



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**Efectos del agua salada subterránea en la sobrevivencia y
crecimiento de tilapia roja Pargo-UNAM (*Oreochromis* sp.) en
comparación con el agua de mar**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

GUILLERMO OCTAVIO CARMONA ALMERAYA

TUTOR PRINCIPAL:

DR. ENRIQUE LOZANO ÁLVAREZ (ICMyL, UNAM)

COMITÉ TUTOR:

DRA. GUILLERMINA ALCARAZ ZUBELDIA (ICMyL, UNAM)

DR. ADOLFO GRACIA GASCA (ICMyL, UNAM)

DRA. MARTHA GABRIELA GAXIOLA CORTÉS (ICMyL, UNAM)

DRA. ANASTAZIA TERESA BANASZAK (ICMyL, UNAM)

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y, a la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, quién me brindó el conocimiento necesario para mi desarrollo académico teórico y práctico.

Esta tesis se realizó gracias al programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, el proyecto IT200219.

A mi director de tesis el Dr. Enrique Lozano Álvarez, quien me brindó la guía y la sabiduría para la elaboración de este trabajo.

Al comité tutor la Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldía, el Dr. Adolfo Gracia Gasca, la Dra. Martha Gabriela Gaxiola Cortés y la Dra. Anastazia teresa banaszak, quienes hicieron posible la realización de este trabajo a través de su asesoramiento y apoyo en cada momento.

A la Dra. Patricia Dolores Briones Fourzán por el apoyo durante la revisión del escrito.

Al Dr. Edén Magaña Gallegos y a la Biol. Elisa Yajaira Chan por el apoyo durante todo el proyecto, brindándome su asesoramiento, guía en el cuidado de los estanques y manejo de los organismos, durante la cual genero una valiosa amistad.

A los integrantes del laboratorio de Ecología de Crustáceos (UASA), M. en C. Amada Cecilia Barradas Ortíz y al M. en C. Fernando Negrete Soto, por el apoyo que me brindaron en todo momento para la realización de este trabajo.

A mi mamá, Mónica Almeraya y papá, Guillermo Carmona, por el apoyo, amor y cuidado que me brindan.

A mi hermana Mariana, por todo el amor, consejos y apoyo que nos brindamos.

A mi sobrina Ana, su risa e imaginación me alegran siempre. Espero este trabajo te sirva de inspiración en el futuro.

A todos mis viejos y nuevos amigos que siempre me han dado su apoyo y buenos momentos.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
1.1 Tipos de cultivos en la acuicultura	4
1.2 Uso de agua en la acuicultura	5
1.3 Acuicultura en México	7
1.4 El uso de tilapia en la acuicultura	8
1.5 Avances en los estudios de la tilapia en la acuicultura	9
Justificación	12
Objetivos	12
Hipótesis	12
Materiales y métodos	13
5.1 Obtención y aclimatación de los organismos	14
5.2 Montaje del experimento	15
5.3 Alimentación	16
5.4 Registro de datos	18
5.5 Análisis de agua	19

Resultados	22
6.1 Calidad de agua	32
6.2 Alimentación y crecimiento	36
6.3 Respuesta a la salinidad	37
Discusión	41
Conclusiones	44
Referencias	45

Resumen

La acuicultura es la producción controlada de cualquier ser vivo acuático, y esta ha tomado su importancia debido a las demandas piscícolas actuales. El recurso principal para el desarrollo de la acuicultura es el agua, y existen distintos tipos que varían según su salinidad: como las aguas dulces (≤ 0.5 mg/L), y marinas (≥ 35 mg/L). La obtención de esta agua dependerá de su disposición, de ríos, lagos, del mar o subterránea; esta última es la acumulación en una capa del subsuelo impermeable. La disposición del tipo de agua y su calidad dependerá del tipo de organismos que se pueden cultivar. Los principales organismos obtenidos en las actividades pesqueras son de peces teleósteos, siendo las tilapias la de mayor demanda debido a sus características, son peces con rápido crecimiento, tolerancia a amplios rangos ambientales, resistencia al estrés y patógenos, capacidad de reproducirse en cautiverio y una alimentación omnívora. El uso de tilapias modificados genéticamente, a través de entrecruces favorece las posibilidades para el éxito en el cultivo de especies. Este trabajo hace uso del agua salada subterránea y el agua de mar para comparar la sobrevivencia y crecimiento de la tilapia tetra-híbrido "Pargo UNAM". En este estudio la sobrevivencia en agua de mar fue menor (86%) que la sobrevivencia en agua salada subterránea (99%). En ambos tratamientos se presentó variabilidad en el tamaño, los de menor tamaño presentaban lesiones en la parte de la aleta caudal, en el pedúnculo caudal y cerca de la aleta anal. No se presentaron diferencias significativas en ninguna de estas variables: ganancia en longitud estándar; ganancia en peso húmedo; ganancia en peso seco y ganancia en biomasa. En particular, la productividad en el agua salada subterránea fue de $21.68 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, fue un poco más de $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ superior que en el agua de mar, que presentó un promedio de $16.23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. El agua salada subterránea en la costa del estado de Quintana Roo es un recurso que puede ser aprovechado en el cultivo de la tilapia tipo pargo UNAM.

Abstract

Aquaculture is the controlled production of any aquatic living being, and this has taken its importance due to current fish farming demands. The main resource for the development of aquaculture is water, and there are different types that vary according to their salinity: such as fresh water (≤ 0.5 mg/L), and marine (≥ 35 mg/L). Obtaining this water will depend on its availability, from rivers, lakes, the sea or underground; the latter being the accumulation in an impermeable subsoil layer. The provision of the type of water and its quality will depend on the type of organisms that can be cultivated. The main organisms obtained in fishing activities are from teleost fish, with tilapia being the most in demand due to their characteristics: they are fast-growing fish, tolerance to wide environmental ranges, resistance to stress and pathogens, ability to reproduce in captivity, and an omnivorous feeding. The use of genetically modified tilapia, through interbreeding, favors the possibilities for success in the cultivation of species. This work makes use of underground saline water and seawater to compare the survival and growth of tetra hybrid tilapia "Pargo UNAM". In this study, survival in underground saline water (99%) was better than survival in seawater (86%). In both treatments there was variability in size, the smaller ones had lesions on the part of the caudal fin, on the caudal peduncle and near the anal fin. Standard length gain, weight gain, dry weight gain, biomass gain, and specific growth rate in both treatments were compared with Student's t tests, and no significant differences were found in any of these variables. In particular, productivity in saline groundwater, with an average of 21.68 kg.m^{-3} , was slightly more than 5 kg.m^{-3} higher than in seawater, which averaged 16.23 kg.m^{-3} . Underground saline water in the western costal of Yucatan Peninsula can be used to cultivate tilapia "Pargo UNAM"

Introducción

La acuicultura es la producción controlada de cualquier ser vivo acuático, la cual se clasifica de distintas maneras, las más comunes son: piscicultura (cultivo de peces), malacocultura (cultivo de moluscos), y camaronicultura (cultivo de camarón). La acuicultura puede ser continental o marina. La acuicultura marina se realiza de dos maneras: en zonas delimitadas dentro del mar o haciendo uso de distintos materiales, como jaulas o cajas flotantes. Los cultivos que se establecen dentro del continente, también conocidos como “cultivos en tierra”, se desarrollan en zonas donde la disponibilidad y uso de agua es suficiente, como ríos, lagunas, lagos, cuencas, y cerca de la costa, entre otros (Rosado-Platas & Vilabos-Arroniz, 2014).

Los esfuerzos en acuicultura la han transformado en una estrategia importante para la producción de recursos a distintas escalas, teniendo importancia económica a nivel nacional e internacional. La acuicultura ha tomado su importancia debido a las demandas actuales por el crecimiento poblacional. Esta actividad contribuyeron a la producción pesquera mundial con un 44% en 2013-2015, y se proyectó para los años 2021 y 2025 superar hasta con un 52% a los productos pesqueros destinados a la alimentación (Cuéllar-Lugo et al., 2018; Norzagaray-Campos et al., 2012).

Las actividades de acuicultura van en aumento cada año, como lo reflejan los datos de producción acuícola mundial, que alcanzaron aproximadamente 114.5 millones de toneladas de peso vivo en 2018, con un valor de venta de \$263,600 millones de USD. Los principales cultivos consistieron en aproximadamente 82.1 millones de toneladas de animales acuáticos, 32.4 millones de toneladas de algas acuáticas y a estos valores se le debe agregar 26 mil toneladas de productos de uso ornamental y otros (FAO, 2020; Luchini & Panné-Huidobro, 2015).

En los datos del 2007 a nivel mundial resaltan que un 47.7% de la producción total fueron peces teleósteos y el 83% del total de producción provino de aguas dulces (<0.5 mg/L). Uno de los principales peces de agua dulce que se utilizan son las tilapias, un grupo de peces de la familia Cichlidae. El uso de este pez en la acuicultura se debe por sus características buenas para el cultivo, como son: 1) rápido crecimiento, 2) tolerancia a amplios rangos ambientales (temperatura, salinidad y poco oxígeno disuelto), 3) resistencia al estrés y patógenos, 4) capacidad de reproducirse en cautiverio, 5) son omnívoros y tienen la capacidad de alimentarse con productos artificiales (El-Sayed, 2019).

1.1 Tipos de cultivos en la acuicultura

Los cultivos en acuicultura también han sido clasificados dependiendo de la cantidad en la producción y la capacidad de los sistemas utilizados, que varían según el tipo de organismo que se quiera cultivar (Castelló-Orvay, 1993):

- Cultivos extensivos: se caracterizan por ser cultivos con densidades bajas (1 o 2 kg.m³). Se realizan en cuerpos de agua natural o en estanques rústicos. El manejo de los organismos se centra únicamente en la siembra y cosecha de organismos. El aporte alimenticio para los organismos está determinado por la actividad primaria del ecosistema. El cultivo extensivo no modifica en exceso el medio ambiente, pero el cultivo de especies exóticas pone en riesgo a las poblaciones naturales en estos ecosistemas.
- Cultivos semi-intensivos: la densidad en estos cultivos es media (de 1 a 10 kg.m³). Se hace uso de estructuras como estanques hechos de tierra o materiales artificiales. La alimentación es parcial, con una parte proveniente del producto de la actividad primaria del ecosistema y otra parte se ofrece como alimento balanceado en forma de pellet u hojuelas. En estos cultivos se necesita un mayor control y cuidado, ya que al haber más organismos la calidad de agua puede ser alterada por diferentes causas: deshechos, niveles de oxígeno, nitritos y nitratos, y amonio, por lo que es importante conocer las necesidades de la especie en cultivo, tales como: aguas transparentes, aguas con corrientes, aguas turbias, intervalos de temperatura, etc.
- Cultivos intensivos: son cultivos de altas densidades (aproximadamente 50 kg.m³). En este caso se usan estanques construidos de materiales firmes, en su mayoría de materiales sintéticos; se necesitan aireadores (blowers) para cubrir la demanda de oxígeno disuelto (ya que hay un mayor consumo de oxígeno por estas altas densidades) y, por lo mismo, la capacidad de tener agua constante (hasta 3 recambios de agua por día). El alimento es totalmente artificial (dieta balanceada que cumpla los requerimientos de la especie en cultivo). Debido a la alta densidad de organismos en estos cultivos es importante mantener un buen control de los parámetros fisicoquímicos y de la calidad de agua. Algunos de los parámetros clave son: oxígeno disuelto, pH, temperatura, salinidad, nitritos, nitratos, amonio, amoniaco, dureza, alcalinidad. Actualmente existen distintos problemas que limitan el desarrollo de la acuicultura en tierra, por la limitación o escasez de un terreno a

nivel de costa, por el poco espacio disponible en ciertas zonas o la plusvalía que han obtenido los terrenos debido al impacto turístico. Otro problema es la alteración en la composición y calidad del agua en algunas costas, como es el caso del Caribe, debido a las llamadas “mareas marrones de sargazo”, que se producen por la descomposición del sargazo flotante que queda varado en la costa. El fenómeno de las afluencias masivas de sargazo (algas flotantes del género *Sargassum*) inició en 2015 y trae consigo complicaciones para las actividades pesqueras y la acuicultura en algunos países de la cuenca del Caribe (van Tussenbroek et al., 2017).

1.2 Uso de agua en la acuicultura

El agua es el recurso principal para el desarrollo de la acuicultura, que debe poseer las propiedades y características fisicoquímicas, así como la cantidad de nutrientes que cumplan con las necesidades de los organismos para su correcto cultivo. Se ha hecho uso de todos los tipos de agua, desde las dulces (≤ 0.5 mg/L de salinidad) hasta las marinas (≥ 35 mg/L). Los organismos que más se cultivan en la acuicultura a nivel mundial son los provenientes de agua dulce. Para estos últimos cultivos el agua proviene de cuerpos de agua como: ríos, lagos o lagunas y agua subterránea (Castelló Orvay, 1993; González-Laxe et al., 2004,).

El agua subterránea es la acumulación de agua en una capa del subsuelo impermeable. El agua desciende bajo la acción de la gravedad y, de manera natural, se renueva constantemente a través de recargas, por infiltración. El agua salada proviene principalmente del mar, aunque también existe la presencia de cuerpos de agua salada continental, lagos, lagunas, o zonas con niveles someros de agua donde hay altos índices de evaporación (CONAGUA, 2019).

Un acuífero se define como una formación geológica que está constituida por una o más capas de rocas, capaz de almacenar y ceder el agua (CONAGUA, 2019). Tan solo en México se tienen definidos 653 acuíferos y el 38.7% del agua utilizada en el país proviene de esas fuentes. A finales de 2008 se habían identificado 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y agua salobre, localizados principalmente en la Península de Baja California, Sonora y en la Península de Yucatán (Fig. 1) (CONAGUA, 2019).

La península de Yucatán presenta un tipo de suelo denominado kárstico. Una de las características de este tipo de suelo es la infiltración de agua que forma canales subterráneos, que en algunos casos se encuentran conectados entre sí, formando lo que se conoce como ríos subterráneos. Cerca de la costa el agua subterránea está formada por dos capas, una de agua dulce con una profundidad que va de entre < 5 a 30 m, y hay otra capa por debajo del agua dulce, se compone de agua salada, la cual puede tener una profundidad que va de entre 30 y $>$ de 90 m. El manto freático es el nivel en donde se encuentra la capa de agua dulce. El agua dulce subterránea que corre entre los canales es la principal fuente de abastecimiento para algunas actividades humanas. El agua subterránea de la península de Yucatán es un recurso que es aprovechado principalmente por la industria hotelera, la agricultura, la ganadería, y en procesos de ósmosis inversa.

La composición natural de las aguas subterráneas puede verse modificada por causas naturales o por factores antrópicos causando contaminación. La contaminación puede incluir alteraciones de la composición química del agua, modificación de la temperatura e introducción de solutos (sales, nitratos, etc.) y sustancias diversas (hidrocarburos, plaguicidas, disolventes halogenados, etc.). Algunos de los orígenes de estos contaminantes son la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y la minería (González-Herrera et al., 2018; Ribera-Urenda, 2016; Sánchez et al., 2016).

