y otros países permiten su uso bajo supervisión veterinaria; Canadian Council on Animal Care (CCAC, 2016).

En comparación con otros anestésicos, es efectivo en bajas concentraciones (50-100 mg/l), con rápida inducción (5-10 mg/l) y tener un amplio margen de seguridad en peces (Neiffer y Stamper, 2009). El metanosulfonato de tricaína fue desarrollado con el fin de ser un anestésico seguro para peces y ha sido probado por agencias como FDA en los Estados Unidos, para ser utilizada en especies utilizadas para consumo humano (Summerfelt y Smith, 1990). El primer uso registrado, fue en el año de 1988; (FDA, 2020).

Este compuesto actúa como un mecanismo tópico bloquea los canales de sodio situadas en las neuronas, gracias a esto y como consecuencia de la mismas

inducen a una pérdida total de los sentidos, movilidad y sensibilidad (Carter *et al.*, 2011).

Es utilizado para procedimientos como biopsias, marcaje, cirugías, transporte y biometrías en diversas especies de peces, así como en estudios de fisiología y comportamiento acuático (Neiffer y Stamper, 2009).

Algunos estudios han evaluado su impacto en especie sensibles como por ejemplo *Pterophyllum scalare*, *Synchiropus splendidus*, *Gymnothorax nudivomer*, etcétera (Zahl *et al.*, 2012), al estrés oxidativo en branquias (Priborsky y Velisek, 2018) y respuesta inmune en peces (Hoseini *et al.*, 2019).

A continuación, se detallan las siguientes investigaciones que involucran procedimientos y protocolos anestésicos en diversas especies. El trabajo realizado por Hikasa *et al.* (1986), en donde describe los efectos de la dosis de anestésico MS-222, eugenol y tiopental sódico en carpas adultas (*Cyprinus carpio*), donde los resultados obtenidos muestran que la dosis más altas de eugenol (25-100 ppm) y tiopental sódico (200-300 ppm) aceleraron la inducción anestésica y retrasaron la recuperación de forma dependiente a las dosis, en el caso de las dosis más altas de MS-222 (50-200 ppm) tuvo también una rápida inducción anestésica; además de examinar la influencia de la temperatura del agua (10 y 20° C).

Mientras tanto, al medir los tiempos de recuperación el MS-222 fue el que presento menores tiempos de recuperación. Sobre la influencia de la temperatura del agua, se observó que estas fueron de 20° C potenciando así, el efecto de la anestesia como los tiempos de recuperación. En conclusión, determinaron que MS-222 permite una recuperación más rápida en carpas adultas y que los criterios de anestesia y recuperación determinados son útiles para analizar el efecto de anestésicos en esta especie.

De acuerdo con los estudios realizados por Palmer y Mensinger (2004), en el cual evaluaron el efecto de la dosis única (0.005%) del anestésico Tricaína (MS-

222) sobre la actividad nerviosa en la línea lateral anterior del pez sapo ostión (*Opsanus tau*); el estudio indicó un efecto sobre la actividad neural situada en la línea lateral.

Encontrando que a partir de una concentración de igual o mayor al 0.010%, los organismos presentaron mayor sensibilidad a la anestesia produciendo una disminución significativa de los impulsos nerviosos en la línea lateral. Así también, recuperando esta sensibilidad 90 min después de ser retirados del anestésico. Además de estudiar los cambios de pH influyen en la reducción de la actividad de la línea lateral, no siendo este el caso.

Mientras tanto, Watson (2015), probó la eficacia de distintos anestésicos, aceite de clavo, metomidato, 2-fenoxietanol, incluyendo el MS-222; en juveniles de sabalo (*Alosa pseudoharengus*), analizando los tiempos de inducción, recuperación y supervivencia post-anestesia, estableciendo dosificaciones de metanosulfonato de tricaína (MS-222): 75-100 mg/l, aceite de clavo: 40 mg/l, metomidato 5-7 mg/l y 2-fenoxietanol (2-PE): 500 mg/l respectivamente, para alevines adultos, juveniles y larvas. Aunado a eso, un experimento de sedación prolongada de 24 h, en el cual se expusieron juveniles a dosis de aceite de clavo (2.5 y 5.0 mg/l) y metomidato (0.25 y 0.50 mg/l). Los resultados fueron que el aceite de clavo generaba estrés al implementar dosis más altas, diferencia del metomidato que no presentaba tales respuestas, concluyendo que el metomidato puede ser una alternativa para la sedación de alevines al no subir significativamente los niveles de estrés.

En América Latina, diversas especies han sido evaluadas con MS-222. Un ejemplo de ello es un estudio realizado en Perú en donde implementaron diferentes dosificaciones en distinto ejemplares de Chita Perú (*Anisotremus scapularis*), durante el transporte, encontrando que una dosis de 15 mg/l a temperaturas de 15° C reducía los niveles de estrés como de amonio excretados, sin comprometer el equilibrio de los peces (Rosado, 2017).

Musk *et al.*, (2020), comparo la seguridad de dos anestésicos ampliamente usados en la piscicultura, la tricaína y el isoeugenol; en el peces cebrá (*Danio rerio*); que fueron sometidos a un recorte de la aleta caudal, los hallazgos van desde tiempos de inducción en donde el isoeugenol inducía a los ejemplares en menos tiempo que el MS-222, tiempos de recuperación en donde el MS-222 permitía una recuperación más rápida, seguridad y eficacia en los que ambos anestésicos presentaron buena tolerancia en los ejemplares sin signos evidentes de estrés u otro y por último la preparación de las soluciones en donde el isoeugenol presento ser más sencilla su preparación.

El estudio de Perret-Thiry *et al.*, (2022), evaluaron la eficacia del metanosulfonato de tricaína para el sacrificio del pez dorado (*Carassius auratus*); la metodología consistió en utilizar 24 ejemplares con un peso de entre 1 a 10 gr, divididos en cuatro grupos de seis individuos cada uno con pesos aleatorios; aplicando diferentes dosificaciones de 500 a 1000 mg/l, con diferentes tiempos de exposición de 15 hasta 60 min, seguidos de tres hasta 18 h en agua dulce, concluyendo que las dosificaciones de 1000 mg/l de MS-222 durante un tiempo de 15 min es adecuado para provocar eutanasia en los peces.

Zhang *et al.*, (2023), evaluaron los efectos de la tricaína metanosulfonato (MS-222) en lubinas asiáticas (*Lateolabrax maculatus*) a una concentración de 10, 20 y 40 mg/l, con el objetivo de determinar si el uso de anestésico en el transporte simulado con tiempos prolongados afecta en la supervivencia y calidad del producto; analizando estrés fisiológico, calidad del producto, supervivencia y comportamiento. Los resultados obtenidos demostraron una reducción en el estrés fisiológico, una supervivencia del 100%, mejor calidad en el musculo y tiempos de recuperación más rápidos, utilizando dosis de 20 mg/l. Asimismo, los niveles de cortisol y ácido láctico, Al usar de dosis de 30 mg/l durante el transporte en condiciones de alta densidad y largas distancias mejora la supervivencia, reduce el estrés fisiológico y preserva la calidad nutricional y

sensorial de los peces. Una de las implementaciones clave de MS-222 en acuicultura, es en el cultivo de tilapias; una especie clave en la acuicultura tropical. Dentro de este ámbito, se recomiendan concentraciones de 15 a 200 mg/L para especímenes adultos, y en ejemplares juveniles de 100 a 150 mg/L (Soto y Burhanuddin, 2010).

Las inducciones que rondan entre los dos a tres min con una recuperación de 30 a 60 min; para la aplicación de anestésicos se considera lo siguiente: tamaño del pez; que influyen en el tiempo de recuperación como de inducción y dosificación, regulaciones locales; que es la importancia de consultar las normativas como regulaciones para la implementación de los anestésicos en peces que son destinados para el consumo humano y por último la recuperación post anestesia; que consiste en tener las condiciones adecuadas de oxigenación como el monitoreo durante la recuperación; para evitar mortalidades (Hseu *et al.*, 1998).

3.2 TAXONOMÍA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Reino: Animalia

Filum: Chordata.

Clase: Actinopterygii.

Orden: Lepisosteiformes.

Familia: Lepisosteidae.

Género: *Atractosteus*.

Especie: *Atractosteus tropicus* (Gill, 1863).

3.3 LEPISTOSTEIFORMES

Los pejelagartos, pertenecen al orden de los Lepisosteiformes son peces que poseen características únicas; desde su piel dura, la capacidad de respirar oxígeno atmosférico mediante órganos especializados que funcionan como pseudo pulmones (Figura 1). Siendo estas cualidades que pueden influenciar antes las respuestas con anestésico (Contreras-MacBeath y Mejía-Mojica 2018).

Estudiar esta especie, trae beneficios en el sector acuícola al proporcionar los conocimientos necesarios que permiten domesticar y cultivar de una manera eficiente a esta especie nativa; siendo ideal para la diversificación de la producción y apoyar la economía local. Para el sector anestésico, la investigación es fundamental para el desarrollo de protocolos seguros y específicos que ayuden a garantizar el bienestar del animal durante su manejo en cautiverio, al tiempo en que se contribuye al conocimiento científico de la anestesiología en especies acuática con una fisiología única y ancestral.

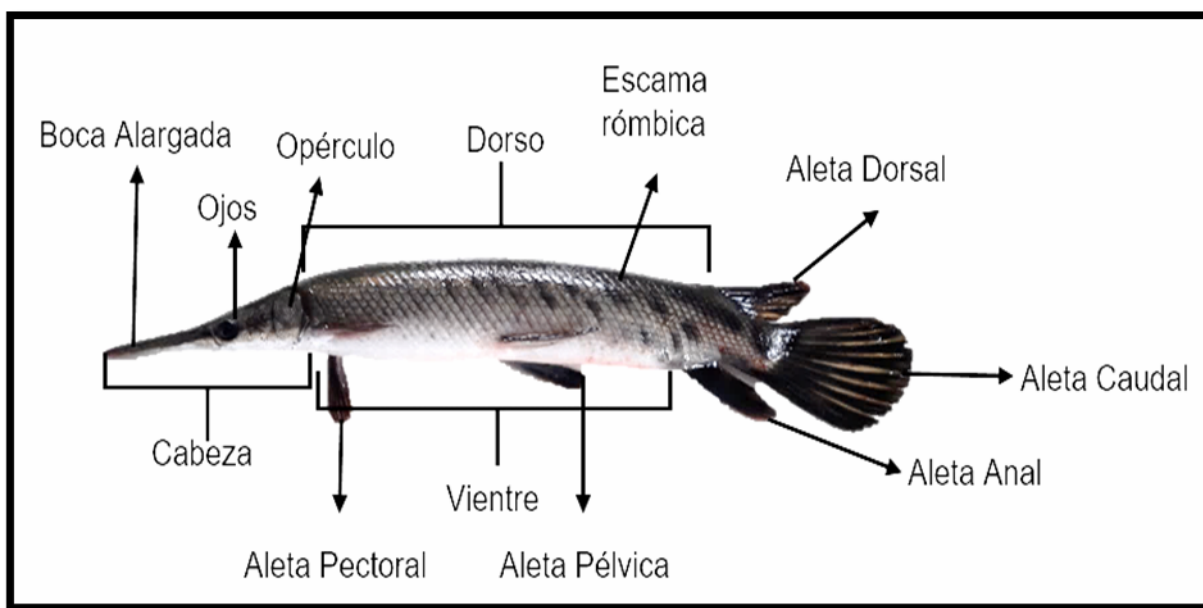


Figura 1. Características externas de un Juvenil de *Atractosteus tropicus* (Gill, 1963), familia de los Lepisosteiformes.