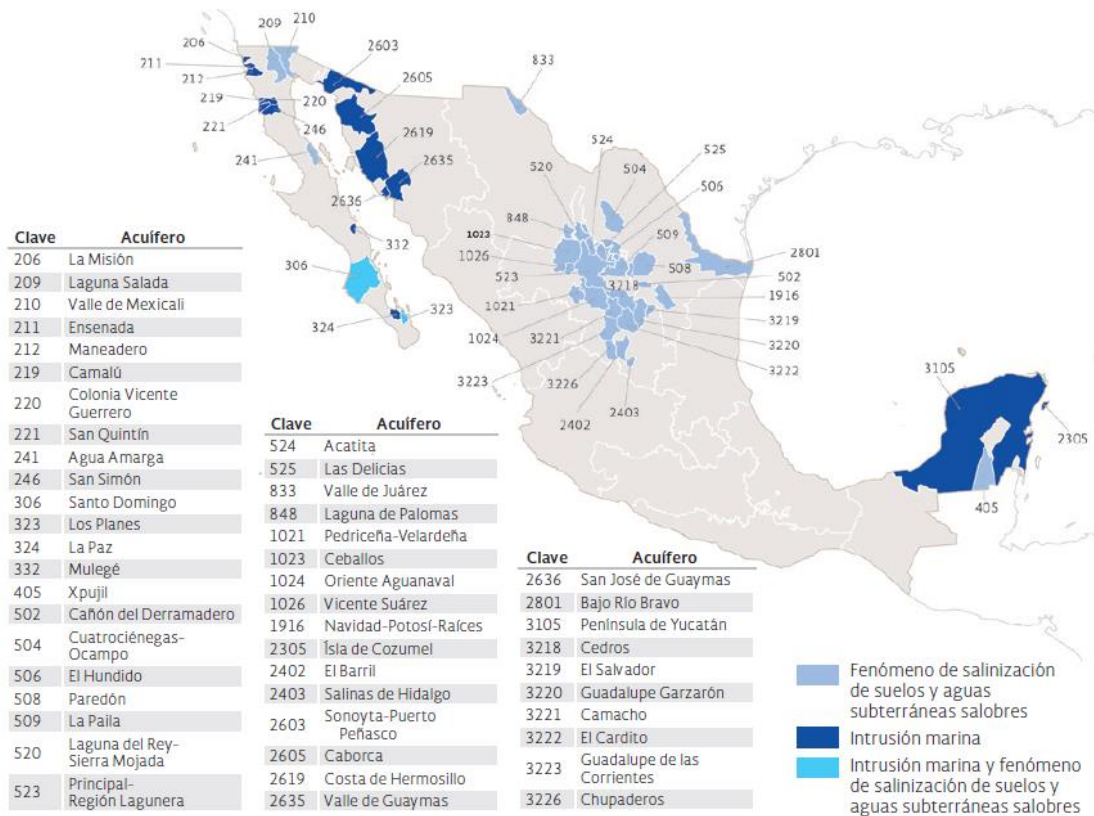


Fig. 1 Se muestran los acuíferos con intrusión marina y/o salinización de suelos y aguas subterráneas salobre.
Fuente: Estadísticas del agua en México, SEMARNAT y CONAGUA, 2019.

1.3 Acuacultura en México

El cultivo de organismos acuáticos en México ocupa el lugar 28 a nivel mundial, con una producción de 143,747 toneladas, lo cual lo posiciona como uno de los principales productores de acuacultura en Latinoamérica. Aproximadamente el 80% de los cultivos que se realizan en el país son de tipo extensivo. Los cultivos dulceacuícolas son los que más se han desarrollado y los principales organismos que destacan son: tilapia, trucha, bagre y carpa. En el caso de los cultivos salinos (marinos y salobres) pasan a segundo plano en la importancia a nivel nacional. En estos, los principales organismos que se cultivan son: camarón, pulpo y salmón (Castillo-Capitán et al., 2014; Ornelas-Luna et al., 2017).

La tilapia ha sido cultivada en una amplia variedad de cuerpos de agua en diferentes regiones del país, estableciéndose importantes mercados y representando más del 60% de la producción

nacional. El cultivo de la tilapia es una gran alternativa de producción alimenticia que contribuye a satisfacer la demanda alimenticia y disminuir la presión sobre las especies endémicas (Vega-Villasante et al., 2010). En México, por lo menos en 29 entidades federativas se cultiva la tilapia. El volumen de producción de tilapia en el 2020 fue de 72 mil 595 toneladas (CONAPESCA, 2021). Sin embargo, la producción no es suficiente para satisfacer las necesidades alimenticias, por ello se mantiene la importación de productos acuícolas (tilapia y otros peces de origen asiático). En el 2012 se importaron más de 45,000 toneladas de tilapia, la mayoría procedente de China (Norzagaray-Campos et al., 2012).

1.4 El uso de tilapia en la acuicultura

Las tilapias son un grupo de peces de agua dulce de la familia Cichlidae, originalmente nativos de África. Durante la mitad del siglo XX fueron introducidos a distintos ambientes en regiones tropicales, subtropicales y templadas de todo el mundo, con el objetivo de obtener alimento a través de la crianza y para la pesca recreativa, el control de hierbas naturales o invasoras, y la investigación científica. Algunos autores han propuesto que las temperaturas cálidas benefician el desarrollo y el crecimiento de las tilapias. Se han realizado estudios con *Oreochromis niloticus* en aguas de diferentes temperaturas. Los resultados muestran que, a una temperatura aproximada de 28°C, los cultivos de *O. niloticus* tienen un buen desarrollo y crecimiento adecuado (Ruiz Velazco et al., 2006).

El continuo aumento en la producción de tilapia está principalmente relacionado con el aumento en la preferencia del consumidor por estos tipos de organismos debido a su bajo costo, siendo de los más accesibles del mercado en comparación con otros peces (El-Sayed, 2019).

Las tilapias son el grupo de peces más importante en la acuicultura debido al bajo costo de producción si se les compara con otros peces marinos y dulceacuícolas. Esto se debe a sus características, que incluyen un alto nivel de adaptabilidad, rápido crecimiento, sus hábitos alimenticios (omnívoros), tienen gran tolerancia a patógenos, elevada productividad, amplia tolerancia a desarrollarse en condiciones de alta densidad, a desarrollarse en bajas condiciones de oxígeno en aguas salinas comparada con otras especies (Castillo-Capitán et al., 2014; INAPESCA, 2014, 2018; Ramírez-Paredes et al., 2012).

1.5 Avances en los estudios de la tilapia en la acuicultura

La capacidad de las tilapias para poder crecer en distintos ambientes y rangos de salinidad generó interés en la comunidad científica para desarrollar nuevas alternativas en la forma de cultivarlas. Se han comparado las tolerancias de varias especies de tilapia a distintas salinidades, siendo la tilapia roja de Florida (*O. mossambicus*) capaz de lograr un mayor crecimiento conforme se incrementa la concentración salina. La capacidad de estas tilapias para poder desarrollarse en distintos ambientes salinos se le ha atribuido a la capacidad de las branquias para incrementar los ionocitos (también conocidos como células de cloro) los que son importantes en la regulación iónica y osmótica de algunos peces (David-Ruales & Vásquez-Torres, 2010, Flores-Quintana, 2009).

Distintos autores mencionan que la mejor salinidad es 15 ppm, a la cual la tilapia roja de Florida y algunas otras adquieren un mejor peso, talla y sobrevivencia. Pero con el avance y el desarrollo de nuevas investigaciones se han podido realizar cultivos exitosos a salinidades de hasta 39 ppm (como es el caso de la tilapia conocida como Pargo UNAM) (Mena-Herrera et al., 2002).

Muchas de las especies de tilapia son eurihalinas, pero los límites de tolerancia de las especies varían considerablemente; por ello, la pre-aclimatación a baja salinidad y el aumento gradual a altas salinidades da como resultado una mejor sobrevivencia (Al-Amoudi, 1987; Mena-Herrera et al., 2002). Estudios en los que se compara a cinco especies de tilapia, entre las que se encuentran *O. mossambicus* y *O. niloticus*, coinciden en que hay un mejor resultado en la sobrevivencia cuando se incluye una pre-aclimatación a concentraciones bajas de salinidad (Sandoval-Muy et al., 2012).

En la actualidad, entre las investigaciones que se realizan para mejorar las actividades de acuicultura está el uso de organismos modificados genéticamente, a través de entrecruces, aprovechando las características de cada especie con la capacidad de poder ser cultivados en distintos tipos de agua, ya sea dulce, salobre o marina. En 1998, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) creó un esquema de cruzamiento de tres grupos genéticos de tilapia, con la finalidad de obtener una tilapia roja con crecimiento similar a la tilapia del Nilo de tipo silvestre (gris), a la que se le denominó “Pargo UNAM”. El Pargo UNAM es un tetra-híbrido, producto de un cruzamiento

conformado por tres grupos genéticos: tilapia roja de Florida (50%), tilapia rosa del Nilo (25%) y tilapia Rocky Mountain (25%, producto de la cruce de *O. aureus* y *O. niloticus*), como se puede observar en la figura 2 (Muñoz-Córdova et al., 2020).

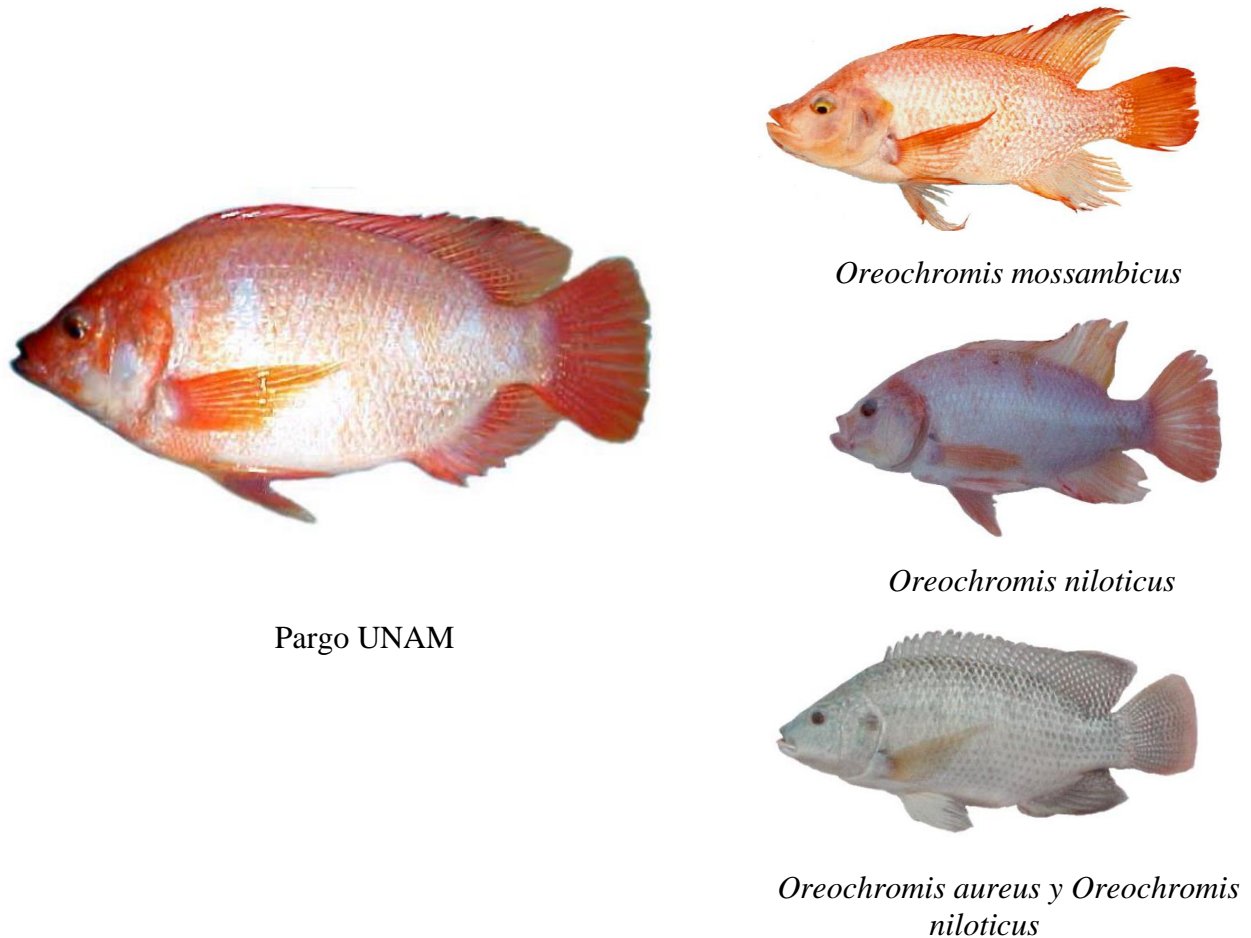


Fig. 2. Esquema del entrecruzamiento del Pargo UNAM. Fuente: Muñoz-Córdova et al. (2020).

Los estudios en juveniles de Pargo UNAM realizados por Ramírez-Paredes y colaboradores (2012) con distintas salinidades mostraron un nivel de sobrevivencia de cerca del 60%. Esta tasa de sobrevivencia aumenta con la talla de los organismos, llegando al 87% según los registros, y en ocasiones hasta un 99% en tallas adultas (este estudio).

En investigaciones posteriores, los cultivos de Pargo UNAM tuvieron un buen desarrollo, crecimiento y sobrevivencia en agua salina, característica complementaria que le fue heredada por uno de los grupos genéticos que le dieron origen: la tilapia roja de Florida (Muñoz-Córdova et al., 2020).

Medina-Romo y colaboradores (2018) compararon el crecimiento del Pargo UNAM, la tilapia Mosambica y la tilapia del Nilo gris en agua de mar durante 104 días. Los resultados demostraron una baja respuesta de *O. niloticus* y *O. mossambicus*, especies que mostraron tallas y pesos menores en comparación con la tilapia Pargo-UNAM, la cual mostró tener una mejor sobrevivencia y crecimiento en agua de mar (~35 ppm). La coloración roja/naranja que le fue heredada por la tilapia de Florida (*O. mossambicus*) resulta importante para el consumidor, que prefiere coloraciones rojas/anaranjadas comunes en organismos marinos de alto valor comercial (Medina-Romo et al., 2018; Muñoz-Córdova et al., 2020).

La tilapia Pargo-UNAM ha demostrado un rápido crecimiento y la capacidad para tolerar condiciones de salinidad variable. Pero faltan estudios que ayuden a comprobar el éxito de esta tilapia en distintos tipos de agua salada, por ejemplo, el agua salada subterránea, que se define como aquella agua que tiene una salinidad similar al agua de mar, por lo menos mayor a 28 mg/L, y se encuentra por debajo de la superficie de la tierra y de la capa de agua dulce del manto freático.

La Unidad Académica de Sistemas Arrecifales (UASA) del ICML-UNAM, ubicada en Puerto Morelos, Q.R., en la costa del Caribe mexicano, cuenta con un sistema de estanques de agua marina que proviene de la laguna arrecifal a través de una toma ubicada a unos 150 m de distancia de la línea de costa, así como estanques con agua salada subterránea (ASSb), que es extraída de un pozo de 60 m de profundidad. Por lo tanto, la UASA cuenta con las condiciones necesarias para realizar una serie de experimentos de acuicultura intensiva, comparando el desempeño de peces cultivados en agua de mar con peces cultivados en ASSb. La presente tesis forma parte de un proyecto más amplio (PAPIIT IT200219) que investiga si el agua salada subterránea puede ser aprovechada para cultivar en tierra animales marinos, en este caso también a la tilapia “Pargo UNAM” (*Oreochromis* sp.). Es importante señalar que el precio de la tilapia es todavía mejor si se crece en aguas saladas o marinas. Los productores y algunos consumidores han expresado que es mejor el sabor de las tilapias cultivadas en estas aguas, por ejemplo: el valor por kilo de una tilapia gris que se desarrolla en agua dulce puede llegar al consumidor hasta en \$70.00 pesos mexicanos, mientras que una tilapia roja que se desarrolla también en agua dulce llega a los \$100.00 y en agua salada hasta en \$120.00 pesos (Biol. Sergio Monroy Pulido, Agrosistemas Yaxchilam, SPR de RL de CV, comunicación personal).

Justificación

El presente trabajo constituye el primer experimento a pequeña escala realizado en Quintana Roo que aborda la posibilidad de utilizar agua salada subterránea, un recurso abundante y subutilizado en la Península de Yucatán, para cultivar la tilapia Pargo UNAM (*Oreochromis* sp.).

Hipótesis

Si la calidad del agua salada subterránea para el cultivo de la tilapia Pargo-UNAM (*Oreochromis* sp.) es similar a la del agua de mar, entonces la sobrevivencia y el crecimiento de las tilapias en agua salada subterránea y agua de mar serán similares.

Objetivos

General

- Evaluar el efecto del agua salada subterránea en comparación con el agua de mar, en la sobrevivencia y crecimiento de la tilapia, “Pargo-UNAM”.

Particulares

- Evaluar y comparar diversos parámetros fisicoquímicos entre estanques con agua salada subterránea y estanques con agua de mar.
- Comparar la sobrevivencia de juveniles de tilapia, Pargo-UNAM, mantenidos en agua de mar y juveniles mantenidos en agua salada subterránea, durante un mismo periodo de tiempo.
- Comparar el crecimiento en talla y peso, la tasa de crecimiento específica, la ganancia en biomasa y la productividad, en juveniles de tilapia, Pargo-UNAM, mantenidos en agua de mar y juveniles mantenidos en agua salada subterránea durante un mismo periodo.