A continuación, se menciona un conjunto de trabajos que hablan sobre las particularidades de esta familia; Grande (2010), hace una revisión a nivel taxonómica; combinando: morfología comparada, datos paleontológicos y análisis cladísticos para establecer relaciones evolutivas. Morfológicamente hablando, estos ejemplares se caracterizan por tener escamas ganoideas (escamas que se encuentran en peces óseos primitivos) un hocico alargado que posee dientes afilados (Grande, 2010), algo particularmente impresionantes en su evolución es la vejiga natatoria vascularizada que tiene la funcionalidad de un pulmón primitivo (Burggren y Cameron, 1980).

Fisiológicamente tienen una respiración bimodal (acuática como la capacidad de respirar oxígeno atmosférico), la adaptación a ambientes anóxicos (Graham, 1997); taxonómicamente existen siete especies en las que podemos dividir en dos grupos o géneros (*Atractosteus* y *Lepisosteus*) (Grande, 2010).

Evolutivamente pertenecen a un grupo antiguo de hace 100 millones de años con un parentesco cercano a los Amiidae (familia de peces Holósteos) (Grande, 2010 citado de Wright et al., 2012), distribuidos en América latina y Cuba generalmente se localizan en aguas dulces y estuarinas (Ferrara y Irwin, 2001).

Se destacan por ser depredadores topos en los humedales (Suttkus y Mettee, 2001). Estas especies actualmente se encuentran amenazadas debido a la pérdida de su hábitat como sobrepesca (Contreras-MacBeath y Mejía-Mojica, 2016), además de existir una preocupación menor con nombre común (*L. osseus*), hasta vulnerable con nombre común (*A. spatula*); International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2019). La poca información recopilada en protocolos anestésicos indica que los retos que se presentan derivan de su piel gruesa como metabolismo lento por lo cual se requiere ajustar las dosis (Ferrara y Irwin, 2009).

Se puede concluir, que los pejelagartos se consideran al igual que los celacantos como fósiles vivientes que poseen adaptaciones únicas que los convierten en modelos clave para estudio, fisiología, evolución y conservación.

De acuerdo con la base de datos Fishbase (2023) los Lepisosteidae están constituidos por siete especies conocidas, distribuidas en dos géneros.

Genero Lepisosteus:

- *Lepisosteus oculatus* (Catán pinto).
- *Lepisosteus osseus* (Catán narigudo).
- *Lepisosteus platostomus* (Catán de hocico corto).
- *Lepisosteus platyrhincus* (Catán de la Florida).

Genero Atractosteus:

- *Atractosteus spatula* (Catán Común).
- *Atractosteus tristoechus* (Manjuarí o catán cubano).
- *Atractosteus tropicus* (Pejelagarto).

En el ámbito genético, Braasch *et al.*, (2016), estudia la secuenciación del catán manchado (*L. oculatus*); los hallazgos indican que el genoma del catán manchado no ha modificado la estructura como contenido de muchos cromosomas pertenecientes a ancestros en común, los CNEs (ADN no codificante), fueron detectados en comparaciones directas entre humanos y teleósteos, estos CNEs fueron detectados con mayor facilidad incluyendo al catán manchado en los estudios.

En los análisis transcriptómicos demostraron que la suma de los dominios de expresión, así como los genes duplicados de teleósteos se aproximan a los niveles de expresión del catán manchado y por último el genoma del catán manchado (*L. oculatus*), puede considerarse un recurso valioso que ayudaría a comprender la evolución de duplicaciones genómicas, el origen de genomas de vertebrados y comprensión de la secuencia de la función regulatoria humana.

Desvignes *et al.*, (2018), proponen una descripción detallada sobre el desarrollo esquelético de la aleta caudal del catán manchado (*L. oculatus*), su metodología da a conocer el uso de triclaína para el sacrificio de los ejemplares antes de la fijación histológica, expresando que las concentraciones efectivas usadas oscilan entre 100 a 300 mg/l para procedimientos de anestesia profunda o eutanasia.

3.4 EMPLEO DEL MS-222 EN PECES

Actualmente, no se encuentran muchos estudios que hablen sobre la implementación de fármacos empleados como anestésico para los *Lepisosteiformes*, sin embargo, cabe destacar que existen investigaciones que no buscan determinar dosis de anestesia, pero las implementan como herramientas en su metodología.

Gonzáles y Mendoza (2015), evaluaron las reacciones fisiológicas del nombre común (*A. spatula*), en contacto con tres tipos de sustancias: diazinón (un pesticida organofosforado), β -naftoflavona (BNF, un inductor de enzimas metabolizadoras) y 17 β -estradiol (E2, una hormona estrogénica), en organismos, con 6, 12 y 24 meses de edad; fueron expuestos a los tratamientos por medio de inyecciones, alimentación e inmersión en agua, concluyendo que los organismos poseen una limitada resistencia para metabolizar ciertos compuestos. De acuerdo con King y Stein (2020), indican que la dosis específica de AQUIS 20E (anestésico para peces basado en Eugenol) con el objetivo de observar y medir la recuperación post operatoria en el Catán de hocico corto nombre común (*L.*

platostomus), el protocolo de anestesia. La metodología consistió en implementar dosificaciones de AQUÍ-S 20E en concentraciones de 250 mg/l, a corto y largo plazo post cirugía, junto con la cicatrización de heridas y los cambios en el peso corporal durante un período de 478 días; la capacidad de la especie para absorber oxígeno atmosférico, indico dificultades para la absorción del fármaco por lo que fue necesario evitar la respiración área facultativa, logrando así la inducción. Como conclusión, este estudio es pionero en probar la dosis efectiva de AQUÍ-S 20E en nombre común (*L. platostomus*) y en evaluar la recuperación quirúrgica utilizando una técnica especializada en un entorno controlado.

Este anestésico ampliamente utilizado en la acuicultura debido a la su eficacia y amplio margen de seguridad. Su implementación en nuevas especies de interés comercial, como el pejelagarto (*A. tropicus*), la importancia de establecer protocolos específicos que no pueden extrapolarse a otras especies que ya hayan sido estudiadas.

Sin embargo, estos procesos siempre implican determinar la concentración efectiva mediante la implementación de bioensayos que permitan evaluar los tiempos de inducción como de recuperación anestésica.

La estandarización de estos protocolos no solo es esencial para el bienestar animal durante las operaciones de manejo rutinario y procedimientos invasivos, sino que también representan un pilar sumamente fundamental que permita el desarrollo de una acuicultura sostenible y comercialmente viable de especies emergentes.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Evaluar la efectividad y los tiempos de inducción del anestésico metanosulfonato de tricaína (MS-222) durante el manejo de juveniles de pejelagarto (*A. tropicus*).

4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar la dosis (1.5, 2.5 y 3.5 g/ml) de anestésico de metanosulfonato de tricaína (MS-222), en relación con el tamaño y el peso del pejelagarto (*A. tropicus*).
- Determinar el tiempo de eficacia del metanosulfonato de tricaína (MS-222), como anestésico para la especie en relación con el tamaño y el peso de los pejelagartos (*A. tropicus*).
- Evaluar la supervivencia de las diferentes dosis aplicadas a los pejelagartos (*A. tropicus*).

4.3 HIPÓTESIS

4.3.1 Nula

- La exposición del pejelagarto (*A. tropicus*) al anestésico metanosulfonato de tricaína (MS-222) presentara un efecto de narcosis dependiendo del peso y tamaño de los peces.

4.3.2 Alterna

- La exposición del pejelagarto (*A. tropicus*) al anestésico metanosulfonato de tricaína (MS-222) no presentara un efecto de narcosis dependiendo del peso y tamaño de los peces.

○

V. MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de nutrición y producción acuícola en el Centro de investigaciones Costeras (CEICO) del Instituto de Ciencias Biológicas (ICBIOL), en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Ubicado en el Municipio de Tonalá, Chiapas México.

V.1 OBTENCIÓN DE EJEMPLARES DE PEJELAGARTOS *A. TROPICUS*

Los juveniles de pejelagarto (*A. tropicus*) se obtuvieron del lote de reproductores del CEICO. Se establecieron desoves simultáneos bajo condiciones controladas en el laboratorio. El proceso del desove se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Méndez *et al.*, (2013).



Figura 2. Lote de reproductores de pejelagartos (*Atractosteus tropicus*) pertenecientes al área de reproducción acuícola del CEICO.

V.2 CUALIDADES DEL ESTUDIO

Para los experimentos se utilizaron N= 270 peces juveniles de pejelagartos (*A. tropicus*), los ejemplares se encontraban clínicamente sanos con un peso promedio de 298.16 ± 82.43 g y una longitud total de 37.53 ± 3.19 cm, los organismos fueron mantenidos en una tina de fibra de vidrio de 5 m de diámetro y 1.20 de altura, llenado a un 70% de su capacidad; y se mantuvieron a temperatura ambiente, los peces fueron alimentados con un pellet de la marca GROW FISH con 25% de proteína y 5% de grasas.

El fármaco experimental utilizado en las pruebas experimentales fue el metanosulfonato de tricaína MS-222 (Western ® Chemical, Inc.), en polvo, en un frasco de 100 gramos de pureza (Serrano-Martínez, 2013). Los organismos fueron expuestos a la solución experimental en cinco tinas individuales de 15 cm de diámetro con una capacidad de 16 L, sin embargo, se llenó solamente a un 47% de su capacidad.

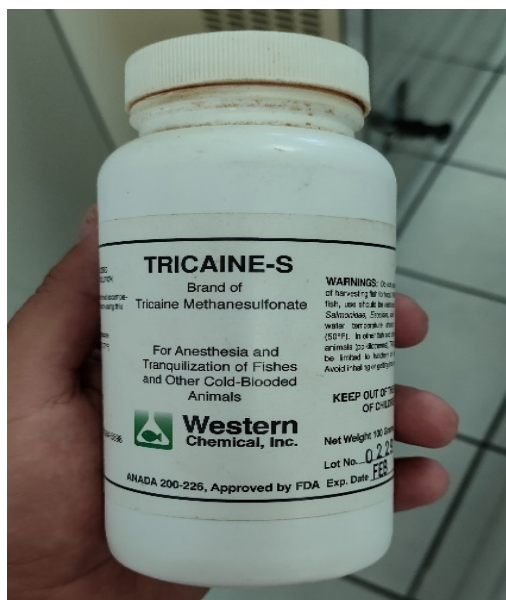


Figura 3. Metanosulfonato de tricaína de 100 g y 100% pura.