Materiales y método

Puerto Morelos, Quintana Roo ($86^{\circ} 52' W$, $20^{\circ} 52' N$) se encuentra ubicado en el Caribe mexicano; 32 km al sur de la ciudad de Cancún, en la península de Yucatán (Fig. 3). El clima de la región es cálido húmedo con lluvias en verano tipo AW. Durante el invierno, las masas de aire continental provenientes de Norteamérica cruzan el Golfo de México y penetran en la península de Yucatán, causando los denominados “nortes”. La laguna arrecifal de Puerto Morelos está delimitada por una barrera arrecifal que corre casi paralela a la línea de costa con dirección noreste-sureste y tiene una profundidad promedio de 3 m y un ancho que va desde los 500 a los 2000 m. (Rodríguez-Martínez et al., 2010). La Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, tiene las instalaciones adecuadas para el desarrollo experimental del cultivo de organismos acuáticos.

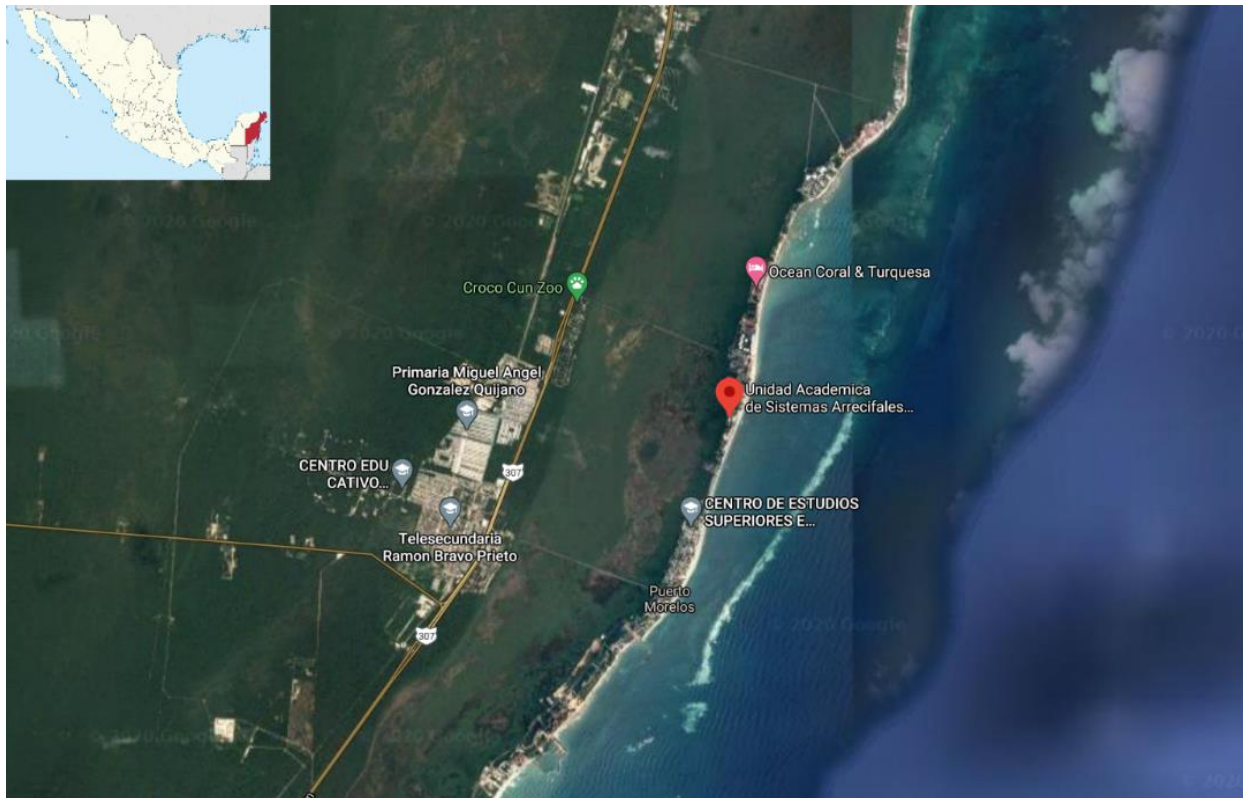


Fig. 3 Mapa de la costa norte de Quintana Roo, señalando la ubicación de la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, ICML, UNAM; lugar donde se realizaron los experimentos. El agua de mar se toma a 150 m de la costa en la laguna arrecifal enfrente a la Unidad Académica (tomado de Google Earth).

5.1 Obtención y aclimatación de los organismos

Se adquirieron 1,086 alevines de Pargo UNAM a partir un productor del estado de Yucatán. Los alevines se encontraban en un intervalo de 0.5–4 g. Se colocaron en dos tanques circulares con agua dulce (~2 mg/L) de 3 m de diámetro (altura útil: 0.8m, 7 m² de área y un volumen de 5.65 m³).

Después de 2 semanas, cuando ya no se registraron muertes y todos los peces comían, se separaron para poder iniciar la aclimatación en dos distintos tipos de agua salada: la marina (~34 mg/L) y el ASSb (~28 mg/L). El proceso de aclimatación duró 25 días. La salinidad se fue incrementando gradualmente, a una tasa de 2 g/L por día. Durante este periodo se observó el comportamiento, la mortalidad de los organismos y el consumo de alimento, ya que no tener bien controlado el aumento en la salinidad genera estrés en los peces. Dicho estrés puede provocar mortalidad, comportamientos erráticos y un bajo consumo alimenticio, complicando el proceso de aclimatación. Se realizó el monitoreo de los parámetros del agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto) con ayuda de una sonda multiparamétrica de la marca HANNA, Modelo HI98194. El control y la toma de los parámetros nitrógeno amoniacal total (TAN, por sus siglas en inglés) y nitrito, se hicieron cada tercer día con el kit de la marca Api Marine®, siguiendo las recomendaciones del proveedor. También se registró la supervivencia de los organismos.

Se realizó el mantenimiento y cuidado de los estanques todos los días. Se sifonaban las heces y depósitos de alimento que se formaban en el fondo de los tanques de aclimatación.



Fig. 4 Fotografía tomada cuando llegaron los alevines de Pargo-UNAM y se colocaron en dos estanques de 3 m de diámetro en agua dulce.

5.2 Montaje del experimento

Se utilizaron 4 tanques de 3 m de diámetro (donde se llevó a cabo la aclimatación) y 8 tanques de 1 m de diámetro con una capacidad útil de 0.45 m³, en los cuales se llevó a cabo el experimento. Estos tanques se denominaron Unidades Experimentales (UE).

Antes del experimento, los tanques se limpiaron para evitar el crecimiento de algas y microorganismos. Cada tanque y cada UE se alimentaron con aire (impulsado por un blower de 1 HP) y flujo de agua continuo. Se verificó que todas las Unidades Experimentales trabajaran correctamente y no tuvieran fugas.

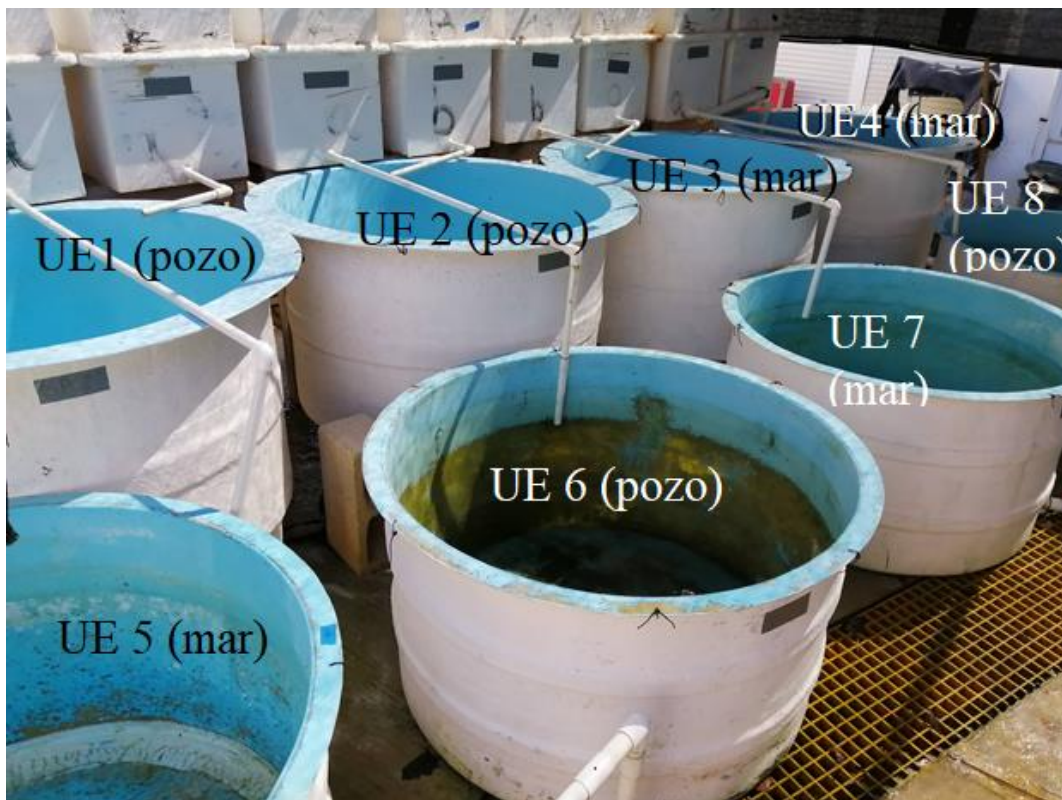


Fig. 5 La foto muestra los tanques que se usaron como unidades experimentales (UE). Se señala como quedaron distribuidas estas unidades de los tratamientos (agua de mar y agua salada subterránea).

Se realizó una distribución al azar en las UE de cada tratamiento (agua de mar y ASSb), quedando de la siguiente manera: Las UE 1, 2, 6 y 8 se alimentaron con agua de pozo y; las UE 3, 4, 5 y 7 con agua de mar (como se muestra en la figura 5). Se tomaron 160 organismos en total (80 aclimatados en agua de mar y 80 aclimatados en agua salada subterránea) y se introdujeron 20 organismos en cada una de las UE.



Fig. 6. En esta fotografía se muestran los tanques de las UE teniendo mantenimiento y limpieza antes de iniciar el experimento.

5.3 Alimentación

Los peces se alimentaron con “pellet de tilapia” de la empresa El Pedregal: Silvercup. El proceso de alimentar a los organismos estuvo dividido en distintas etapas. La primera etapa de alimentación fue durante la aclimatación, siguiendo las recomendaciones de la empresa Malta-Cleyton, quienes hacen una relación entre el tamaño del organismo al que se le va a dar el alimento y el tamaño de alimento. Durante esta etapa se ofreció el alimento 5 veces por día. Durante las primeras semanas se suministró polvo de pellet; posteriormente, este polvo se combinó con pellet de tilapia de 1.5 mm, para hacer el cambio gradual de alimento; posteriormente el pellet de 1.5 mm se combinó con el de 2.5 mm. Tanto el pellet de 1.5 como el de 2.5 mm contienen un porcentaje de proteína del 45%, grasa 16%, fibra 2.5%, ceniza 12% y humedad de 12%.



Fig. 7. Fotografía que ilustra el pesado de alimento para los organismos durante la segunda etapa de alimentación.

Durante el experimento, el alimento suministrado se ofreció 4 veces por día durante 45 días. Se suministró el alimento a las tilapias con relación a la tasa de alimentación diaria (TDA) de Malta-Cleyton. Dicha tasa se obtiene a partir de la biomasa de cada UE, la cual es la relación del número de organismos presentes en el estanque y el peso total en cada UE, con lo que se determina cuántos gramos de pellet deben consumir por día. Del total de la biomasa de cada unidad se les suministraba el 4%, siguiendo con las recomendaciones Malta-Cleyton, que establecen un incremento aproximado de 1.5 g por cada organismo por día.

Parte del mantenimiento que tenían las UE consistía en que cada vez que se alimentaba a las tilapias, el alimento que no consumieran se retiraba y se secaba durante 24 horas utilizando una estufa, después de lo cual se pesaba para conocer el peso en gramos del sobrante. Considerando que el consumo no era constante y que algunos UE presentaron mortalidades, cada semana se ajustaba la cantidad de alimento en relación con la biomasa total de cada UE, considerando el total de organismos.

5.4 Registro de datos

La respuesta de las tilapias a los tipos de tratamiento de agua fue medida a través de las siguientes variables al inicio y final del experimento: longitud total (Lt), longitud estándar (Le), peso húmedo (PH) y peso seco (PS). Al inicio del experimento se separó una submuestra de 20 peces para poder obtener el peso seco inicial (PH₀). Dicha submuestra se enjuagó en agua desionizada, se secó con papel absorbente para remover el exceso de agua y se congeló a -20° C para posteriormente estimar el peso.

Al final del experimento, las tilapias sobrevivientes se secaron con papel absorbente y se pesaron en una balanza digital para obtener su peso húmedo, se midió la longitud total (Lt) y la longitud estándar (Le). Posteriormente, las tilapias se enjuagaron con agua desionizada y se congelaron a -20 °C para posteriormente estimar el peso seco.

Una vez finalizados los 45 días del experimento se obtuvo su peso seco, utilizando para ello una estufa. Se obtuvieron las siguientes variables sometidos a cada tratamiento: sobrevivencia (S), ganancia en biomasa (GB), productividad (P), Longitud total (Lt), longitud estándar (Le), peso húmedo final (PH_t), ganancia en peso húmedo (GPH), peso seco final (PS_t), ganancia en peso seco (GPS), y la tasa de crecimiento específica (TCE) y el factor de conversión y condición alimentaria. Las variables se calcularon utilizando las siguientes fórmulas originalmente propuestas para langostas espinosas (*Panulirus* spp.) (Fitzgibbon et al., 2017; Kropielnicka-Kruk et al., 2019) y se han modificado para peces:

$$S (\%) = (n_t/n_0) \times 100$$

$$GLE (\text{mm}) = Le_t - Le_0$$

$$GPH = PH_t - PH_0$$

$$GPS = PS_t - PS_0$$

$$TCE (\%PS \text{ d}^{-1}) = (\ln PS_t - \ln PS_0) \times 100 / t$$

$$GB (\%) = (B_t - B_0)/B_0 \times 100$$

$$P (\text{kg.m}^{-3}) = (PH_f - PH_i) / V$$

donde se resta los pesos finales con los iniciales para conocer el peso ganado y este se divide el volumen del tanque.

Los datos de cada una de las variables de los peces, y en cada Unidad Experimental se trataron con un modelo lineal general (ANOVA) en la plataforma STATISTICA para analizar el efecto del factor tratamiento, con dos niveles: agua salada subterránea (ASSb) y agua de mar (Mar). La UE se consideró un factor aleatorio anidado en el factor tratamiento (Underwood, 1987; Briones-Fourzán et al., 2009). Los parámetros del agua se registraron en una tabla en el que se reportó el valor promedio, el mínimo y el máximo, para posteriormente compararlo con los valores óptimos, mínimo y máximos permisibles reportados en la literatura.

Al final del experimento se obtuvieron los pesos secos. Para el proceso de pesado se utilizaron charolas de aluminio que se secaron por 24 horas y se pesaron; posteriormente se metieron los peces a la estufa, dejándolos a 60° C de 72 a 96 horas hasta que se tuvo el peso constante.



Fig. 8 Fotografías dónde se pueden ver los peces secándose para obtener los pesos secos finales de Pargo-UNAM.

5.5 Análisis de agua

Se realizó el monitoreo de los parámetros del agua con una periodicidad variable. La temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH se determinaron con ayuda de una sonda multiparamétrica de la marca HANNA, Modelo HI98194, los datos se tomaron dos veces por día a las 8:00 y 17:00h durante los 45 días de experimento.

Los nutrientes se tomaron con ayuda de un espectrofotómetro marca HANNA (modelo Iris HI801). Cada tres días se determinó: TAN, nitritos y nitratos, y cada 7 días: alcalinidad, dureza, magnesio y potasio. Finalmente, al inicio, mitad (después de 22 días) y final del experimento, se determinó la concentración de Fósforo y Calcio.