Para evitar irritación branquial, se optó por diluir previamente la dosis pura de anestésico en 250 ml de agua; permitiendo una dilución homogénea aprovechando la fácil degradación del fármaco.

V.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se establecieron tres dosificaciones de MS-222 (1.5, 2.5 y 3.5 mg/l), cada dosis contiene tres replicas con N=30 animales por replica. Para la preparación del anestésico, se hizo una solución madre de 250 ml de agua, combinada con su respectiva dosis, cada tres animales la solución fue renovada. Para el análisis, se cronometraron los tiempos de inducción por cada estadio; los estadios fueron identificados dependiendo de la conducta de los peces de acuerdo a la fase de sedación. El método por inmersión fue el implementado debido a que facilita la mayor absorción branquial del anestésico, método utilizado para cada organismo. El tiempo máximo de inducción fue de 30 min (Hinostroza y Serrano, 2013).



Figura 4. *Atractosteus tropicus* en fase cinco de sedación implementado el método de inmersión (Pérdida total de la respuesta a estímulos, y reflejos, ritmo opercular lento).

V.4 VARIABLES MEDIDAS

De acuerdo a las fases de sedación (Tabla 1) se establecieron las variables que serán analizadas sobre la respuesta de los peces a la exposición de la anestésica: (TI) tiempo de inducción, se refiere al tiempo total en la cual el pez pierde los sentidos (Serrano-Martínez, 2013), (TM) tiempo de manipulación, se

refiere al tiempo en el cual el organismo pierde reflejos, permitiendo la manipulación del mismo, (TR) el tiempo en la que el organismo recupera los sentidos, (TFA) tiempo final de anestesia.

Tabla 1. Descripción de las fases de sedación del anestésico en peces (Summerfelt y Smith, 1990, en Cooke *et al.*, 2004).

Fase	Fase estado de anestesia	Descripción
0	Normal	Reactivo a impulsos
1	Sedación ligera	Perdida de la respuesta a estímulos, normal equilibrio
2	Sedación profunda	Pérdida total de la respuesta a estímulos, ligera disminución del ritmo opercular
3	Pérdida parcial de equilibrio	Nado errático, respuesta solo a estímulos fuertes
4	Pérdida total de equilibrio	Ritmo opercular lento, pérdida total del equilibrio
5	Perdida de reflejos	Pérdida total de la respuesta a estímulos, y reflejos, ritmo opercular lento
6	Colapso medular	Suspensión de movimiento opercular

De acuerdo a las fases de sedación (Tabla 1), la fase cinco es la ideal para ejercer maniobras que puedan generar estrés a los ejemplares, en la que no presentan respuesta motora.

V.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

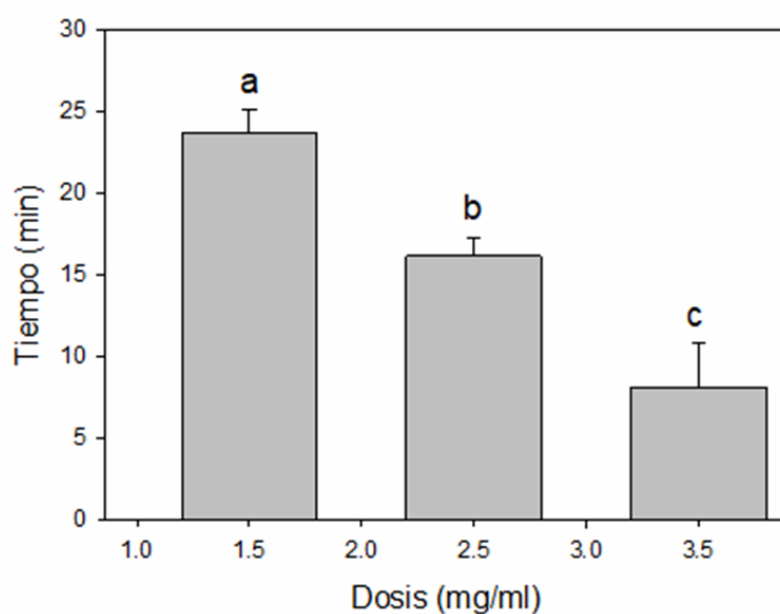
Para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos por efecto de la anestesia (MS-222), primeramente, se realizaron los postulados de homocedasticidad (prueba de Levine's) y normalidad (prueba de Shapiro–Wilk's) al no cumplir con las pruebas antes descritas se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Cuando se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), las medias se les aplicó una prueba de post-hoc de Multiple comparisons mean ranks for all groups (Zar, 1996). Asimismo, se realizó una prueba de coeficiente de correlación r de Pearson entre el peso con TM, TR y TFA (Hernández et al., 2014). Todas las pruebas se realizaron con el software Statistica v7.0 (StatSoft, Tulsa, OK, EE. UU.). Las gráficas fueron generadas con el software Sigma Plot v. 10.0 from Systat Software, Inc., San José, California, USA.

VI. RESULTADOS

VI.1 DETERMINACIÓN DE DOSIS EFECTIVA

Se evaluaron tres concentraciones de metanosulfonato de tricaína (MS-222)- 1.5, 2.5 y 3.5 g/ml en 270 juveniles de pejelagartos (*A. tropicus*), distribuidos en tres replicas por tratamiento (n= 90 por dosis; 30 por replica). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las dosis en cuanto al tiempo para alcanzar la fase de narcosis profunda (Fase 4-5, según Summerfelt y Smith, 1990).

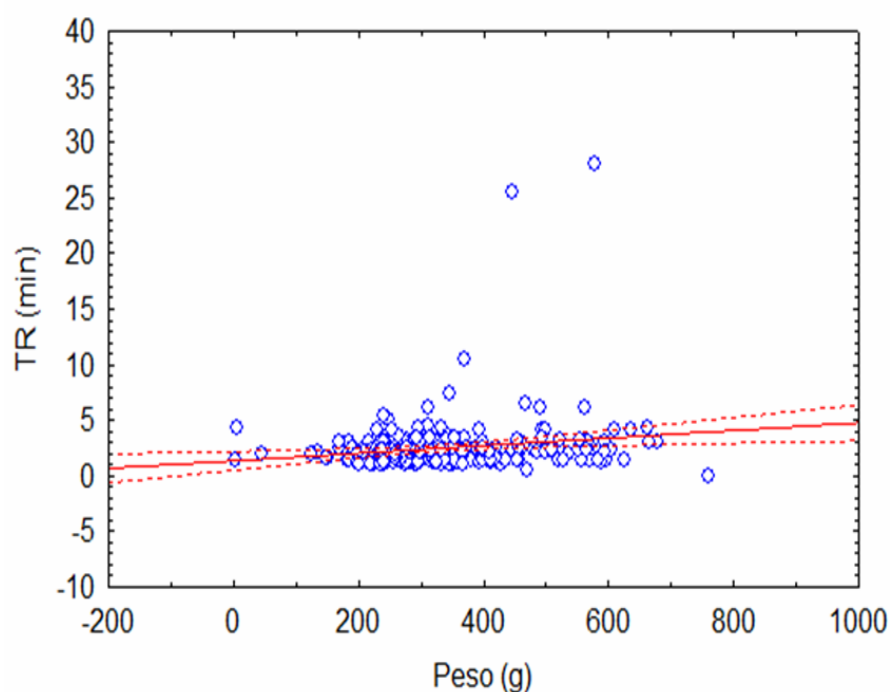
Las dosis de 3.5 g/ml indujo un menor tiempo de inducción anestésica (TFA), con un promedio de 8.13 ± 8.14 min, seguida de la dosis de 2.5 g/ml (16.14 ± 6.01 min) y la de 1.5 g/ml (23.71 ± 7.75 min). Estos resultados indican que concentraciones más elevadas de MS-222 producen una sedación más rápida y efectiva en juveniles de pejelagartos (*A. tropicus*).



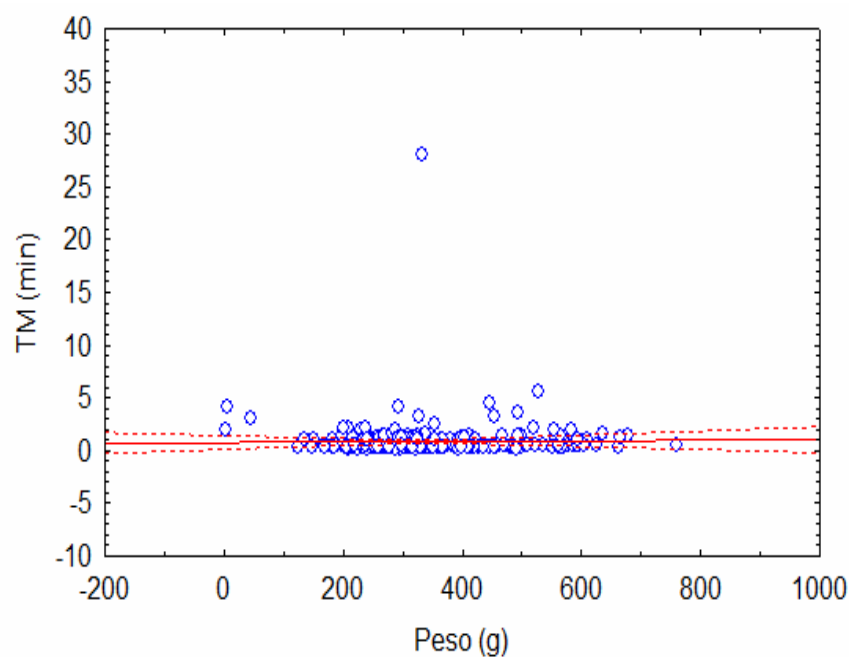
Grafica 1. Tiempos de pérdidas de reflejos en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). (Media $\pm$ desviación estándar, n= 30). Los valores medios en las columnas para cada concentración de anestésico con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

6.2 CORRELACIÓN PESO / TM, TR, TFA

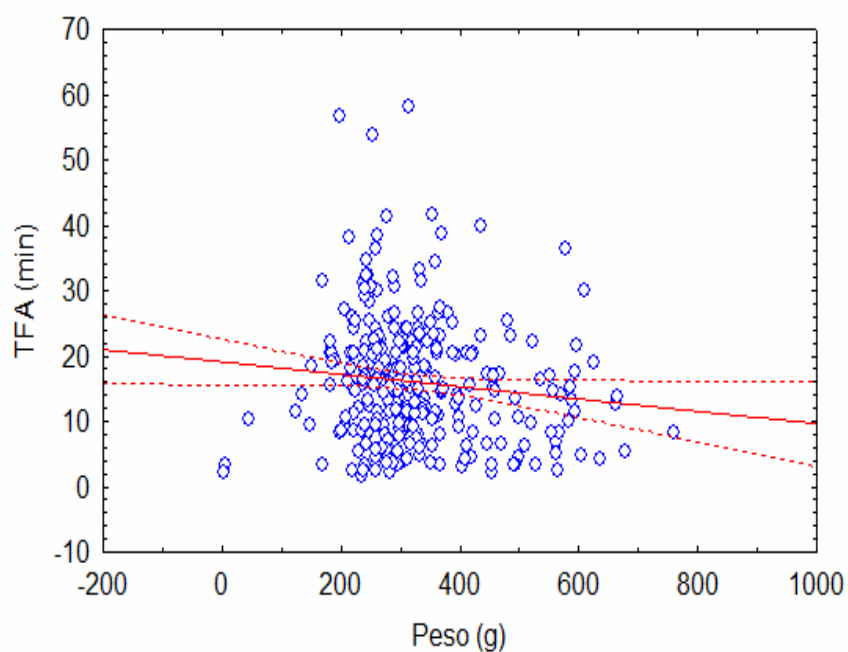
Al realizar el análisis de correlación se presentaron diferencias significativas ($R=0.1691$, $p=0.005$) en el grado de asociación entre el peso y TR, por lo tanto, presenta una correlación positiva muy débil, lo que indica que a mayor es el peso del pejelagarto mayor será el tiempo de recuperación (Grafica 2). En lo que respecta a TM ($R=0.0174$, $p=0.775$), no presento correlación alguna entre las variables evaluadas (Grafica 3). La correlación entre el peso y TFA ($R=-0.1152$, $p=0.058$) al no presentar diferencias significativas, se observa una tendencia a una correlación negativa, lo que indica que a mayor peso de los peces menor será el tiempo de manipulación (Grafica 4).