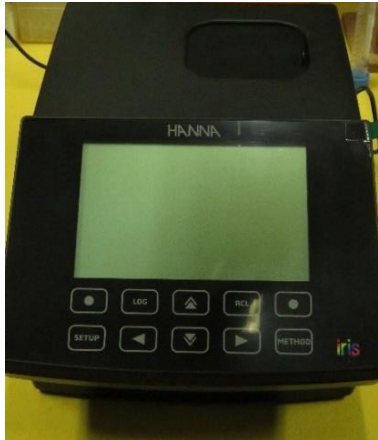


Fig. 9 Izquierda: foto del Espectrofotómetro HANNA iris utilizado para realizar los análisis de calidad de agua. Derecha: fotografía del Multiparámetro HANNA para el control de parámetros fisicoquímicos del agua.

El control de los parámetros permite el correcto crecimiento y desarrollo de las tilapias (Rodríguez-Monte de Oca et al., 2015; SAGARPA, 2008; Sanz, 2009; Torres-Novoa & Hurtado-Nery, 2012): Durante los 45 días del experimento se tomó en cuenta lo siguiente. El rango de pH para el buen desarrollo es de 6.5 a 8.0; cuando el pH es menor a 5, el crecimiento se ve afectado. El valor óptimo del oxígeno disuelto es por encima de 5 ppm, el mínimo es de 3 ppm; por debajo de este valor los peces presentan una disminución en el crecimiento, aumenta la demanda por alimento, se generan enfermedades en las branquias, y se disminuye la sobrevivencia. La alcalinidad representa la cantidad de bicarbonatos y carbonatos en el agua (bases presentes en el agua); una concentración elevada favorece una mejor producción, da mayor estabilidad al estanque y los peces también son menos afectados por enfermedades. El óptimo para el crecimiento de las tilapias se debe mantener en el rango de 100-200 ppm. La dureza mide la cantidad total (concentración) de sales divalentes, el óptimo para el crecimiento de las tilapias se debe mantener en un rango de 50-300 ppm. Nitritos y nitratos: los nitritos son un paso

intermedio al amoníaco en el crecimiento de bacterias o algas en el agua, los valores para ambos deben mantenerse entre 0 a 40 ppm. El calcio es muy importante para un buen crecimiento óseo, es importante en la coagulación sanguínea, es un cofactor enzimático, interviene en la contracción muscular, da integridad de membranas celulares, y es importante para la transmisión nerviosa. Amonio: para los cultivos de tilapia (*Oreochromis* sp.) los niveles óptimos (comunes) de 0.1 ppm, y el valor máximo es de 0.24 ppm de amoníaco (amonio des ionizado). Para poder conocer la cantidad estimada de amoníaco y amoníaco del TAN (NH₃ y HN₄), se tomó con ayuda de la relación de la temperatura y el pH, se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje no-ionizado de amoníaco en agua con referencia con la temperatura y el pH

pH	Temperature (°C)														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.11	0.13	0.16	0.18	0.22	0.25	0.29	0.34	0.39	0.46	0.52	0.60	0.69	0.80	0.91
7.2	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.40	0.46	0.54	0.62	0.82	0.83	0.96	1.10	1.26	1.44
7.4	0.29	0.34	0.40	0.46	0.54	0.63	0.73	0.85	0.98	1.14	1.31	1.50	1.73	1.98	2.26
7.6	0.45	0.53	0.63	0.73	0.86	1.00	1.16	1.34	1.55	1.79	2.06	2.36	2.71	3.10	3.53
7.8	0.72	0.84	0.99	1.16	1.35	1.57	1.82	2.11	2.44	2.81	3.22	3.70	4.23	4.82	5.48
8.0	1.13	1.33	1.56	1.82	2.12	2.47	2.86	3.30	3.81	4.38	5.02	5.74	6.54	7.43	8.42
8.2	1.79	2.10	2.45	2.86	3.32	3.85	4.45	5.14	5.90	6.76	7.72	8.80	9.98	11.29	12.72
8.4	2.80	3.28	3.83	4.45	5.17	5.97	6.88	7.90	9.04	10.31	11.71	13.26	14.95	16.78	18.77
8.6	4.37	5.10	5.93	6.88	7.95	9.14	10.48	11.97	13.61	15.41	17.37	19.50	21.78	24.22	26.80
8.8	6.75	7.85	9.09	10.48	12.04	13.76	15.66	17.73	19.98	22.41	25.00	27.74	30.62	33.62	36.72
9.0	10.30	11.90	13.68	15.65	17.82	20.18	22.73	25.46	28.36	31.40	34.56	37.83	41.16	44.53	47.91
9.2	15.39	17.63	20.08	22.73	25.58	28.61	31.80	35.12	38.55	42.04	45.57	49.09	52.58	55.99	59.31
9.4	22.38	25.33	28.47	31.80	35.26	38.84	42.49	46.18	49.85	53.48	57.02	60.45	63.73	66.85	69.79
9.6	31.36	34.96	38.38	42.49	46.33	50.16	53.94	57.62	61.17	64.56	67.77	70.78	73.58	76.17	78.55
9.8	42.00	46.00	50.00	53.94	57.78	61.47	64.99	68.31	71.40	74.28	76.92	79.33	81.53	83.51	85.30
10.0	53.44	57.45	61.31	64.98	68.44	71.66	74.63	77.35	79.83	82.07	84.08	85.88	87.49	88.92	90.19
10.2	64.53	68.15	71.52	74.63	77.46	80.03	82.34	84.41	86.25	87.88	89.33	90.60	91.73	92.71	93.58

Fuente: Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E. & Thurston, R. V., 1975)

Resultados

Los datos iniciales se obtuvieron de las biometrías realizadas en 80 peces introducidos en agua de mar y 80 en agua salada subterránea. Las medias y desviaciones estándar de peso húmedo inicial, longitud total inicial y longitud estándar inicial se presentan en la Tabla 2. No hubo diferencias significativas entre tratamientos ni entre unidades experimentales anidadas por tratamiento (Tabla 2). Las figuras 10 y 11 presentan las medias por tratamiento.

Tabla 2 Valores iniciales y finales de diversas variables de juveniles de Pargo UNAM mantenidos en dos tratamientos: agua salada subterránea (ASSb) y agua de mar (Mar), durante 45 días (media \pm desviación estándar) y efectos del tratamiento y de la unidad experimental (UE).

	Tratamiento		Efecto	ANOVA			
	ASSb	Mar		gl	CM	F	<i>p</i>
Datos iniciales							
Peso húmedo (g)	48.7 \pm 15.3	50.8 \pm 13.3	Tratamiento	1	180.8	0.861	0.355
			UE (Tratam)	6	117.2	0.558	0.763
			Error	156	210.0		
Longitud total (cm)	13.4 \pm 1.4	13.5 \pm 1.1	Tratamiento	1	0.280	0.170	0.678
			UE (Tratam)	6	0.530	0.330	0.922
			Error	156	1.620		
Longitud estándar (cm)	10.8 \pm 1.2	10.6 \pm 0.9	Tratamiento	1	1.640	1.470	0.227
			UE (Tratam)	6	0.450	0.410	0.874
			Error	156	1.120		
Datos finales							
Peso húmedo (g)	173.0 \pm 71.6	164.8 \pm 60.8	Tratamiento	1	2205	0.497	0.482
			UE (Tratam)	6	4881	1.099	0.366
			Error	140	4441		
Peso seco (g)	53.4 \pm 22.9	48.9 \pm 17.4	Tratamiento	1	747.3	1.762	0.186
			UE (Tratam)	6	370.1	0.873	0.517
			Error	140	424.0		
Longitud total (cm)	19.6 \pm 3.7	19.5 \pm 2.4	Tratamiento	1	0.030	0.003	0.955
			UE (Tratam)	6	8.120	0.816	0.559
			Error	140	9.960		
Longitud estándar (cm)	15.5 \pm 2.1	15.5 \pm 1.8	Tratamiento	1	0.010	0.002	0.962
			UE (Tratam)	6	3.750	0.936	0.471
			Error	140	4.010		
Ganancia peso seco (g)	46.0 \pm 22.9	41.5 \pm 17.4	Tratamiento	1	751.2	1.772	0.185
			UE (Tratam)	6	370.1	0.873	0.517
			Error	140	424.0		
Sobrevivencia (%)	98.8 \pm 2.2	86.3 \pm 8.9	Tratamiento	<i>t</i> de Student		<i>p</i>	
				6	3.141	0.020	

Para los datos de peso seco inicial se tomó una submuestra para cada tratamiento de agua, 20 para agua de mar (AM) y 20 para ASSb. En ambos tratamientos se tomaron los datos hasta obtener los pesos constantes (hasta las 48h). En el tratamiento de ASSb se obtuvo un peso seco inicial de 7.36 ± 1.12 g, y en el de agua de mar de 7.34 ± 1.6 g.

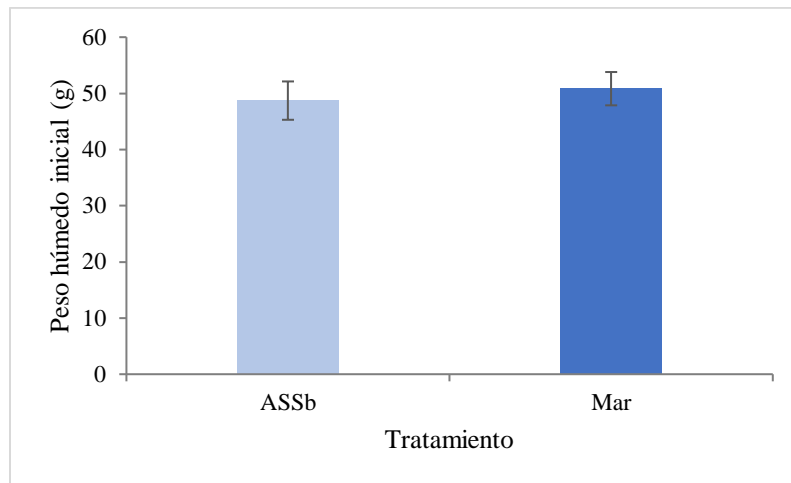


Fig. 10 Peso húmedo inicial medio de los peces mantenidos en estanques con agua salada subterránea (ASSb) y estanques con agua de mar (Mar). Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

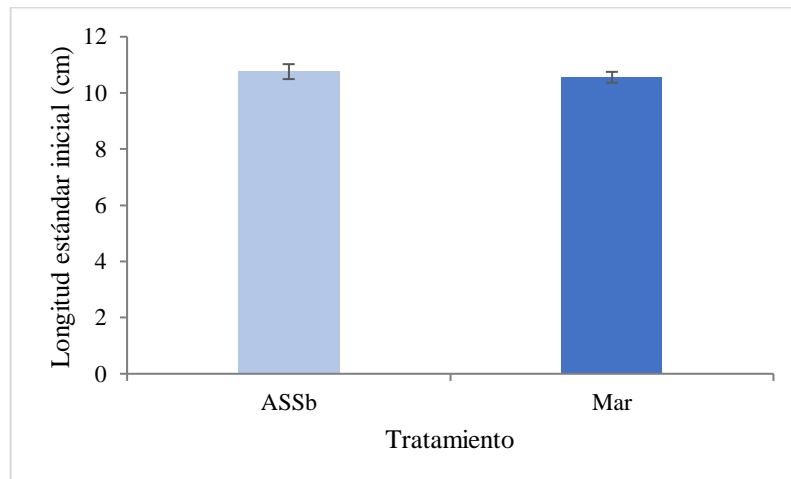


Fig. 11 Longitud estándar inicial media de los peces mantenidos en estanques con agua salada subterránea (ASSb) y con agua de mar (Mar). Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

Al finalizar el experimento (después de 45 días), se obtuvieron un total de 148 peces de 160 peces iniciales. En el tratamiento de agua de mar se obtuvieron 69 peces (86% de sobrevivencia) y en el agua salada subterránea se obtuvieron 79 peces (99% de sobrevivencia) (Tabla 2). Los porcentajes obtenidos de la sobrevivencia se transformaron a arcoseno para realizar una prueba estadística (*t* de Student), la cual arrojó diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2), con un valor de sobrevivencia más alto en el agua salada subterránea que en el agua de mar (Fig. 12).

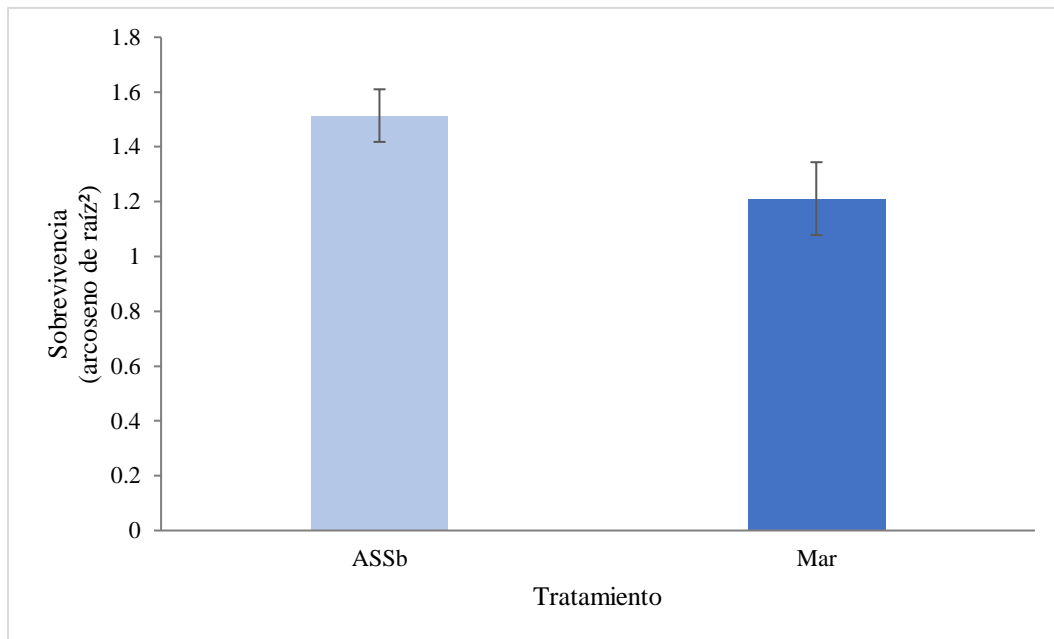


Fig. 12 Sobrevivencia (transformada a arcoseno de raíz cuadrada) promedio de los peces mantenidos en las cuatro unidades experimentales de cada tratamiento, agua salada subterránea (ASSb) y agua de mar (Mar). Las barras de error indican el intervalo de confianza al 95%.

Las pruebas estadísticas aplicadas al resto de las variables medidas al final de experimento revelaron que no hubo un efecto significativo ni del tratamiento ni de la unidad experimental en la longitud total, la longitud estándar, el peso húmedo, y el peso seco de los peces (Tabla 2, Figuras 13-16).