Grafica 2. Correlación de peso vs TR en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222).



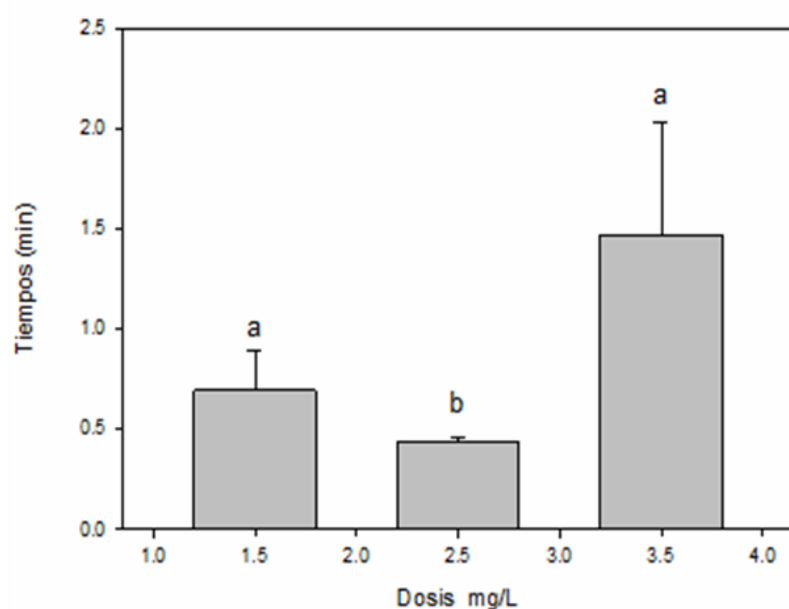
Grafica 3. Correlación de peso vs TM en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222).



Grafica 4. Correlación de peso vs TFA en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222).

6.3 TIEMPO DE MANIPULACIÓN

Se compararon los tiempos de manipulación de los juveniles de pejelagartos (*A. tropicus*) los resultados demostraron tener diferencias significativas ($p=0.0000 < 0.05$); estableciendo que el tiempo de manipulación más prolongado corresponde a la dosificación de 3.5 g/ml de la anestesia de MS-222, con un periodo de tiempo de 1.48 ± 3 min. Permitiendo ejercer intervenciones de bajo riesgo a los ejemplares en tiempos de 1.47 ± 2.49 min (Grafica 5), calculando el promedio a partir de los tiempos registrados.



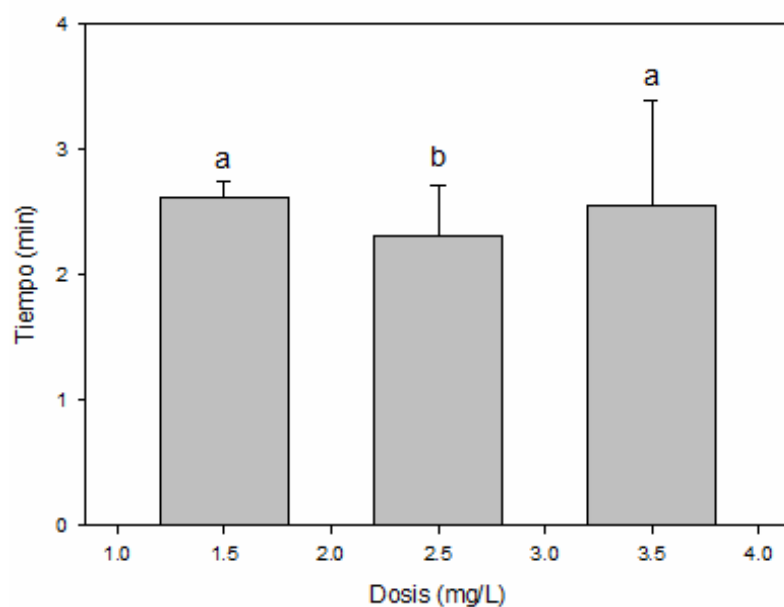
Grafica 5. Tiempo de manipulación en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). (Media $\pm$ desviación estándar, $n = 30$). Los valores medios en las columnas para cada concentración de anestésico con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0.05$).



Figura 5. Procedimiento de manipulación de pejelagartos (*A. tropicus*). A) Obtención de longitud total, B) obtención de pesaje

6.4 TIEMPO DE RECUPERACIÓN

Los pejelagartos (*A. tropicus*) presentaron menor tiempo de recuperación con la dosis de 2.5 g/ml de anestesia de MS-222 con tiempos de recuperación de 2.31 ± 2.83 min, siendo significativamente diferente ($P < 0.05$) que el resto de los tratamientos de 1.5 g/ml con tiempo de recuperación de 2.62 ± 1.45 min; junto con la dosis de 3.5 g/ml presentando un tiempo de recuperación de 2.55 ± 2.67 min (Grafica 6).



Grafica 6. Tiempo de recuperación en pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a diferentes concentraciones de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222). (Media $\pm$ desviación estándar, $n = 30$). Los valores medios en las columnas para cada concentración de anestésico con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0.05$).



Figura 6. Se muestra el proceso de recuperación de los peces, con ayuda de aireación y supervisión constante.



Figura 7. Organismo recuperado post anestesia.

6.5 Supervivencia

Los pejelagartos (*A. tropicus*) expuestos a las concentraciones 1.5, 2.5 y 3.5 g/ml de anestesia metanosulfonato de tricaína (MS-222) no se registró ningún ejemplar muerto por lo que obtuvo un 100% de supervivencia durante todo el tiempo que se llevó a cabo los experimentos.

VII. DISCUSION

Para esta investigación se utilizaron 270 peces de pejelagartos (*A. tropicus*), clínicamente sanos con un peso promedio de 298.16 ± 82.43 g y una longitud total de 37.53 ± 3.19 cm; la metodología consistió en la división de grupos por dosis de anestesia (1.5, 2.5 y 3.5 g/ml), las dosificaciones se diluyeron en concentraciones madre lo cual permite reducir la acidificación del agua y además de la implementación de agua a temperatura ambiente en promedio de 28° C dentro del laboratorio experimental y 31° C fuera del mismo en la tinas de recuperación.

Con la finalidad de obtener la dosis letal media que pueden soportar los peces, así como la cronometración de los tiempos de inducción; los resultados mostraron diferencias entre dosis. En relación a lo anterior los tiempos obtenidos al llegar a la fase cuatro de sedación (pérdida total del equilibrio (tabla 1) fase clave para la manipulación segura de los peces, fue de $8.13 \pm$

8.14 min en concentraciones de 1.5 g/ml, 23.71 ± 7.75 min en concentraciones de 2.5 g/ml y 16.14 ± 6.01 min, pero concentraciones más altas correspondientes a 3.5 g/ml.

Los tiempos de inducción más cortos en dosis más altas (3.5 g/ml) y tiempos de manipulación relativamente prolongados; existen varios factores por los cuales las concentraciones más altas de MS-222 tienen mayor efectividad para disminuir la respuesta nerviosa a estímulos fuertes; la explicación más lógica, habla que esto se deriva a que las concentraciones altas permiten una mayor absorción del fármaco a través de las branquias y piel, alcanzando así niveles terapéuticos en el torrente sanguíneo de los peces en menor tiempo (Grush *et al.*, 2004).

Por otra parte, diversos investigadores han observado las mismas respuestas en otras especies como es el caso de Carpa común (*Cyprinus carpio*), utilizando dosis máximas de 200 mg/L de MS-222, estas ayudan a someter a los organismos a una narcosis profunda, ayudando a realizar procedimientos más invasivos (cirugías, toma de muestra hematológica), (Coyle *et al.*, 2004).

Sin embargo, la efectividad de las dosis puede variar dependiendo de la especie y tamaño de las mismas, un ejemplo de esto es la alta sensibilidad de los salmónidos como la alta resistencia de los bagres (Waters y Kwak, 2012).

Como expresan Ferrara y Irwin (2009), donde evaluaron la eficacia del MS-222 en la especie (nombre común) *Atractosteus spatula*, utilizando alrededor de 36 peces con longitudes de 50 a 120 cm y un peso promedio de 1.5 a 8 kg; el protocolo estructurado fue con dosis de 80 mg/l, en agua con 25° C y un pH de 7.2. Los tiempos registrados indican una pérdida del equilibrio de 4-6 min, narcosis profunda de 3-5 min, tiempos de manipulación máximo de 10 min y recuperación post anestesia 8-10 min; en el apartado de supervivencia se registran supervivencias del 95% con inmersiones de ≤ 10 min como una disminución de la misma con un 75% en exposiciones > 10 a min.

Este resultado se mantuvo consistentemente en las tres replicas por cada dosis (1.5, 2.5 y 3.5 g/ml), sin observarse mortalidad temprana o tardía asociada al uso del MS-222. Adicionalmente, no se detectaron dentro de las primeras dos horas posteriores a la recuperación, repuestas alimentarias negativas, a las 12 horas post-exposición, aceptando el alimento comercial sin resistencia y no se observaron conductas anómalas como nado errático, letargo prolongado, o pérdida de equilibrio beyond el periodo de recuperación inicial. La robustez fisiológica observada en Pejelagarto (*A. tropicus*) incluso ante las dosis elevadas de MS-222 (3.5 g/ml) tienen una posible atribución a su capacidad de respiración aérea facultativa, que reduce el riesgo de hipoxia durante la sedación, su metabolismo ectotérmico y bajo, que posiblemente retrase la absorción y metabolización del anestésico evitando picos tóxicos y la dilución previa del MS-222 en solución madre, que minimizo la acidificación del agua como la irritación branquial. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Ferrara e Irwin (2009) en Pez caimán (*A. spatula*), donde también se obtuvo alta supervivencia (>95%) con MS-222, aunque en dosis menores (80-100 mg/l). No obstante, contrastan con estudios en teleósteos más sensibles como salmónidos o algunas especies de siluriformes en donde dosis similares han inducido mortalidades significativas (Hajek *et al.*, 2017; Collymore *et al.*, 2015).