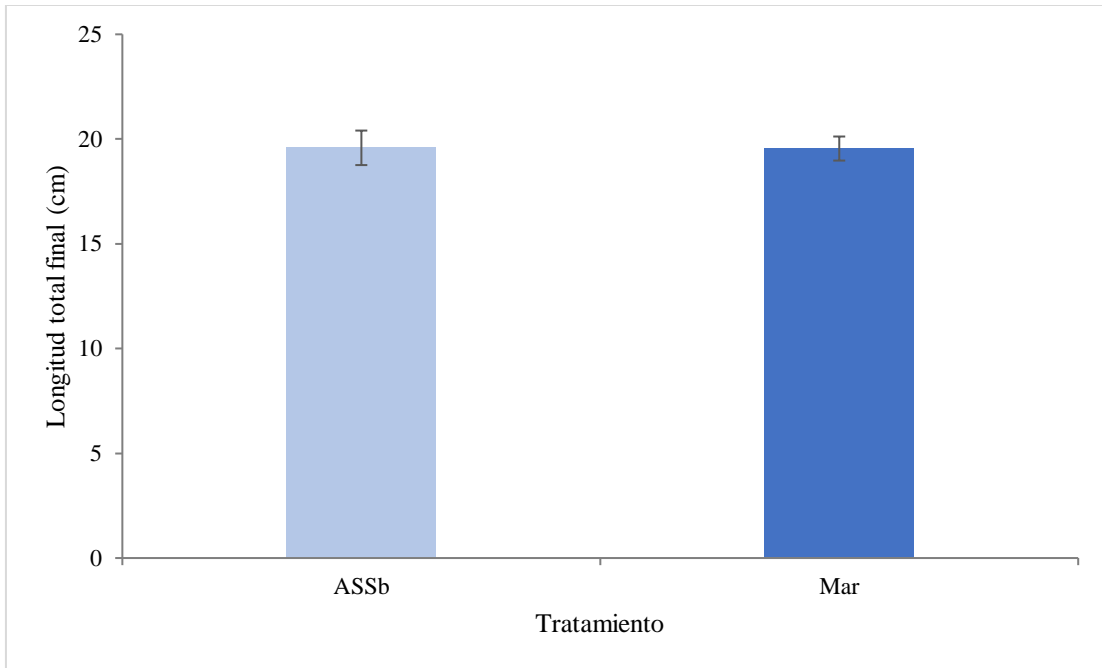


Fig. 13 Longitud total final media de los peces mantenidos en estanques con agua salada subterránea (ASSb) y con agua de mar (Mar). Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

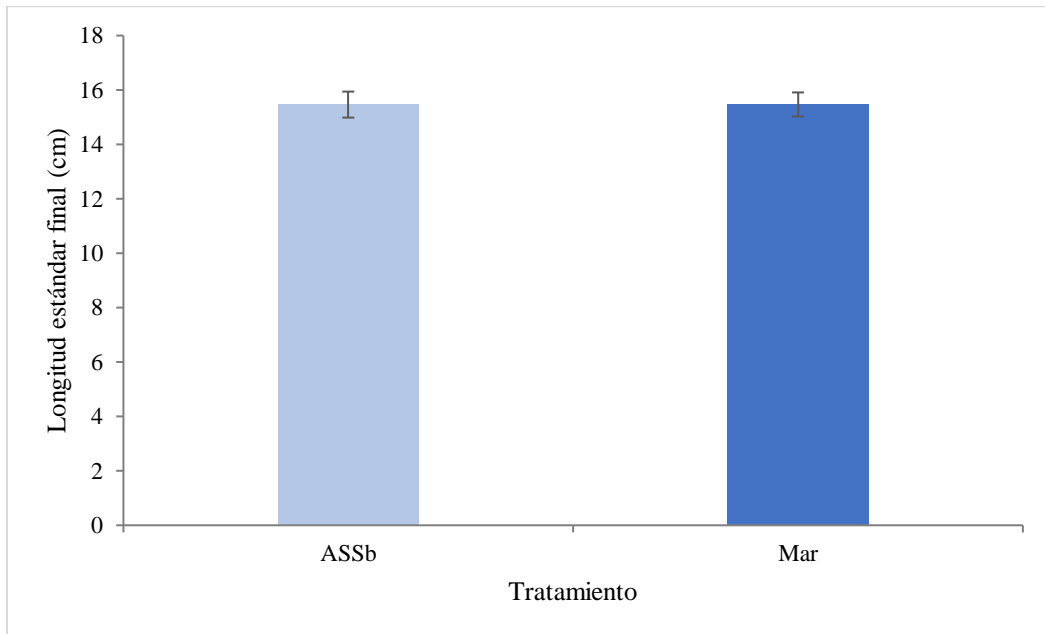


Fig. 14 Longitud estándar final media de los peces mantenidos en estanques con agua salada subterránea (ASSb) y con agua de mar (Mar). Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

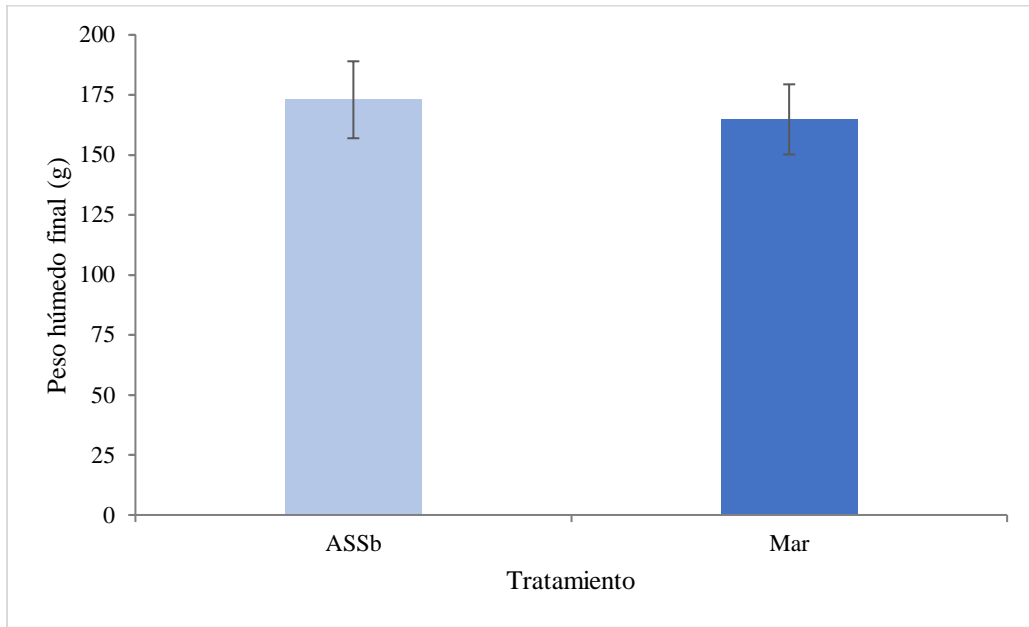


Fig. 15 Peso húmedo final medio de los peces mantenidos en estanques con agua salada subterránea (ASSb) y con agua de mar (Mar). Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

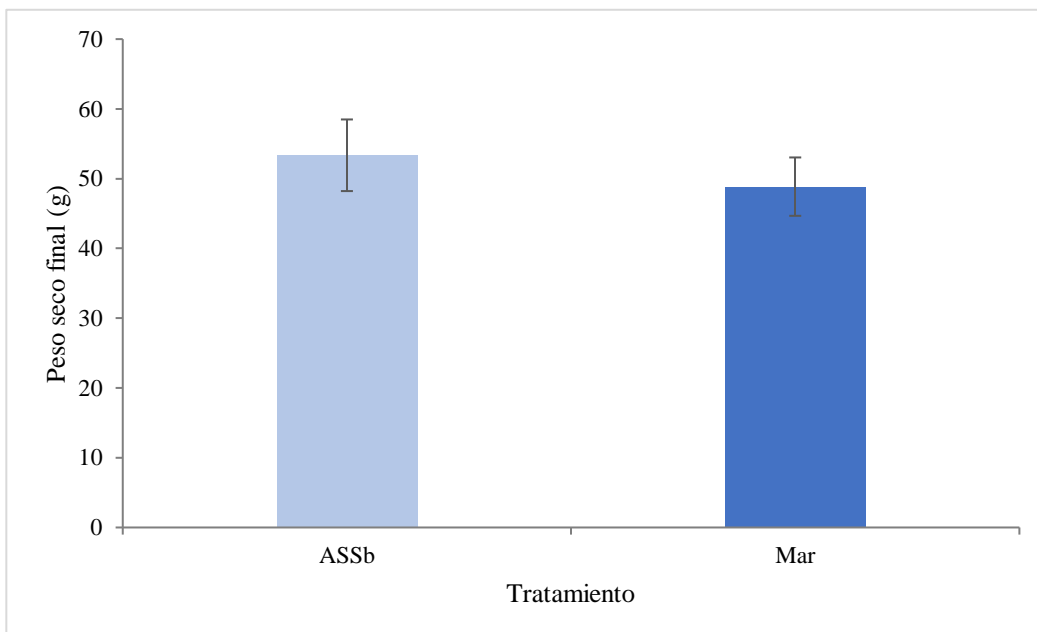


Fig. 16 Peso seco final medio de los peces mantenidos en estanques con agua salada subterránea (ASSb) y con agua de mar (Mar). Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

Utilizando las fórmulas modificadas para peces de Fitzgibbon et al. (2017) y Kropielnicka-Kruk et al. (2019) se obtuvieron la ganancia de longitud estándar (GLE), la ganancia de peso húmedo (GPH), la ganancia de peso seco (GPS), la ganancia de biomasa (GB) y la tasa de crecimiento específica (TCE). Estos datos se presentan en las tablas 3 y 4. Los valores medios de las cuatro UE se compararon entre tratamientos con pruebas de *t* de Student. No hubo diferencias significativas en ninguna de estas variables (GLE: $t = 0.974$, $gl = 6$, $p = 0.368$; GPH: $t = 0.910$, $gl = 6$, $p = 0.398$; GPS: $t = 1.840$, $gl = 6$, $p = 0.115$; GB: $t = 1.725$, $gl = 6$, $p = 0.135$; TCE: $t = 2.378$, $gl = 6$, $p = 0.06$).

Tabla 3. Resultados finales (media \pm desviación estándar) de las variables medidas a los peces mantenidos en agua salada subterránea al finalizar los 45 días del experimento, y sus respectivas ganancias

Variable	UE 1	UE 2	UE 6	UE 8
S (%)	100	100	95	100
Phi (g)	49.9 \pm 15.52	48.3 \pm 16.05	50.0 \pm 13.62	48.4 \pm 14.81
Phf (g)	175.9 \pm 88.73	167.2 \pm 72.12	164.8 \pm 61.4	183.5 \pm 64.51
GB (%)	252.5	246.4	229.7	279.3
LEi (cm)	10.8 \pm 1.2	10.7 \pm 1.3	10.8 \pm 0.9	10.8 \pm 1.1
LEf (cm)	15.3 \pm 2.4	15.3 \pm 2.4	15.5 \pm 1.9	15.8 \pm 1.8
GLE (cm)	4.5	4.6	4.7	5.0
GPH (g)	126.0	118.9	114.8	135.1
PSi (g)*	7.4 \pm 1.60			
PSf (g)	56.8 \pm 31.59	48.8 \pm 18.78	52.8 \pm 20.36	54.9 \pm 19.32
GPS (g)	49.4	41.4	45.4	47.5
TCE (%PS d ⁻¹)	2.8	2.8	2.7	2.9
P (k.m ⁻³)	5.2	5.1	4.7	5.4

Sobrevivencia (S), peso húmedo inicial (PHi), peso húmedo final (PHf), ganancia biomasa (GB), longitud estándar inicial (LEi), longitud estándar final (LEf), ganancia en longitud estándar (GLE), ganancia en peso húmedo (GPH), ganancia en peso seco (GPS), tasa de crecimiento específica (TCE), productividad (P). *Tomado de una submuestra de cada tratamiento

Tabla 4. Resultados finales (media \pm desviación estándar) de las variables medidas a los peces mantenidos en agua de mar al finalizar los 45 días del experimento, y sus respectivas ganancias

Variable	UE 3	UE 4	UE 5	UE 7
S (%)	80	95	75	95
PHi (g)	52.4 \pm 12.7	54.2 \pm 13.24	50.3 \pm 11.36	46.4 \pm 15.45
PHf (g)	186.8 \pm 56.3	179.3 \pm 55.66	154.1 \pm 64.68	140.2 \pm 59.86
GB (%)	256.5	230.9	206.2	201.9
LEi (cm)	10.7 \pm 0.9	10.6 \pm 0.77	10.6 \pm 0.76	10.3 \pm 1.04
LEf (cm)	16.1 \pm 1.4	15.9 \pm 1.6	15.2 \pm 2.2	14.8 \pm 1.9
GLE (cm)	5.4	5.3	4.6	4.5
GPH (g)	134.4	125.1	103.8	93.8
PSi (g)*	8.6 \pm 1.12			
PSf (g)	50.9 \pm 13.61	54.8 \pm 17.22	46.7 \pm 20.66	42.8 \pm 16.70
GPS (g)	42.3	46.2	38.1	34.2
TCE (%PS d ⁻¹)	2.8	2.6	2.5	2.4
P (k.m ⁻³)	4.2	5.1	3.0	3.9

Sobrevivencia (S), peso húmedo inicial (PHi), peso húmedo final (PHf). ganancia biomasa (GB), longitud estándar inicial (LEi), longitud estándar final (LEf), ganancia en longitud estándar (GLE), ganancia en peso húmedo (GPH), ganancia en peso seco (GPS), tasa de crecimiento específica (TCE), productividad (P). *Tomado de una submuestra de cada tratamiento.

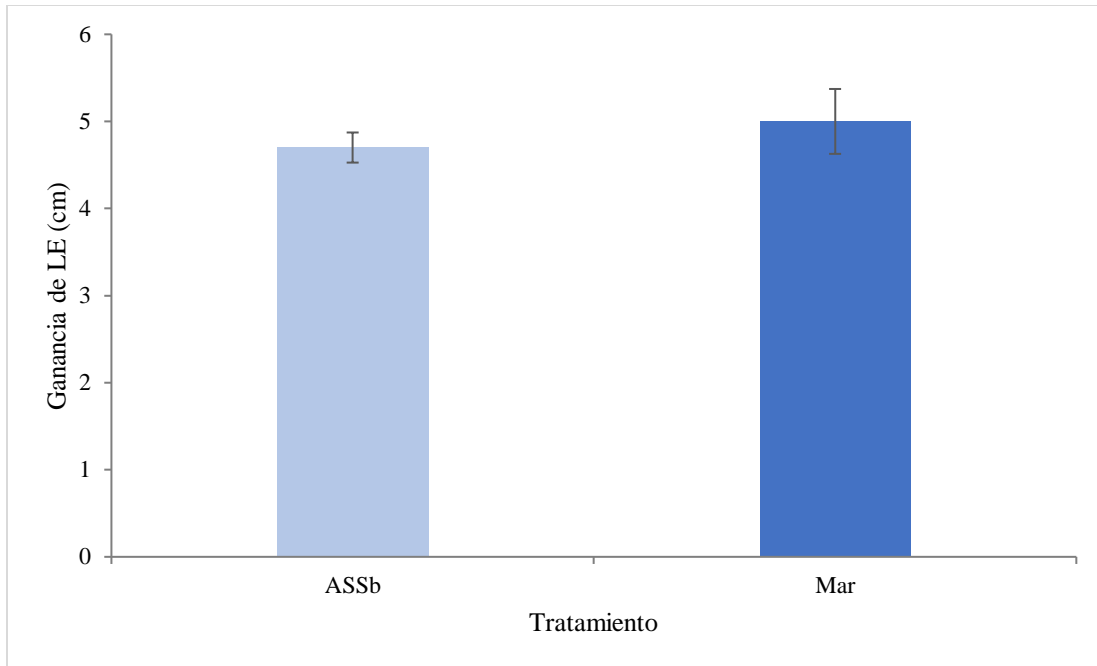


Fig. 17 Ganancia de longitud estándar (LE, cm) media de peces mantenidos en agua salada subterránea (ASSb) y en agua de mar (Mar) durante un lapso de 45 días. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

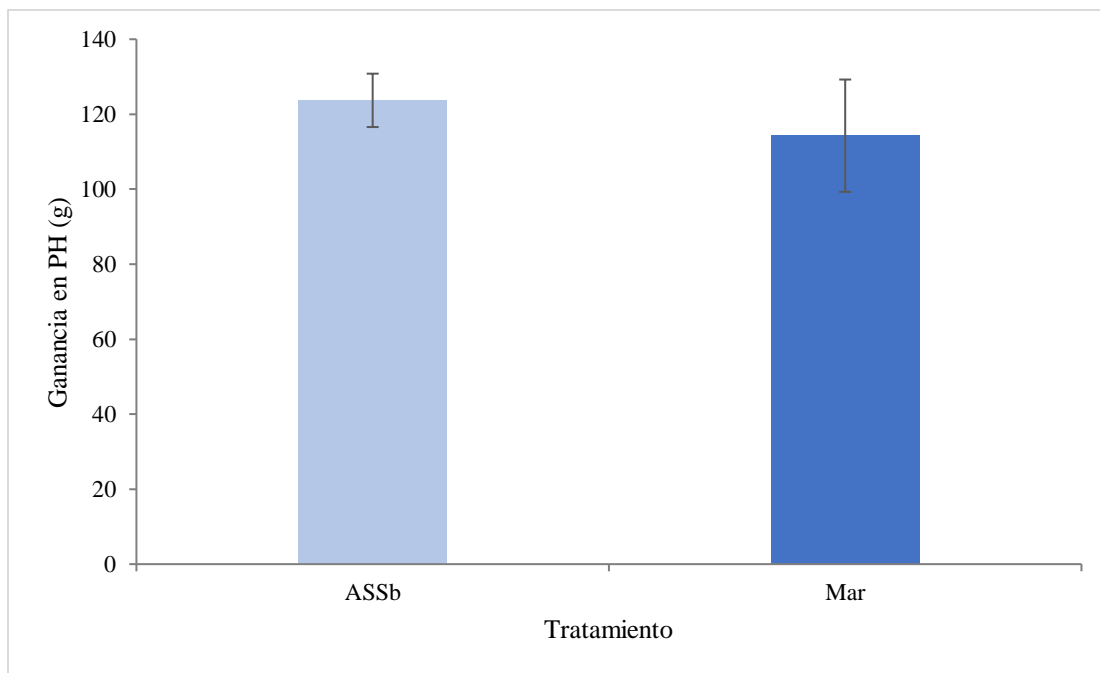


Fig. 18 Ganancia en peso húmedo (PH, g) media de peces mantenidos en agua salada subterránea (ASSb) y en agua de mar (Mar) durante un lapso de 45 días. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

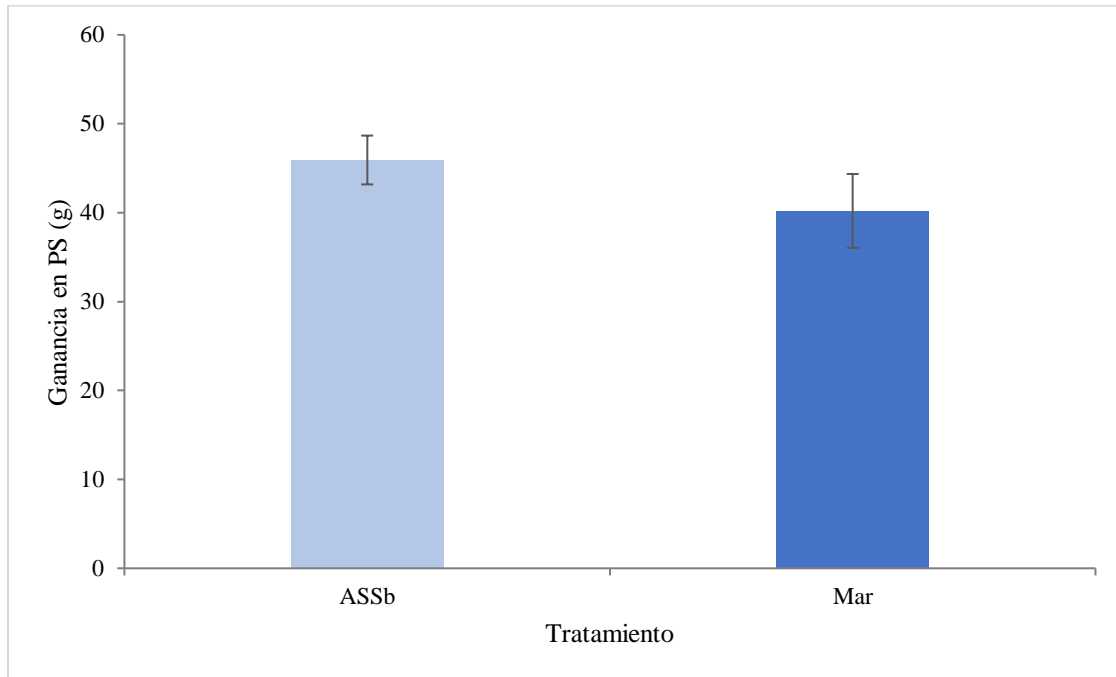


Fig. 19 Ganancia en peso seco (PS, g) media de peces mantenidos en agua salada subterránea (ASSb) y en agua de mar (Mar) durante un lapso de 45 días. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

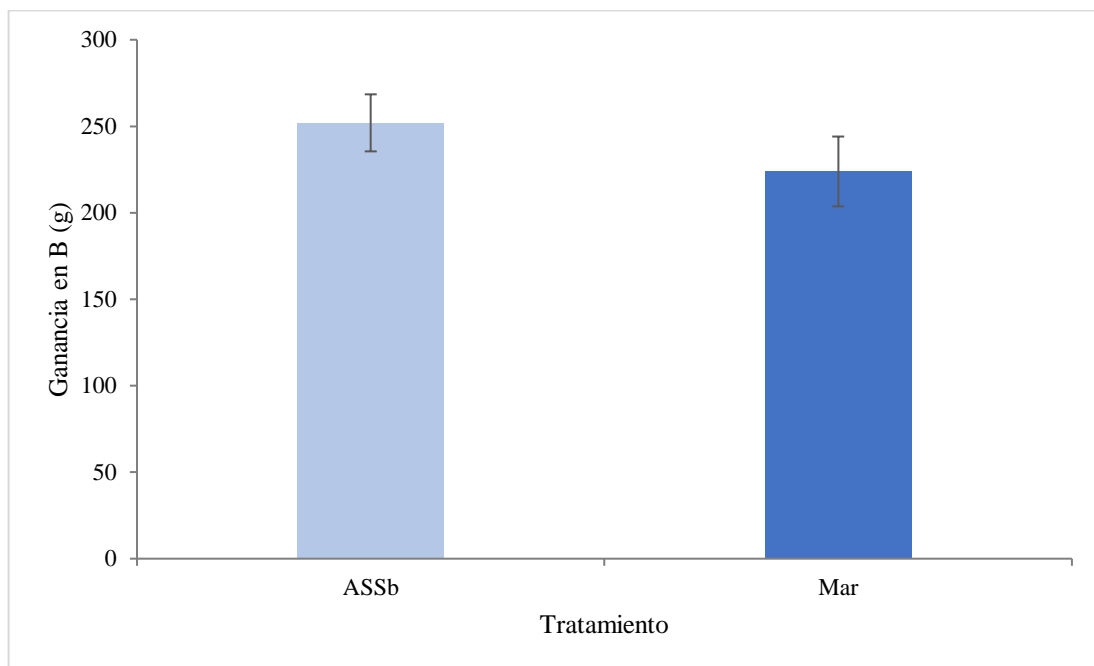


Fig. 20 Ganancia en biomasa (B, g) de peces media por estanque en agua salada subterránea (ASSb) y en agua de mar (Mar) durante un lapso de 45 días. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

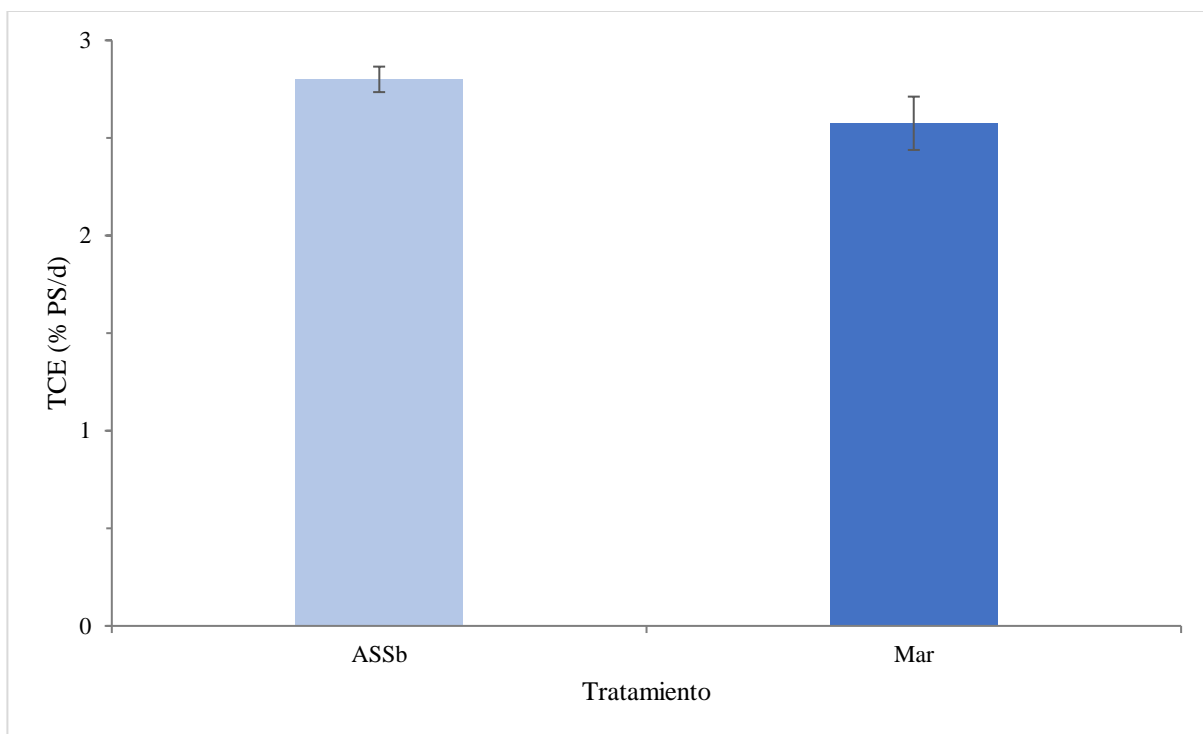


Fig. 21 Tasa de Crecimiento Específico (TCE, (% de peso seco d^{-1})) media de peces por estanque en agua salada subterránea (ASSb) y en agua de mar (Mar) durante un lapso de 45 días. Las barras de error representan el intervalo de confianza al 95%.

La productividad, expresada como kilogramos por m^3 de agua utilizada a lo largo del experimento (Tablas 3 y 4), fue ligeramente superior en el ASSb (Fig. 22), pero no difirió significativamente entre tratamientos ($t = 2.323$, $gl = 6$, $p = 0.06$). Sin embargo, en acuicultura una productividad superior en 5 kg, como ocurrió aquí con el ASSb, debe ser tomada en cuenta cuando se extrapola a mayores cantidades de cultivo.

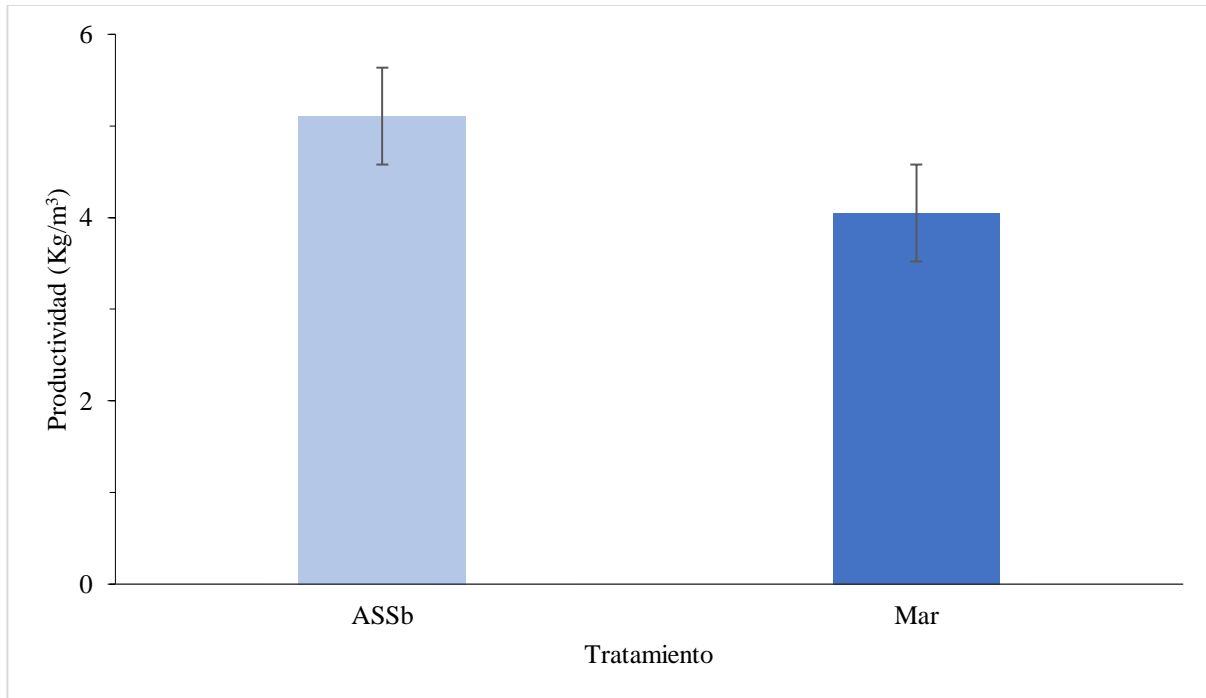


Fig. 22 Productividad de peces ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) en estanques de agua salada subterránea (ASSb) y estanques de agua de mar (Mar), durante un lapso de 45 días.

6.1 Calidad de agua

Los datos fisicoquímicos del agua, registrados durante todo el experimento, se presentan en la tabla 5. Los resultados finales para ambos tratamientos (ASSb y AM) demostraron estar dentro del rango óptimo para el crecimiento correcto de las tilapias. Los valores óptimos se han establecido a partir de distintos estudios previos que han realizado distintos autores, con el objetivo de tener los mejores resultados en el crecimiento y desarrollo de las tilapias en la acuicultura. Estos datos se pueden observar en la tabla 6, y figuras 23 a 26.

Tabla 5. Promedio de datos en calidad de agua para agua salada subterránea (ASSb) y agua marina (Mar).

Parámetros	ASSb	Mar
pH	7.67 ± 0.15	7.83 ± 0.10
Oxígeno DO (mg/L)	6.50 ± 0.37	6.24 ± 0.34
Salinidad (UPS)	31.08 ± 0.18	36.68 ± 0.23

Temperatura (°C)	27.64 ± 0.5	28.38 ± 0.82
Amoniaco (NH ₃) ppm*	0.0092	0.012
NO ₂ (ppm)	9.25 ± 6.56	10.61 ± 6.72
NO ₃ (ppm)	0	0
Alcalinidad (ppm)	140.18 ± 3.17	123.07 ± 3.93
Dureza (ppm)	338.46 ± 29.45	347.18 ± 29.30
Ca (ppm)	451.83 ± 44.34	458.08 ± 29.27
K (ppm)	461 ± 81.52	453.93 ± 40.95
Fósforo (ppm)	21.08 ± 20.55	7.58 ± 9.91

*Parámetro calculado a partir de TAN para conocer la concentración del amoniaco (NH₃)

Tabla 6. Comparación de los parámetros obtenidos en los estanques con agua salada subterránea (ASSb) y los estanques de agua marina (Mar) con los valores óptimos recomendados por la literatura.

Parámetro	Óptimo*	ASSb	AM
Alcalinidad (ppm)	100 – 200	133 – 145	115 – 137
Dureza (ppm)	50 – 300	293 – 385	291 – 392
Amonio (ppm)	Menor a 0.1	0.0092	0.012
Calcio %	0.04 – 0.5	0.039 – 0.0497	0.043 – 0.051
Nitritos (ppm)	0 – 40	0 – 24	0 – 25
Nitratos (ppm)	0 – 40	0	0 – 0.1

*Fuentes: Rodríguez-Monte de Oca et al. (2015); SAGARPA (2008); Sanz (2009); Torres-Novoa & Hurtado-Nery (2012).