Scarnecchia y Stewart (2020), indican que la benzocaína en dosis de 40 mg/l, temperatura del agua de 15° C y 24 h de ayuno previo en nombre común (*Lepisosteus osseus*) permiten tiempos de: 3-5 min en tiempos de inducción, 4-6 min posteriormente a la inducción entrando a la fase de analgesia; el tiempo de manipulación se cronometro en 7 min además de tener recuperaciones de 6-9 min.

De acuerdo con el estudio de (Sneddon, 2012), resalta una serie de factores que llegan a influir de manera significativa en la eficacia de la anestesia en procedimientos clínicos y de investigación:

Temperatura: es un factor fundamental que puede influir en los tiempos de inducción de la anestesia, respuestas hormonales y recuperación post - anestesia, además que un aumento de temperatura ayuda a una mejor difusión branquial del anestésico aumentando así su efectividad, en caso contrario las bajas temperaturas provocan una depuración de la anestesia más lenta lo cual retarda los efectos de la misma (Holloway et al., 2004).

PH: afecta a la velocidad de inducción anestésica, recuperación de los organismos post anestesia y también a la toxicidad aguda en diferentes condiciones (Harless y Harshbarger, 2015).

Oxígeno disuelto: Ayuda a reducir el estrés metabólico, además de aumentar la precisión de las dosificaciones de anestesia, rangos bajos de OD produce un aumento en la toxicidad de los anestésicos aumentando la ventilación branquial de los peces causando hipoxia, riesgo de depresión respiratoria severa que lleva a mortalidad (Neiffer y Stamper, 2009).

Especie: La especie puede provocar modificaciones a los protocolos previamente establecidos, debido diferencia entre ellas, desde: Tasa metabólica (en las que se pueden catalogar dos tipos: peces activos y peces sedentarios), morfología branquial y cutánea e historia de estrés de la especie (Weber *et al.*, 2009).

Tamaño: la masa corporal es un factor crítico que determina la efectividad de la anestesia como alta sensibilidad en peces pequeños, así como ajustes con peces grandes que general una mayor tolerancia a la misma (Bowser y Falls, 20015).

Edad: La edad de la especie es fundamental ya que afecta significativamente la respuesta anestésica debido a cambios en el metabolismo, desarrollo branquial y tolerancia al estrés (Zahl *et al.*, 2012).

Estado de salud: Determina la respuesta de los peces a agentes farmacológicos, afectando en la seguridad como eficacia del procedimiento; algunos factores que pueden modificar son: el aumento a la sensibilidad, tiempos de recuperación más prolongados, aumento a la mortalidad post anestesia, aumento a la absorción anestésica y mayor riesgo de hipoxia durante el procedimiento (Harms *et al.*, 2005).

Tipo de anestésico: Este debe basarse en el balance, eficacia, seguridad para el pez como el cumplimiento de las normativas obligatorias (Stoskopf, 1993).

Propiedades químicas: Las propiedades del anestésico son determinadas por su estructura molecular de las mismas, así como solubilidad en agua, pH de ionización como liposolubilidad, estos rasgos influyen en la eficacia, toxicidad y metabolismo (Gilderhus y Marking, 1987).

Dentro de este análisis se consideraron las cualidades biológicas de la especie, la más importante; la capacidad de la misma de poder absorber oxígeno atmosférico gracias a adaptaciones de una vejiga natatoria vascularizada (Miller *et al.*, 2005). En este aspecto, no se encontraron trabajos de investigación que hablen sobre, sin embargo, en la investigación realizada, es un factor que influye directamente cuando se busca una narcosis profunda de la especie.

Bajo la realización de este ensayo, la supervivencia no se vio afectada por ningún factor o variable, obteniendo cero mortalidades en el experimento. Por otro lado, en contraste con (Weber *et al.*, 2009), la supervivencia reportada es de 95%, (Bowker *et al.*, 2016) reporta un 90% de supervivencia, sin embargo (Hajeck *et al.*, 2017) reporta supervivencias bajas del 65% y (Collymore *et al.*, 2015) comunica un 60% de supervivencia.

Estas diferencias en tasas de sobrevivencia se derivan principalmente a las cualidades biológicas de las especies de estudio, tipo de fármaco, protocolos de anestesia; por estas razones no existen protocolos universales

para la analgesia de organismos de agua dulce o marina, obligando a modificar las metodologías dependiendo de estas necesidades antes mencionadas, así como los antecedentes anestésicos por especie (si es que las hay); de esta se puede simplificar en cuatro factores: factores intrínsecos (fisiología de la especie y edad), factores extrínsecos (calidad del agua y manejo) y propiedades químicas del fármaco.

VII. CONCLUSIONES

La dosis de anestesia de (3.5 g/ml) es la dosis eficiente para la especie; permitiendo inducciones en promedio de 2 ± 1 min.

No existe correlación significativa entre el peso de los ejemplares y el tiempo final de anestesia.

La mejor dosis para manipular los ejemplares de pejelagartos (*A. tropicus*) se registró 3.5 g/ml de MS 222, obteniendo tiempos promedios de 1.3 min de manejo.

La mejor dosis empleada para los tiempos de recuperación fue de 1.5 g/ml con un tiempo de 2 min.

Se obtuvo un 100% de supervivencia, además de no tener efectos adversos post anestesia, los ejemplares mantuvieron buen apetito y nado normal durante los 21 días de recuperación.

La razón por la cual se realizó este ensayo, es desarrollar protocolos anestésicos para esta especie; debido a la poca información protocolos de anestesia en comparación con otros grupos de peces como salmones, tilapias o carpas y especies utilizados de forma ornamental como los peces koi y bettas; por otro lado, se tiene que destacar que las características particulares de los pejelagartos demandan requerimientos muy diferentes las especie antes mencionadas.

El uso del MS-222 es una buena selección de anestésico, gracias a sus cortos tiempos de inducción, alta solubilidad, mayores tasas de supervivencia y absorción. La metodología implementada es basada en literatura especializada previamente aplicada en otras investigaciones; sin embargo, adaptada para la especie.

VIII. REFERENCIAS

- Aguilar-Jiménez, R., Hernández-Franyutti, A., Uribe, M.C. y Contreras-Sánchez, W.M. 2020. Handling techniques for tropical gar (*Atractosteus tropicus*) in aquaculture. *Aquaculture Research*, 51(8), pp. 3210-3218.
- Aluja, de A., S. 2011. Bienestar animal en la enseñanza de Medicina Veterinaria y Zootecnia: ¿Por qué y para qué? *Veterinaria México*, 42(2), pp. 137–147.
- Arzuffi-Barrera, R. y Guarneros-Bañuelos, E. 1993. Efecto del pentobarbital sódico sobre el comportamiento agonista del pez *Betta splendens*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 38(1–4), pp. 161–166.
- Ashley, P.J. 2007. Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3-4), pp. 199-235.
- Ayala Soldado, N. 2015. Estudio comparativo de los efectos de los anestésicos Metasulfonato de Tricaína (MS-222) y Eugenol para su uso en el pez cebra (*Danio rerio*) como modelo experimental*. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba.
- Barton, B.A. 2002. Stress in fishes: A diversity of responses. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), pp. 517-525.

- Becker, D.E. y Reed, K.L. 2012. Essentials of local anesthetic pharmacology. *Anesthesia Progress*, 59(3), pp. 90–102.
- Besson, M., Komen, H., Aubin, J., de Boer, I.J.M., Poelman, M., Quillet, E., Vancoillie, C., Vandeputte, M. y van Arendonk, J.A.M. 2020. Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), pp. 1051-1072.
- Bittencourt, L.S., Silva, B.A., Sena, A.C., Oliveira, R.S., Inoue, L.A.K. y Affonso, E.G. 2021. Herbal anesthetics in fish: A review of essential oils. *Aquaculture Reports*, 20, p. 100676.
- Blázquez Martínez, J.M. 2006. La pesca en la antigüedad y sus factores económicos. En *Historia de la pesca en el ámbito del Estrecho. I Conferencia Internacional*, pp. 21-34.
- Bowker, J.D., Carty, D.G. y Trushenski, J.T. 2016. Acute toxicity of tricaine methanesulfonate (MS-222) to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fingerlings. *Journal of Aquatic Animal Health*, 27(3), pp. 170–173.
- Bowker, J.D., Carty, D.G. y Trushenski, J.T. 2016. Efficacy and safety of benzocaine for anesthesia of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *North American Journal of Aquaculture*, 78(3), pp. 237-243.
- Broom, D.M. 1986. Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142(6), pp. 524–526.
- Broom, D.M. 2011. A history of animal welfare science. *Acta Biotheoretica*, 59(2), pp. 121–137.
- Bugman, A. M., Langer, P. T., Hadzima, E., Rivas, A. E., y Mitchell, M. A. 2016. Evaluation of the anesthetic efficacy of alfaxalone in oscar fish (*Astronotus ocellatus*). *American Journal of Veterinary Research*, 77(3), 239–245.
- Burggren, W. W., Cameron, J. N. 1980. *Physiological Zoology*, 53(1), 1-12.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2024. *Ley Federal de Sanidad Animal*.
- Canadian Council on Animal Care (CCAC). 2016. *Guidelines on: The care and use of fish in research, teaching and testing*.
- Carrillo Longoria, J. A., Sánchez Ávila, D., Hernández Hernández, L. H., Ángeles López, O., y Fernández Araiza, M. A. 2018. Reemplazo de harina de pescado con gluten de maíz en dietas de juveniles de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): efectos en crecimiento y otros parámetros fisiológicos. *Hidrobiológica*, 28(3) 257 - 263.
- Carter, K. M., Woodley, C. M., y Brown, R. S. 2011. A review of tricaine methanesulfonate for anesthesia of fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(1), 51-59.
- Chaieb, K., et al. 2007. The pharmacological properties of clove oil. *Phytotherapy Research*, 21 (6), 501–506.
- Collymore, C., Tolwani, A., & Rasmussen, S. 2015. Efficacy and safety of 5 anesthetics in adult zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 54(1), 61-66.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2020. *Plan Nacional de Desarrollo Acuícola 2020–2024*.