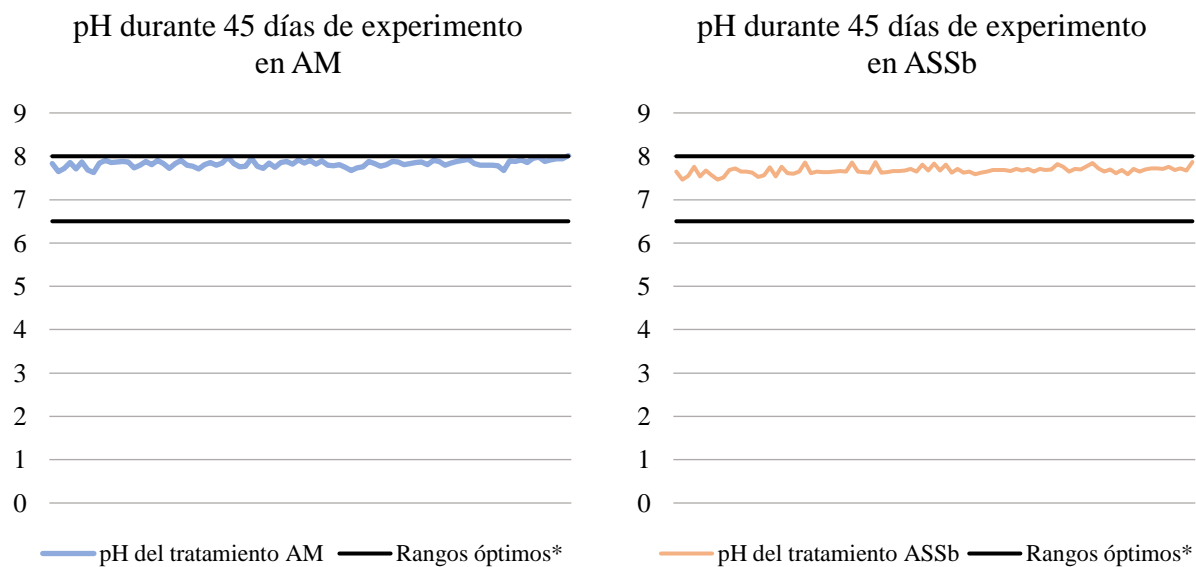


Fig. 23. Comparación del pH en ambos tratamientos durante 45 días de experimento.

*fuentes: Rodríguez-Monte de Oca et al. (2015); SAGARPA (2008); Sanz (2009); Torres-Novoa & Hurtado-Nery (2012).

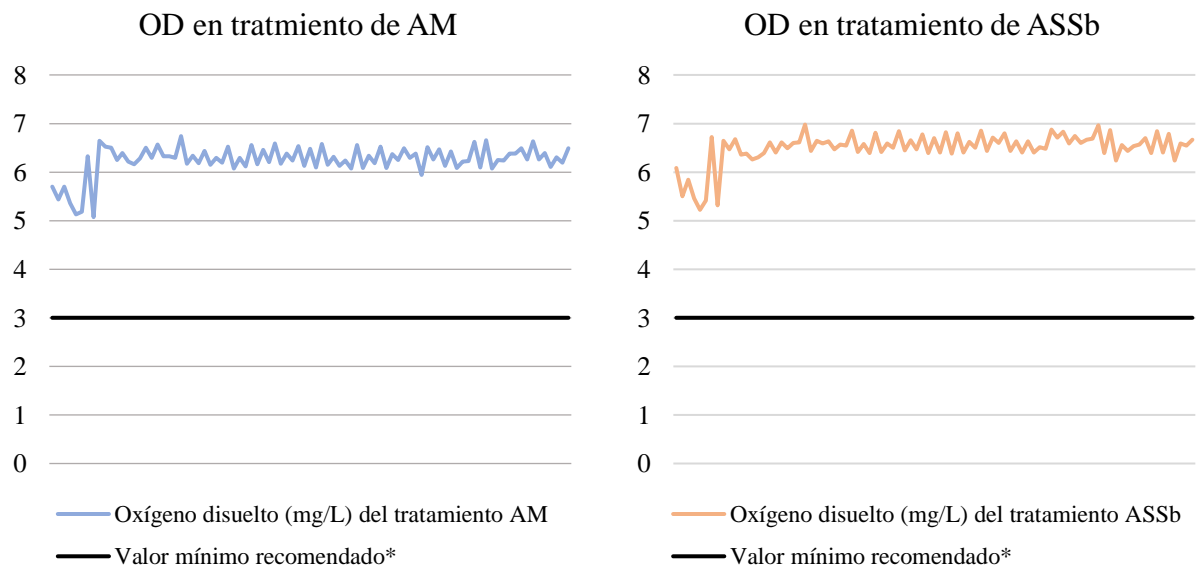


Fig. 24. Comparación de oxígeno disuelto en ambos tratamientos durante 45 días de experimento.

*Fuentes: Rodríguez-Monte de Oca et al. (2015); SAGARPA (2008); Sanz (2009); Torres-Novoa & Hurtado-Nery (2012).

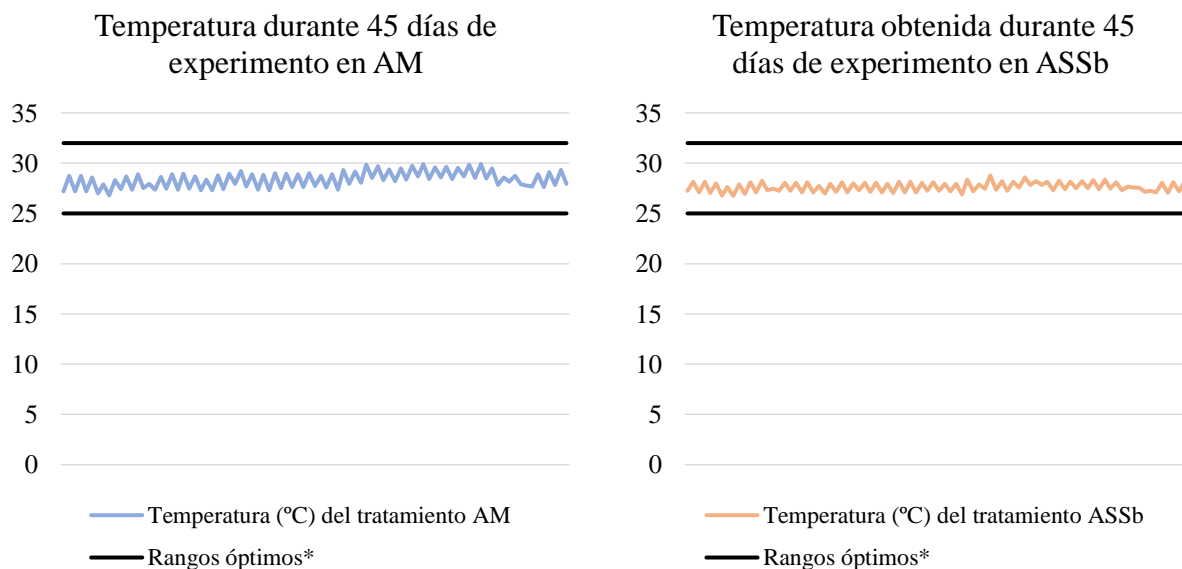


Fig. 25. Comparación de la temperatura (°C) en ambos tratamientos durante 45 días de experimento.
 *fuentes: Rodríguez-Monte de Oca et al. (2015); SAGARPA (2008); Sanz (2009); Torres-Novoa & Hurtado-Nery (2012).

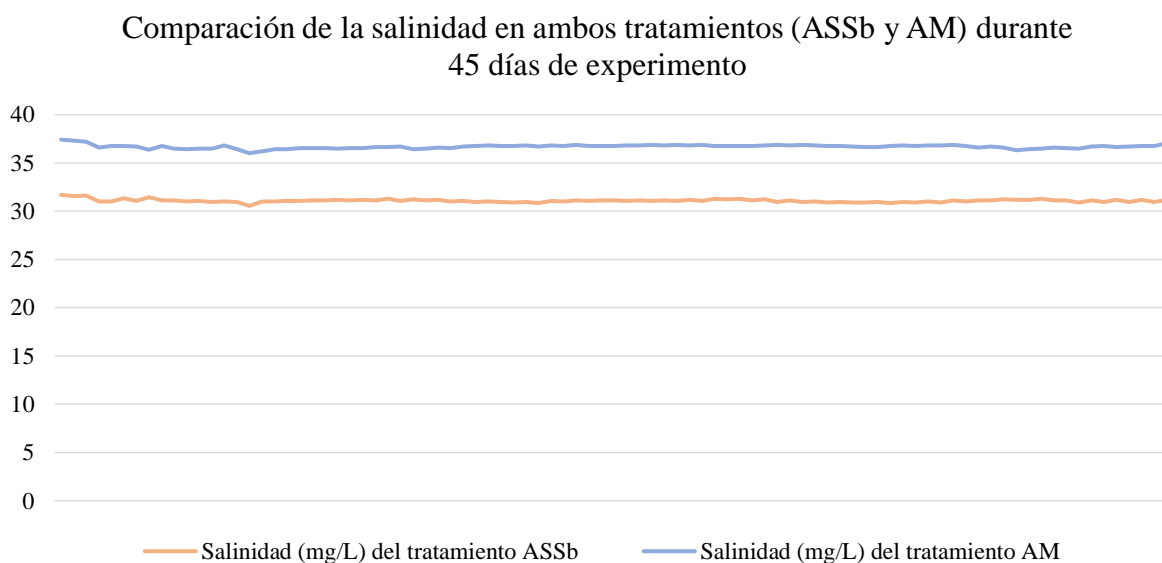


Fig. 26. Comparación de la salinidad (mg/L) en ambos tratamientos durante 45 días de experimento.
 *fuentes: Rodríguez-Monte de Oca et al. (2015); SAGARPA (2008); Sanz (2009); Torres-Novoa & Hurtado-Nery (2012).

En ambos tratamientos, todos los parámetros estuvieron dentro de los rangos óptimos (establecidos por la literatura) para el desarrollo y cultivo de la tilapia (ver figs. 23 a 26).

6.2 Alimentación y crecimiento

El alimento suministrado fue Pellet para cultivos de tilapia, el cual se ofrecía diariamente en cuatro tomas. En el tratamiento de agua salada subterránea se inició en promedio con 21.97 g y se finalizó con 77.25 g. El consumo de alimento se observó lento los primeros días, lo cual podría deberse al estrés por la manipulación y al montaje del experimento. El consumo del alimento aumentó aproximadamente por el día 11, y en el transcurso de los días el consumo aumentaba cada vez más, como se observa en la figura 27.

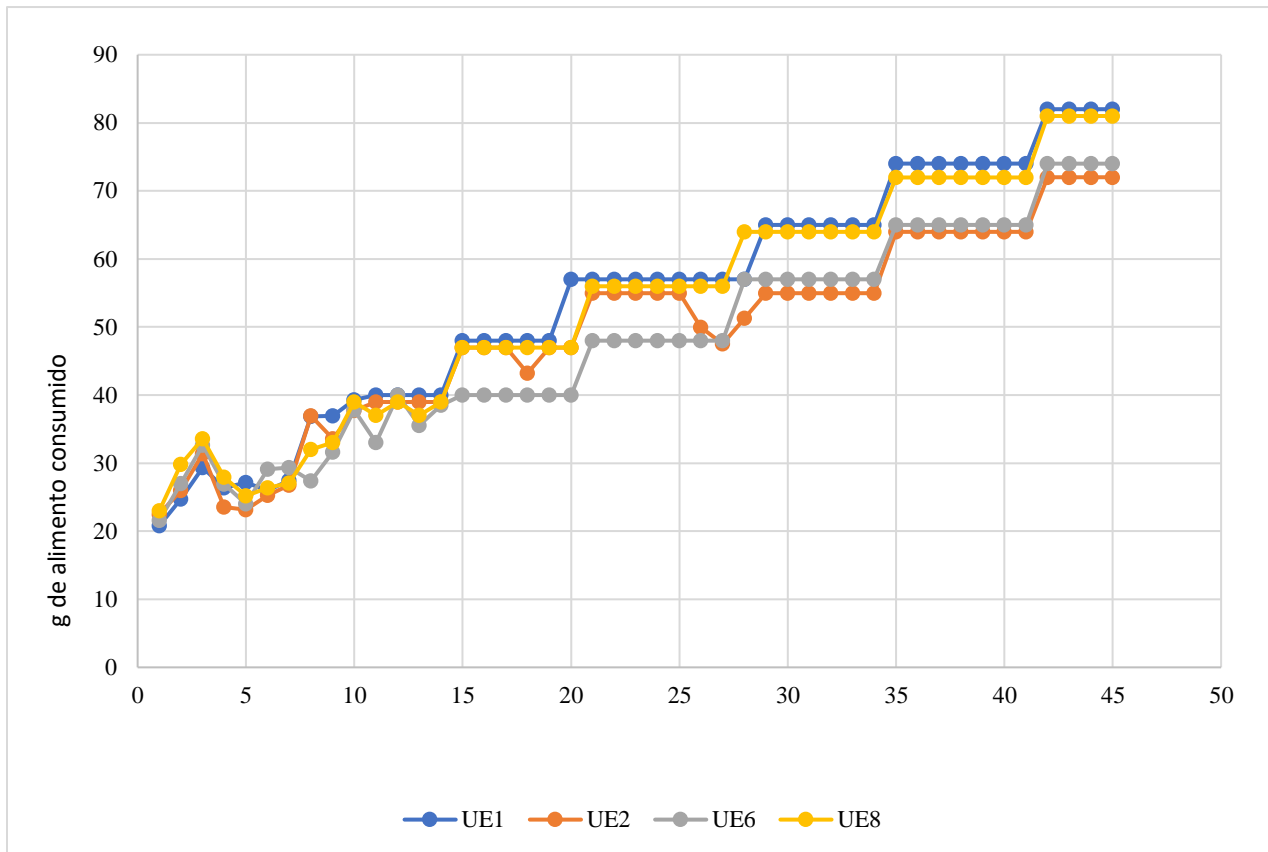


Figura 27. Alimento consumido (g) diariamente a lo largo de 45 días en cada una de las unidades experimentales (UE) del tratamiento con agua salada subterránea

En el tratamiento con agua de mar, el consumo inicial fue en promedio 19.23 g y se finalizó con 65.75 g. En este tratamiento, al igual que en otro, el consumo de alimento se observó lento, pero el consumo total del alimento ofrecido empezó aproximadamente por el día 15, como se

aprecia en la figura 28, y conforme pasaban las semanas el aumento de alimento ofrecido no aumentó de igual manera en todas las unidades experimentales.

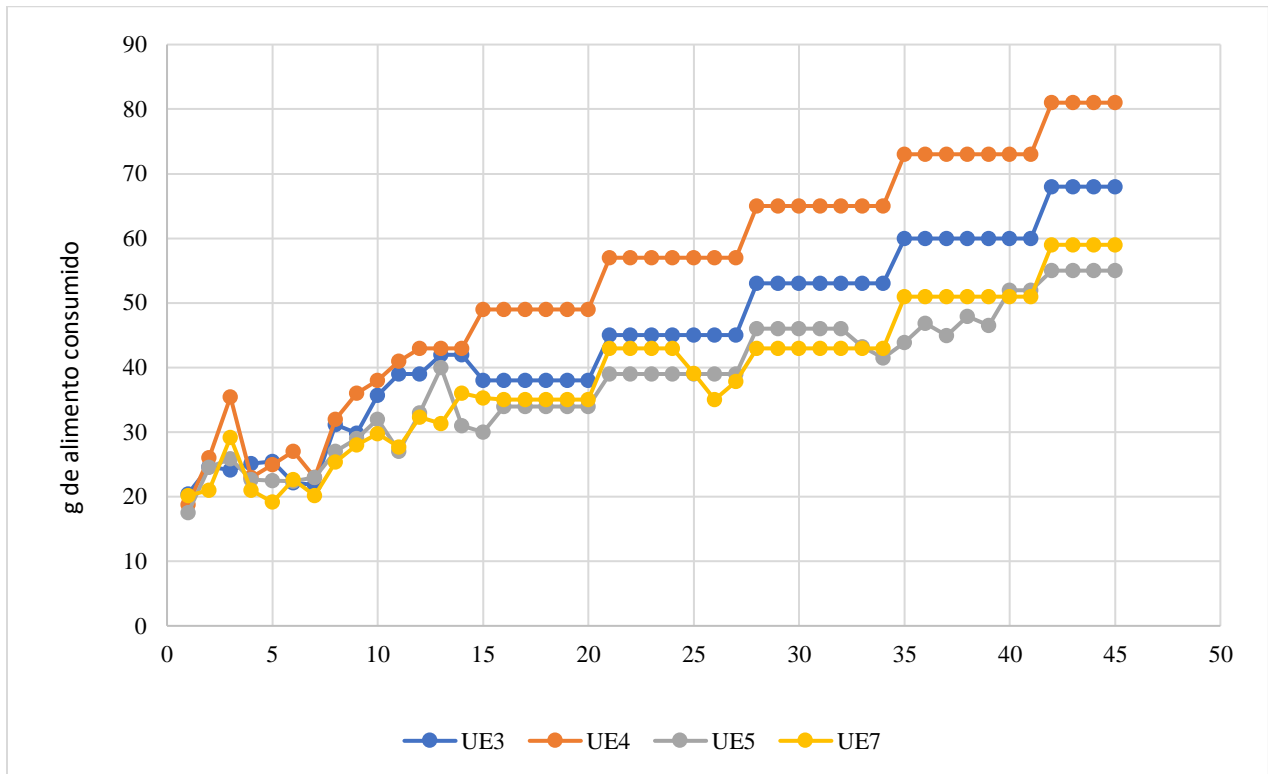


Figura 28. Alimento consumido (g) diariamente a lo largo de 45 días en cada una de las unidades experimentales (UE) del tratamiento con agua de mar.