- CONAPESCA. 2019. Acuacultura en México: Logros y perspectivas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- CONAPESCA. 2020. Protocolos para el manejo de peces nativos. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Congreso de la Ciudad de México. 2024. Ley de Protección y Bienestar de los Animales de la Ciudad de México.
- Congreso del Estado de Chiapas. 1995. Ley de Protección para la Fauna en el Estado de Chiapas. Periódico Oficial del Estado de Chiapas, 5 de julio de 1995.
- Congreso del Estado de Chiapas. 2014. Ley de Protección para la Fauna en el Estado de Chiapas. Chiapas. Recuperado de
- Congreso del Estado de Puebla. 2024. Ley de Bienestar Animal del Estado de Puebla.
- Contreras-MacBeath, T., & Mejía-Mojica, H. 2018. Anesthetic responses in tropical gar (*Atractosteus tropicus*) and spotted gar (*Lepisosteus oculatus*). *Aquaculture Research*, 49(3), 1234-1242.
- Coyle, S., Durborow, R., Tidwell, J. Anesthetics in aquaculture 2004. Southern Regional Aquaculture Center Publication N° 3900. Texas, USA. 6 pp.
- Cuéllar-Lugo, M. B., Asiain-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J. P., Reta-Mendiola, J. L., y Gallardo-López, F. 2018. Evolución normativa e institucional de la acuacultura en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15:(4), 541-564.
- Cuéllar-Lugo, M.B., Asiain-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J.P., Reta-Mendiola, J.L. y Gallardo-López, F. 2018. Evolución normativa e institucional de la acuacultura en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(4), pp. 541-564.
- Desvignes, T., Carey, A., Braasch, I., Enright, T. y Postlethwait, J.H. 2018. Skeletal development in the heterocercal caudal fin of spotted gar (*Lepisosteus oculatus*) and other *Lepisosteiformes*. *Developmental Dynamics*, 247(5), pp. 724–740.
- Desvignes, T., Carey, A., Braasch, I., Enright, T., & Postlethwait, J. H. 2018. Skeletal development in the heterocercal caudal fin of spotted gar (*Lepisosteus oculatus*) and other *Lepisosteiformes*. *Developmental Dynamics*, 247(5), 724–740.}
- DOF. (1984). Decreto de creación del Instituto Nacional de Pesca. Diario Oficial de la Federación.
- DOF. 1984. Decreto de creación del Instituto Nacional de Pesca. Diario Oficial de la Federación.
- Domínguez-López, D., et al. 2022. Optimizing anesthesia protocols for larval and juvenile *Atractosteus tropicus***: MS-222 vs. eugenol*. *Aquaculture Reports*, 25, 101240.
- Domínguez-López, D., Martínez-Rivera, J., Álvarez-González, C.A. y Contreras-Sánchez, W.M. 2022. Optimizing anesthesia protocols for larval and juvenile *Atractosteus tropicus*: MS-222 vs. eugenol. *Aquaculture Reports*, 25, p. 101240.
- EFSA. 2018. Safety of eugenol as a feed additive for fish. *EFSA Journal*, 16 (12), e05521.

- EFSA. 2018. Safety of eugenol as a feed additive for fish. EFSA Journal, 16(12), p. e05521.
- Espinoza Ortiz, A. A., Pernas Álvarez, I. A., & González Maldonado, R. de L. 2018. *Consideraciones teórico metodológicas y prácticas acerca del estrés. Humanidades Médicas*, 18(3), 697–717.
- Espinoza Ortiz, A.A., Pernas Álvarez, I.A. y González Maldonado, R. de L. 2018. Consideraciones teórico metodológicas y prácticas acerca del estrés. *Humanidades Médicas*, 18(3), pp. 697–717.
- Espinoza Ortiz, L. 2015. Consideraciones teórico metodológicas y prácticas acerca del estrés. *Humanidades Médicas*, 15(1).
- Espinoza Ortiz, L. 2015. Consideraciones teórico metodológicas y prácticas acerca del estrés. *Humanidades Médicas*, 15(1).
- European Medicines Agency (EMA). 2018. Committee for veterinary medicinal products: Tricaine mesilate summary report.
- European Medicines Agency (EMA). 2018. Committee for veterinary medicinal products: Tricaine mesilate summary report.
- Ferrara, A. M., & Irwin, E. R. 2001. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 11(2), 113-128.
- Ferrara, A.M. y Irwin, E.R. 2001. Gar biology and culture: Status and prospects. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11(2), pp. 113-128.
- Ferrara, A.M., Moravek, D.B., Wilhite, R.T. y Williams, J.D. 2019. The biology of gars: Insights into ancient fishes. *Journal of Experimental Zoology*, 331(5), pp. 283-301.
- Ferrara, A.M., Moravek, D.B., Wilhite, R.T. y Williams, J.D. 2019. The biology of gars: Insights into ancient fishes. *Journal of Experimental Zoology*, 331(5), pp. 283-301.
- Food and Drug Administration (FDA) (2020) Approved aquaculture drugs.
- Food and Drug Administration (FDA). 2020. Approved aquaculture drugs.
- Fraser, D. 2008. Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1), S1.
- Fraser, D. 2008. Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1), S1.
- Gilderhus, P. A., & Marking, L. L. 1987. Comparative efficacy of benzocaine in fish anesthesia. *The Progressive Fish-Culturist*, 49 (2), 143–146.
- Gilderhus, P.A. y Marking, L.L. 1987. Comparative efficacy of benzocaine in fish anesthesia. *The Progressive Fish-Culturist*, 49(2), pp. 143–146.
- Global Seafood Alliance. 2022. Los baños de inmersión con eugenol pueden mitigar las respuestas de estrés por el transporte en los camarones de cultivo. Global Seafood Alliance Advocate.
- Global Seafood Alliance. 2022. Los baños de inmersión con eugenol pueden mitigar las respuestas de estrés por el transporte en los camarones de cultivo. Global Seafood Alliance Advocate.
- Góngora, A. y Cardoso, J. 2002. Mecanismos del estrés y efectos sobre la reproducción animal. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 49(2), pp. 65–70.

- Góngora, A., & Cardoso, J. 2002. Mecanismos del estrés y efectos sobre la reproducción animal. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 49(2): 65–70.
- González Echegaray, J. (1991) El Paleolítico. Madrid: Historia de España de Menéndez Pidal. Espasa-Calpe, pp. 89-147.
- González Echegaray, J. 1991. El Paleolítico. Madrid: Historia de España de Menéndez Pidal. Espasa-Calpe.
- González Mantilla, J.F. (2024) Sedación y anestesia en peces: aplicaciones médicas y quirúrgicas. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, pp. 87-112.
- González Mantilla, J.F. 2024. Sedación y anestesia en peces: aplicaciones médicas y quirúrgicas. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- González, C. A., Cruz, J., & Mendoza Alfaro, R. 2015. Physiological response of alligator gar juveniles (*Atractosteus spatula*) exposed to sub-lethal doses of pollutants. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(4), 1015–1027.
- González, C.A., Cruz, J. y Mendoza Alfaro, R. 2015. Physiological response of alligator gar juveniles (*Atractosteus spatula*) exposed to sub-lethal doses of pollutants. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(4), pp. 1015–1027.
- González, J. F., Shaikh, B., Reimschuessel, R., & Kane, A. S. 2009. In vitro kinetics of hepatic albendazole sulfoxidation in channel catfish (*Ictalurus punctatus*), tilapia (*Oreochromis* sp.), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and induction of EROD activity in ABZ-dosed channel catfish. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 32(5), 456–464.
- González, J.F., Shaikh, B., Reimschuessel, R. y Kane, A.S. 2009. In vitro kinetics of hepatic albendazole sulfoxidation in channel catfish (*Ictalurus punctatus*), tilapia (*Oreochromis* sp.), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and induction of EROD activity in ABZ-dosed channel catfish. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 32(5), pp. 456–464.
- González, M. y López, J. 2004. Anestésicos locales en odontoestomatología. *RCOE*, 9(5), pp. 593–598.
- González, M., y López, J. 2004. Anestésicos locales en odontoestomatología. *RCOE*, 9(5), 593–598.
- González, R. y Espinosa, M. 2004. Diagnóstico del estrés en peces. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 39(2), pp. 123–132.
- González, R., & Espinosa, M. 2004. Diagnóstico del estrés en peces. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 39(2): pp.123–132.
- Graham, J. B. 1997. Air-breathing fishes. Academic Press. Cap. 5, pp. 110-115.
- Graham, J. B. 2019. Air-breathing fishes: Evolution and environmental adaptation. Academic Press.
- Graham, J.B. 1997. Air-breathing fishes. Academic Press. Cap. 5, pp. 110-115.
- Graham, J.B. 2019. Air-breathing fishes: Evolution and environmental adaptation. Academic Press.

- Grande, L. 2010. An empirical synthetic pattern study of gars (Lepisosteiformes) and closely related species. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(Suppl. 2), pp. 1-87.
- Grande, L. 2010. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(Suppl. 2), 1-87.
- Grandin, T. 2017. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Veterinaria México*, 4(1), 1–10.
- Grandin, T. 2017. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Veterinaria México*, 4(1), pp. 1–10.
- Grush, J., Noakes, D. L. G., & Moccia, R. D. 2004. The efficacy of clove oil as an anesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 35 (4), 391–397.
- Grush, J., Noakes, D.L.G. y Moccia, R.D. 2004. The efficacy of clove oil as an anesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 35(4), pp. 391–397.
- Gutiérrez Yurrita, P.J. 1999. La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial. *Biología Informa*, 29(10), pp. 2–6.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (1998). La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial. *Arqueología*, (19), 44–49.
- GutiérrezYurrita, P. J. 1999. *La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial. Biología Informa*, 29(10), 2–6
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. 2005. La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J. 1998. La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial. *Arqueología*, 19, pp. 44–49.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J. 2005. La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial.
- H. Congreso del Estado de Nuevo León. 2020. Ley de Protección y Bienestar Animal para la Sustentabilidad del Estado de Nuevo León.
- H. Congreso del Estado de Nuevo León. 2020. Ley de Protección y Bienestar Animal para la Sustentabilidad del Estado de Nuevo León.
- Hajek, G.J., Kania, P.W. y Buchmann, K. 2017. High mortality in Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to clove oil anesthesia under stress conditions. *Journal of Fish Diseases*, 40(8), pp. 1041-1050.
- Harms, C.A. 2005. Anesthesia in fish. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 8(1), pp. 69–82.
- Harms, C.A., Lewbart, G.A., Swanson, C.R., Kishimori, J.M. y Boylan, S.M. 2005. Behavioral and clinical pathology changes in koi carp (*Cyprinus carpio*) subjected to anesthesia and surgery with and without intra-operative analgesics. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 226(6), pp. 935-939.
- Henao Zapata, J.A., Herrera Echeverry, C., Montealegre Arturo, J.S., Ordóñez Lizarralde, R.A. y Valbuena Pabón, J.C. 2022. Inducción anestésica: propofol, ketamina o ketofol. ¿Cuándo utilizarlos? *Universitas Médica*, 63(4), pp. 1–12.
- Hikasa, Y., Takase, K., Ogasawara, T. y Ogasawara, S. 1986. Anesthesia and recovery with tricaine methanesulfonate, eugenol and thiopental sodium

- in the carp, *Cyprinus carpio*. The Japanese Journal of Veterinary Science, 48(2), pp. 341–351.
- Hikasa, Y., Takase, K., Ogasawara, T., y Ogasawara, S. 1986. Anesthesia and recovery with tricaine methanesulfonate, eugenol and thiopental sodium in the carp, *Cyprinus carpio*. The Japanese Journal of Veterinary Science, 48(2), 341–351.
- Hinostroza M., E. y Serrano Martínez, E. 2013. Efecto anestésico del metasulfonato de tricaína en paiches (*Arapaima gigas*) juveniles. Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú, 24(4), pp. 451–458.
- Hinostroza M., E., y SerranoMartínez, E. 2013. *Efecto anestésico del metasulfonato de tricaína en paiches (Arapaima gigas) juveniles*. Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú, 24(4), 451–458.
- Hoseini, S. M., et al. 2019. Effects of tricaine methanesulfonate (MS-222) on sedation and responses of European carp (*Cyprinus carpio*) to anesthesia. Aquaculture, 500, 1–6.
- Hoseini, S. M., et al. 2019. Eugenol as an anesthetic for Nile tilapia. Aquaculture, 511, 634210.
- Hoseini, S.M., Hosseini, S.A., Nodeh, A.J. y Ghelichpour, M. 2019. Effects of tricaine methanesulfonate (MS-222) on sedation and responses of European carp (*Cyprinus carpio*) to anesthesia. Aquaculture, 500, pp. 1–6.
- Hoseini, S.M., Mirghaed, A.T., Ghelichpour, M. y Yousefi, M. 2019. Eugenol as an anesthetic for Nile tilapia. Aquaculture, 511, p. 634210.
- Hseu, J. R., Yeh, S. L., Chu, Y. T., y Ting, Y. Y. 1998. Comparison of efficacy of five anesthetics in goldlined sea bream (*Sparus sarba*). Acta Zoologica Taiwanica, 9(1), 11–18.
- Hseu, J.R., Yeh, S.L., Chu, Y.T. y Ting, Y.Y. 1998. Comparison of efficacy of five anesthetics in goldlined sea bream (*Sparus sarba*). Acta Zoologica Taiwanica, 9(1), pp. 11–18.
- Hughes, B. O. 1976. Behaviour as an index of welfare. En Proceedings of the 5th European Poultry Conference (pp. 1005–1018). World's Poultry Science Association.
- Hughes, B.O. 1976. Behaviour as an index of welfare. En Proceedings of the 5th European Poultry Conference, pp. 1005–1018. World's Poultry Science Association.
- Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P., y Turnbull, J. F. 2006. Current issues in fish welfare. Journal of Fish Biology, 68(2), 332–372.
- Huntingford, F.A., Adams, C., Braithwaite, V.A., Kadri, S., Pottinger, T.G., Sandøe, P. y Turnbull, J.F. 2006. Current issues in fish welfare. Journal of Fish Biology, 68(2), pp. 332–372.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S. y Eliassen, R.A. 2003 Efficacy of eugenol in marine fish. Aquaculture Research, 34(11), pp. 891–897.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S. y Eliassen, R.A. 2003. Efficacy of eugenol in marine fish. Aquaculture Research, 34(11), pp. 891–897.

- Jar, A. M. 2014. Bienestar animal y el uso de animales de laboratorio en la experimentación científica. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(2), 77–79.
- Jar, A.M. 2014. Bienestar animal y el uso de animales de laboratorio en la experimentación científica. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(2), pp. 77–79.
- Jerez Cepa, I. y Mancera Romero, J.M. 2015. Efecto del anestésico MS-222 (tricaína metanosulfonato) sobre el sistema del estrés en juveniles de dorada (*Sparus aurata*). *Revista de Acuicultura*, 12(3), pp. 45–52.
- Jerez-Cepa, I., Fernández-Castro, M., Del Santo O'Neill, T. J., y Mancera, J. M. 2016. Efecto del anestésico MS-222 (tricaína metanosulfonato) sobre el sistema del estrés en juveniles de dorada (*Sparus aurata*). En *II Simposio Científico de Alumnos de la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales SACMA 2016*. Universidad de Cádiz.
- Keene, J.L., Noakes, D.L.G., Moccia, R.D. y Soto, C.G. (1998) Benzocaine efficacy and safety in rainbow trout. *Journal of Aquatic Animal Health*, 10(1), pp. 42-57.
- King, S. M., y Stein, J. A. 2020. Effective anesthetic dosage and recovery from specialized surgical methods in shortnose gar (*Lepisosteus platostomus*). *North American Journal of Fisheries Management*, 40(6), 1486–1498.
- utjan Milthom Aquahoy. 2018. Investigadores proveen información sobre la dosis óptima y efectos del anestésico en la fisiología de los peces.
- Martínez-Rivera, J., Domínguez-López, D., Álvarez-González, C.A. y Contreras-Sánchez, W.M. 2020 Environmental and operational challenges of MS-222 in tropical fish aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture*, 32(4), pp. 321-335.
- Matthews, M. y Varga, Z.M. (2012) Effects of water pH on efficacy of tricaine methanesulfonate in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 54(5), pp. 565-569.
- Matthews, M. y Varga, Z.M. 2015. Effects of water pH on efficacy of tricaine methanesulfonate in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 54(5), pp. 565-569.
- McMillan, F. D. 2002. Development of a mental wellness program for animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 220(7), 965–972.
- McMillan, F.D. 2002. Development of a mental wellness program for animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 220(7), pp. 965–972.
- Méndez-Marin, O., Hernández Franyutti, A. A., Álvarez-González, C. A., Uribe, M. C., y Contreras-Sánchez, W. M. 2013. Histology of reproductive cycle of tropical gar *Atractosteus tropicus* (Teleostei: Lepisosteidae) females in Tabasco, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 1–12.
- Méndez-Marin, O., Hernández Franyutti, A.A., Álvarez-González, C.A., Uribe, M.C. y Contreras-Sánchez, W.M. 2013. Histology of reproductive cycle of tropical gar *Atractosteus tropicus* (Teleostei: Lepisosteidae) females in Tabasco, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), pp. 1–12.

- Millán-Ocampo, L., Torres-Cortés, A., Marín-Méndez, G. A., Ramírez-Duart, W., Vásquez-Piñeros, M. A., y Rondón-Barragán, I. S. 2012. Concentración anestésica del eugenol en peces escalares (*Pterophyllum scalare*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 23(2), 171–181.
- Millán-Ocampo, L., Torres-Cortés, A., Marín-Méndez, G.A., Ramírez-Duart, W., Vásquez-Piñeros, M.A. y Rondón-Barragán, I.S. 2012. Concentración anestésica del eugenol en peces escalares (*Pterophyllum scalare*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 23(2), pp. 171–181.
- Miller, R. R., Minckley, W. L., y Norris, S. M. 2005. *Freshwater fishes of Mexico*. University of Chicago Press.
- Miller, R.R., Minckley, W.L. y Norris, S.M. 2005. *Freshwater fishes of Mexico*. University of Chicago Press.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2013. Análisis y evaluación de diferentes métodos de sacrificio de peces.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2013. Análisis y evaluación de diferentes métodos de sacrificio de peces.
- Mora, R. 2006. Pesca y barcas de base monóxila en la prehistoria occidental. *Mayurqa*, 31, 7-22.
- Mora, R. 2006. Pesca y barcas de base monóxila en la prehistoria occidental. *Mayurqa*, 31, pp. 7-22.
- Musk, G. C., Ezzy, B. J., Kenchington, L. M., Hopper, W. A., y Callahan, L. M. 2020. A comparison of buffered tricaine methanesulfonate (MS-222) and isoeugenol anesthesia for caudal fin clipping in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 59(6), 732–736.
- Musk, G.C., Ezzy, B.J., Kenchington, L.M., Hopper, W.A. y Callahan, L.M. 2020. A comparison of buffered tricaine methanesulfonate (MS-222) and isoeugenol anesthesia for caudal fin clipping in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 59(6), pp. 732–736.
- Neiffer, D. L., y Stamper, M. A. 2009. Fish sedation, anesthesia, and analgesia. *ILAR Journal*, 50(4), 343-360.
- Neiffer, D. L., y Stamper, M. A. 2009. Fish sedation, anesthesia, analgesia, and euthanasia: Considerations, methods, and types of drugs. *ILAR Journal*, 50(4), 343–360.
- Neiffer, D. L., y Stamper, M. A. 2009. Fish sedation, anesthesia, and euthanasia: A review. *Journal of Aquatic Animal Health*, 21(1), 1–12.
- Neiffer, D.L. y Stamper, M.A. 2009. Fish sedation, anesthesia, and analgesia. *ILAR Journal*, 50(4), pp. 343-360.
- Nelson, J. S., Grande, T. C., y Wilson, M. V. H. 2016. *Fishes of the World* (5a ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Nelson, J.S., Grande, T.C. y Wilson, M.V.H. 2016. *Fishes of the World* (5th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2024. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024: La transformación azul en acción* (Versión resumida). FAO.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2024. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024: La transformación azul en acción (Versión resumida). FAO.
- Palacios-Mejía, J.D., Álvarez-González, C.A., Contreras-Sánchez, W.M., Martínez-Rivera, J. y Páramo-Delgadillo, S. (2021) Eugenol anesthesia in tropical gar. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), pp. 1450-1465.
- Palacios-Mejía, J.D., Martínez-Rivera, J., Álvarez-González, C.A. y Contreras-Sánchez, W.M. 2021. Eugenol anesthesia in tropical gar. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), pp. 1450–1465.
- Palmer, L. M., y Mensinger, A. F. 2004. Effect of the anesthetic tricaine (MS-222) on nerve activity in the anterior lateral line of the oyster toadfish, *Opsanus tau*. *Journal of Neurophysiology*, 92(2), 1034–1041.
- Palmer, L.M. y Mensinger, A.F. 2004. Effect of the anesthetic tricaine (MS-222) on nerve activity in the anterior lateral line of the oyster toadfish, *Opsanus tau*. *Journal of Neurophysiology*, 92(2), pp. 1034–1041.
- Páramo-Delgadillo, S., Álvarez-González, C.A., Contreras-Sánchez, W.M., Martínez-Rivera, J. y Palacios-Mejía, J.D. 2020. Cultivo de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en el sureste de México: Avances y retos. *Revista AquaTIC*, 54, pp. 45-60.
- Páramo-Delgadillo, S., Martínez-Rivera, J., Álvarez-González, C.A. y Contreras-Sánchez, W.M. 2020. Cultivo de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en el sureste de México: Avances y retos. *Revista AquaTIC*, 54, pp. 45–60.
- Pérez, L. y Ramírez, J. 2005. Respuestas fisiológicas de peces sometidos a estrés. *Revista de Ciencias del Mar*, 30(1), pp. 45–52.
- Pérez, L., y Ramírez, J. 2005. Respuestas fisiológicas de peces sometidos a estrés. *Revista de Ciencias del Mar*, 30(1), 45–52.
- Pillay, T.V.R. 1997. *Aquaculture. Principles and practices*. Fishing news book, Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Pillay, T.V.R. 1997. History of aquaculture. En: *Aquaculture. Principles and practices*. Oxford: Fishing News Books, Blackwell Science, pp. 16-35.
- Piscicultura Eco Sostenible Chireno. (2023). Anestesias para las tilapias. Recuperado el 1 de mayo de 2025.
- Ponce-Palafox, J. 2018. "Acuicultura prehispánica". En: *Historia y desarrollo de la acuicultura en México*. Ciudad de México: Editorial Limusa, pp. 29-62.
- Ponce-Palafox, J., Arredondo-Figueroa, J. L., y Lango-Reynoso, F. 2018. *Historia y desarrollo de la acuicultura en México*. Editorial Limusa.
- Priborsky, J. y Velisek, J. 2018. A review of three commonly used fish anesthetics. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), pp. 177–193.
- Priborsky, J., y Velisek, J. 2018. A review of three commonly used fish anesthetics. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 177–193. *Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 24(4), 451–458.

- Rønnestad, I., Gomes, A.S., Murashita, K., Angotzi, R., Jönsson, E. y Volkoff, H. 2011. Anesthesia and handling stress effects on pigmentation and monoamines in Arctic charr. *Aquaculture*, 350–353, pp. 168–174.
- Rosado, M., Dionicio, J. y Aguirre-Velarde, A. 2017. Evaluación de diferentes concentraciones de triclaína (MS-222) en el transporte de chitas (*Anisotremus scapularis*) juveniles. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(4), pp. 687–697.
- Rosado, M., Dionicio, J., y Aguirre-Velarde, A. 2017. Evaluación de diferentes concentraciones de triclaína (MS-222) en el transporte de chitas (*Anisotremus scapularis*) juveniles. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(4), 687–697.
- SAGARPA. 2020. Programa Nacional de Acuicultura y Pesca. Gobierno de México.
- SAGARPA. 2020. Programa Nacional de Acuicultura y Pesca. Gobierno de México.
- Sánchez-Zamora, C., Martínez-Rivera, J., Álvarez-González, C.A. y Contreras-Sánchez, W.M. 2023. Economic and ecological trade-offs of anesthesia in gar species. *Aquaculture Economics & Management*, 27(1), pp. 45-60.
- Sánchez-Zamora, C., Martínez-Rivera, J., Álvarez-González, C.A. y Contreras-Sánchez, W.M. 2023. Economic and ecological trade-offs of anesthesia in gar species. *Aquaculture Economics & Management*, 27(1), pp. 45-60.
- Schreck, C.B., Contreras-Sánchez, W.M. y Fitzpatrick, M.S. 2016. Stress and fish reproduction: The roles of allostasis and hormesis. *General and Comparative Endocrinology*, 237, pp. 10-21.
- Schreck, C.B., Contreras-Sánchez, W.M. y Fitzpatrick, M.S. 2016. Stress and fish reproduction: The roles of allostasis and hormesis. *General and Comparative Endocrinology*, 237, pp. 10-21.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2021. Fomento al cultivo de pejelagarto en sistemas acuícolas.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2021. Fomento al cultivo de pejelagarto en sistemas acuícolas.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2019. La pesca, una actividad prehistórica primordial en nuestro país.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2019. La pesca, una actividad prehistórica primordial en nuestro país.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SADER-CONACYT). 2019. Proyectos estratégicos para la acuicultura tropical. Informe técnico.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Selye, H. 1950. Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal*, 1(4667), 1383–1392.

- Selye, H. 1950. Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal*, 1(4667), pp. 1383–1392.
- Senado de la República. 2024. Iniciativa que expide la Ley General en Materia de Bienestar, Cuidado y Protección Animal.
- Senado de la República. 2024. Iniciativa que expide la Ley General en Materia de Bienestar, Cuidado y Protección Animal.
- Solis Murgas, L. D., Perez Ribeiro, P. A., Santos Costa, L., Augusto Eloy, Â., y Vieira e Rosa, P. 2010. Aceite de clavo como anestésico para el pez pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Anales de Veterinaria de Murcia*, 26, 69–76.
- Solis Murgas, L.D., Perez Ribeiro, P.A., Santos Costa, L., Augusto Eloy, Â. y Vieira e Rosa, P. 2010. Aceite de clavo como anestésico para el pez pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Anales de Veterinaria de Murcia*, 26, pp. 69–76.
- Soto a, D. 2014. Acuicultura en América Latina: De la tradición a la tecnología. FAO.
- Soto b, C.G. y Burhanuddin, S. 1995. Clove oil as a fish anesthetic for measuring length and weight of rabbitfish (*Siganus lineatus*). *Aquaculture*, 136(1-2), pp. 149-152.
- Soto, C. G., y Burhanuddin, S. 1995. Clove oil as a fish anesthetic for measuring length and weight of rabbitfish (*Siganus lineatus*). *Aquaculture*, 136(1-2), 149-152.
- Soto, D. 2014. Acuicultura en América Latina: De la tradición a la tecnología. FAO.
- Stevens, E. D., y Chatigny, F. 2018. Intramuscular infiltration of a local anesthetic, lidocaine, does not result in adverse behavioural side effects in rainbow trout. *Scientific Reports*, 8, 1–12.
- Stevens, E.D. y Chatigny, F. 2018. Intramuscular infiltration of a local anesthetic, lidocaine, does not result in adverse behavioural side effects in rainbow trout. *Scientific Reports*, 8, pp. 1–12.
- Stoskopf, M. K. 1993. Fish medicine: Current state of the art. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 24(3), 297-304.
- Stoskopf, M.K. 1993. Fish medicine: Current state of the art. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 24(3), pp. 297-304.
- Summerfelt, R. C., y Smith, L. S. 1990. Anesthesia, surgery, and related techniques. *Methods for Fish Biology*, 1, 213-272. The efficacy of 2-phenoxyethanol, metomidate, clove oil and MS-222 in Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 288(1–2), 147–150.
- Summerfelt, R.C. y Smith, L.S. 1990. Anesthesia, surgery, and related techniques. *Methods for Fish Biology*, 1, pp. 213-272.
- Velasco-Santamaría, Y. M., Palacios-Ruiz, C., y Cruz-Casallas, P. E. 2008. Eficiencia anestésica de 2-fenoxietanol, benzocaína, quinaldina y metanosulfonato de tricafina en alevinos y juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). *Revista MVZ Córdoba*, 13(3), 1435–1445.
- Velasco-Santamaría, Y.M., Palacios-Ruiz, C. y Cruz-Casallas, P.E. 2008. Eficiencia anestésica de 2-fenoxietanol, benzocaína, quinaldina y metanosulfonato de tricafina en alevinos y juveniles de cachama blanca

- (*Piaractus brachypomus*). Revista MVZ Córdoba, 13(3), pp. 1435–1445.
- Víctor M. Guerrero Ayuso. 2006. Comer antes que viajar. Pesca y barcas de base monóxila en la prehistoria occidental. Universidad de las Islas Baleares, Grup de Recerca Arqueobalea. Departamento de Ciencias Históricas y Teoría de las Artes. 31: 7-56.
- Víctor M. Guerrero Ayuso. 2006. Comer antes que viajar. Pesca y barcas de base monóxila en la prehistoria occidental. Universidad de las Islas Baleares, Grup de Recerca Arqueobalea. Departamento de Ciencias Históricas y Teoría de las Artes, 31, pp. 7-56.
- Villalobos Fernández, C. E. 2019. Desarrollo histórico de la cultura y pesca prehispánica sinaloense. SAPIENTIAE: Revista de Ciencias Sociais, Humanas e Engenharias, 5(1), 58-86.
- Villalobos Fernández, C.E. 2019. Desarrollo histórico de la cultura y pesca prehispánica sinaloense. SAPIENTIAE: Revista de Ciencias Sociais, Humanas e Engenharias, 5(1), pp. 58-86.
- Wagner, G.N., Singer, T.D. y McKinley, R.S. (2003) Effects of clove oil and MS-222 on blood hormone profiles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at two temperatures. *Aquaculture Research*, 35(11), pp. 1025-1034.
- Wagner, G.N., Singer, T.D. y McKinley, R.S. (2004) Effects of clove oil and MS-222 on blood hormone profiles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at two temperatures. *Aquaculture Research*, 35(11), pp. 1025-1034.
- Waters, M. A., y Kwak, T. J. 2012. *Anesthesia and sedation of inland fishes*. En *Inland Fisheries Management* (2ª ed., pp. 557-584).
- Waters, M.A. y Kwak, T.J. 2012. Anesthesia and sedation of inland fishes. En *Inland Fisheries Management* (2ª ed.), pp. 557-584.
- Waterstrat, P. R., y Marking, L. L. 1995. Clinical evaluation of benzocaine in channel catfish. *Journal of Aquatic Animal Health*, 7(3), 220–225.
- Waterstrat, P.R. y Marking, L.L. 1995. Clinical evaluation of benzocaine in channel catfish. *Journal of Aquatic Animal Health*, 7(3), pp. 220–225.
- Watson, M.T. 2015. The use of tricaine methanesulfonate, clove oil, metomidate, and 2-phenoxyethanol for anesthesia induction in alewives (*Alosa pseudoharengus*). [Master's thesis, University of New Hampshire]. University of New Hampshire Scholars' Repository.
- Wendelaar Bonga, S.E. 1997. The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77(3), pp. 591-625.
- Wright, J.J., David, S.R. y Near, T.J. 2012. Gene trees, species trees, and morphology converge on a similar phylogeny of living gars (*Actinopterygii*: *Lepisosteidae*), an ancient clade of ray-finned fishes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 63(3), pp. 848-856.
- Zar JH (1996) *Biostatistical analysis*, 3rd (ed). Prentice Hall, NJ, p 718.
- Zhang, H., Wang, Q., Dong, Y., Mei, J., & Xie, J. 2023. Effects of tricaine methanesulphonate (MS-222) on physiological stress and fresh quality of sea bass (*Lateolabrax maculatus*) under simulated high-density and long-distance transport stress. *Biology*, 12(2), 223.

- Hernández, R, Fernández, C, y Baptista, P. 2014. Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sam-Pieri, (6a. ed.). McGraw-Hill. México D.F. Pp. 304-305.
- Dubois, S. y Fraser, D. 2013. Wildlife welfare: a key component of sustainable use. *Journal of Animal Ethics*. 3(2): 137-162.
- Cunha, M. A., Silva, B. H. S., Lopes, J. M., Silva, L. L., Parodi, T. V., y Heinzmann, B. M. (2010). Anesthesia of silver catfish with eugenol: time of induction, recovery and hematological variations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *45*(8), 873-880.
- Wilson, J. M., Bunte, R. M. y Carty, A. J. 2009. Evaluation of rapid cooling and tricaine methanesulfonate (MS-222) as methods of euthanasia in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*. 48(6): 785-789.
- Park, M. O. & Im, S. Y. 2015. The efficacy of eugenol on the physiological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during transport. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 15(3): 525-531.
- Struk, S., Knotková, Z. y Nečas, A. 2018. Local anesthesia in fish: a review of current knowledge and practical applications. *Acta Veterinaria Brno*. 87(3): 247-255.