6.3 Respuesta a la salinidad

La salinidad media (\pm DE) para las unidades experimentales del tratamiento con agua salada subterránea fue de 31.08 ± 0.18 y para las unidades experimentales del tratamiento con agua marina fue de 36.68 ± 0.23 . La respuesta de los peces fue positiva en ambos casos, ya que la sobrevivencia fue de 99% en ASSb y de 86% en agua de mar.

Sin embargo, en ambos casos se presentó variabilidad en el tamaño y la ganancia de peso entre los peces. Asimismo, los peces de menor tamaño eran los que presentaban más lesiones en la parte de la aleta caudal, en el pedúnculo caudal y cerca de la aleta anal, como se aprecia en las

figuras 30 y 31. Las observaciones pudieron establecer que estas lesiones se debían a mordidas realizadas por las tilapias de mayor tamaño, ya que las tilapias son territoriales y establecen jerarquías.

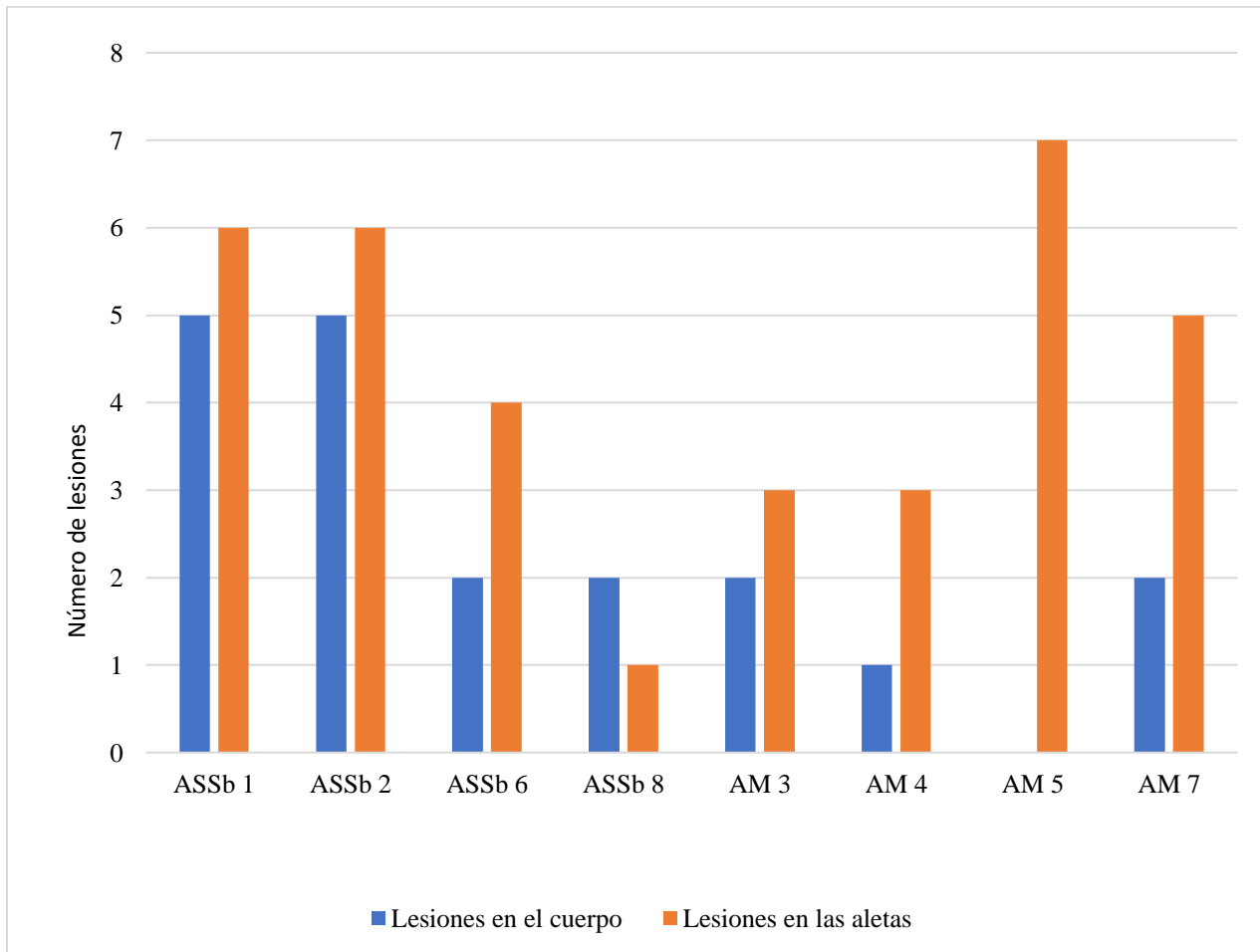


Fig. 29 Número de lesiones (lesiones en el cuerpo o lesiones en las aletas) por unidad experimental en cada tratamiento. ASSb: agua salada subterránea; AM: agua de mar.



Fig. 30 Comparación de peces sanos y peces con lesiones en el tratamiento de agua salada subterránea. Foto izquierda: tilapia completa y sana. Foto derecha: tilapia que presentó mordeduras por parte de otras tilapias de mayor tamaño, generando varias lesiones.



Fig. 31 Comparación de peces sanos y peces con lesiones en el tratamiento de agua de mar. Foto izquierda: tilapia completa y sana. Foto derecha: tilapia que presentó mordeduras por parte de otras tilapias de mayor tamaño, generando varias lesiones, y presentó un crecimiento muy reducido.

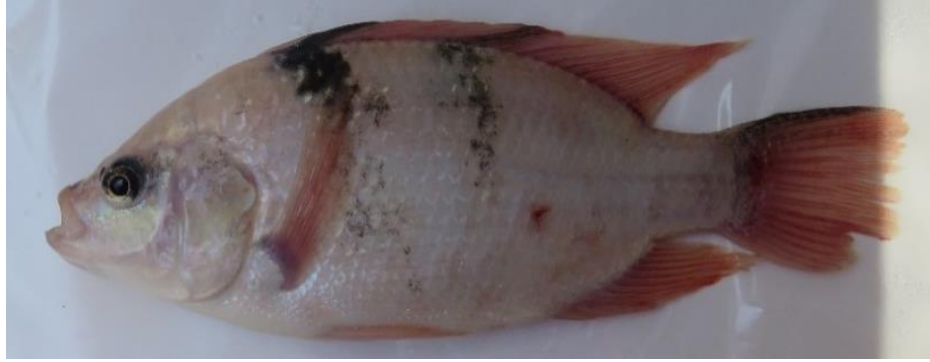


Fig. 32 Tipos de lesiones encontradas durante el experimento: fotografías que ilustran las distintas formas en las que se presentaron las lesiones en los peces. Arriba: se aprecian lesiones solo en la aleta caudal, aunque este tipo de lesiones también se podían encontrar en las aletas dorsal, lateral y anal. En medio: se muestran lesiones (laceraciones) en la base de la aleta anal; estas lesiones podían ser más de una y se podían esparcir desde el pedúnculo caudal hasta la parte media del cuerpo. Abajo: tilapia con ambos tipos de lesiones.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que la tilapia Pargo-UNAM (*Oreochromis sp.*) puede ser cultivada en agua salada subterránea, con un excelente crecimiento y nivel de sobrevivencia (99%). Por tanto, la calidad del agua salada subterránea es una opción viable para el cultivo de la tilapia, a juzgar por los valores de sobrevivencia, crecimiento y ganancia de biomasa, que fueron similares o superiores a los obtenidos por las tilapias cultivadas en agua de mar. Es importante mencionar que los resultados obtenidos en el tratamiento de agua de mar también fueron favorables, obteniéndose pesos y tallas de peces cercanos a los obtenidos en el tratamiento de agua salada subterránea, pero con un 86 % de sobrevivencia. La diferencia en kgm.m^{-3} es de 5 kilos, una cantidad a considerar cuando se extrapola a estanques de mayor capacidad.

El éxito en el cultivo no solo depende de la alta tolerancia del organismo para sobrevivir en altas salinidades, sino también de las técnicas para su manejo, como lo son: el buen manejo, aclimatación, alimento, y calidad del agua que cubra las necesidades básicas, así como los nutrientes necesarios, para una especie determinada (SAGARPA, 2008). En estudios previos, se obtuvieron sobrevivencias del 60% en aguas con salinidades cercanas a 35 mg/L, donde se demuestra que en la metodología el cambio gradual lo hacen con salinidades altas, igual o por encima de 5 mg/L, generando estrés sobre los organismos, provocando una disminución de tamaño, poca biomasa y altas mortalidades.

Se han realizado distintos estudios para conocer los parámetros óptimos para el crecimiento de la tilapia (tilapia del Nilo, tilapia de Florida y algunas de sus hibridaciones) para tener los mejores resultados en crecimiento y desarrollo de los peces en el cultivo. Algunas variedades de tilapia crecen relativamente bien en agua salada (Al-Amoudi, 1987; Barreto-Curiel et al., 2015; Correia et al., 2019), pero en estudios previos con el Pargo-UNAM se ha encontrado que estos peces pueden sobrevivir y desarrollarse en salinidades a las que otras tilapias presentarían una mortalidad alta, una disminución en el tamaño, o enfermedades en las branquias (Ramírez-Paredes et al., 2012; Vieira de Azevedo et al., 2015). En el presente estudio, se encontró que el agua salada subterránea es una opción viable para el cultivo de la tilapia, con sobrevivencia de 99%, y de igual manera el agua de mar es un medio óptimo para el cultivo de la tilapia, lo cual

este trabajo apoya la idea de que es posible cultivar tilapia de manera exitosa en salinidades altas (hasta de 36 mg/L).

La tilapia Pargo-UNAM muestra un buen desempeño a distintas temperaturas (Medina-Romo et al., 2018), característica heredada de los distintos tipos de tilapia que la conforman, lo cual resulta muy benéfico para su cultivo. En el presente trabajo, la temperatura se mantuvo dentro de los rangos óptimos en ambos tratamientos, lo que podría reflejar en parte los buenos resultados obtenidos.

De todas las variables de respuesta de los peces, la única en la que hubo diferencias significativas entre tratamientos fue la sobrevivencia, que fue superior en el agua salada subterránea. La tasa de crecimiento específica y la productividad, si bien no difirieron significativamente entre tratamientos, también tuvieron valores superiores en el agua salada subterránea que en el agua de mar. En particular, la productividad en el agua salada subterránea, con $21.68 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, fue un poco más de $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ superior que en el agua de mar, que presentó un promedio de $16.23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, pero teniendo en consideración que la biomasa en el tratamiento de agua de mar era menor, del cual posiblemente podría mejorarse el resultado si se toman otras consideraciones en la aclimatación de los organismos. Este valor es digno de ser tomado en cuenta debido a las áreas generalmente reducidas que se tienen a disposición en los cultivos intensivos (Castelló-Orvay, 1993; González-Laxe et al., 2004). De esta manera, los resultados confirman que el Pargo-UNAM puede ser cultivado en aguas con salinidades altas, tanto marinas como el agua salada subterránea, pero con una ventaja en esta última.

En este trabajo se presentó una variabilidad marcada en el tamaño, ganancia de peso y lesiones cutáneas entre peces de cada tratamiento. Los peces que tenían menor tamaño eran los que presentaban más lesiones en la parte de la aleta caudal, en el pedúnculo caudal y cerca de la aleta anal. Si bien existen estudios que demuestran que las laceraciones se generan por grandes y rápidos cambios de salinidad, que a la vez generan una susceptibilidad a contraer algún tipo de patógeno (Choi et al., 2013). Otros estudios han propuesto que los cambios de salinidad en los peces generan un cambio de comportamiento, por el estrés, generando agresividad y con esto ataques entre los peces que generen heridas, aunque se ha demostrado que estos comportamientos agresivos son mínimos (Lehtonen et al., 2018, Thomas-Lorenz et al., 2015). La tilapia establece jerarquías, en las que la mayoría de las veces las de mayor tamaño pelean más

por la dominancia y las hembras suelen ser agresivas si están en etapa reproductiva. Estas podrían ser algunas de las causas que pudieron resultar en que las tilapias de mayor tamaño lesionaran (posiblemente mordiendo) a las de menores tamaños. Este fenómeno es importante para considerar en los trabajos de acuicultura de pargo-UNAM, ya que la calidad visual es un factor importante por parte del consumidor al momento de escoger en el mercado. Es por esto por lo que los productores separan a los animales en cultivo por tallas varias veces durante su cultivo (Biol. Sergio Monroy Pulido, comunicación personal).

Para los productores, es importante señalar que, con base en el presente estudio, se considera a la tilapia Pargo UNAM un excelente recurso para el cultivo, un pez que por la hibridación demuestra una alta resistencia a distintos ambientes. Sin embargo, las ahora comunes arribazones de sargazo y las mareas marrones que estas generan afectan la calidad del agua de mar cercana a la costa (van Tussenbroek et al., 2017; Rodríguez-Martínez et al., 2019, 2020), por lo que el uso de esta agua podría tener consecuencias negativas para el cultivo del pargo-UNAM. En cambio, el uso de agua salada subterránea podría ayudar a un mejor cultivo del “Pargo UNAM”. En este caso se trata del agua salada subterránea que en la zona costera de la Península de Yucatán es abundante después de los 40 m de profundidad y puede ser un recurso potencial. No es el caso de otros lugares en donde la salinización de los mantos acuíferos es un proceso cada vez más frecuente por los cambios en el suelo, ya sea por la sobreexplotación o los cambios geomorfológicos (Hernández-Terrones et al., 2011).

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que la tilapia Pargo-UNAM (*Oreochromis sp.*) puede ser cultivada en agua salada subterránea obteniendo un excelente crecimiento, sobrevivencia (99%), y ganancia de biomasa.
- El cultivo de tilapias en agua de mar también fue favorable, obteniéndose pesos y tallas de peces cercanos a los obtenidos en el tratamiento de agua salada subterránea, pero con un 86 % de sobrevivencia.
- El agua salada subterránea y de mar tienen la calidad necesaria para el óptimo crecimiento de estas tilapias, sus características están dentro del rango óptimo para el correcto desarrollo del cultivo de estos peces. La similitud entre ambas aguas se debe a la intrusión del agua de mar al agua subterránea, lo que genera que las propiedades sean muy similares.
- La productividad en el agua salada subterránea fue de 21.69 kg.m^{-3} , fue un poco más de 5 kg.m^{-3} superior que en el agua de mar, que presentó un promedio de 16.23 kg.m^{-3} .
- Se ha demostrado que Pargo UNAM tiene la capacidad para sobrevivir en altas salinidades, en este estudio el manejo de los organismos, así como las técnicas para su manejo utilizando las recomendaciones de estudios previos, son parte fundamental para la obtención de altos índices de sobrevivencia.
- El agua salada subterránea, un recurso muy abundante en la Península de Yucatán, demostró ser un recurso importante para el cultivo de organismos acuáticos, en este trabajo siendo Pargo UNAM, teniendo resultados de hasta el 99% de sobrevivencia.
- La calidad visual es un factor importante por parte del consumidor, por eso es importante considerar que las tilapias en ambos tratamientos de agua presentaron laceraciones en el cuerpo y en las aletas. Es recomendable separar los animales por tallas durante el proceso de cultivo para evitar que las más grandes ataquen a las más pequeñas.

Referencias

- Al-Amoudi, M. M. (1987). Acclimation of commercially cultured *Oreochromis* species to sea water - an experimental study. *Aquaculture*, 65(3–4), 333–342.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90245-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90245-6)
- Barreto-Curiel, F., Durazo, F.E. & Viana, M.T. (2015). Growth, ammonium excretion, and oxygen consumption of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis aureus*) grown in seawater and freshwater. *Ciencias Marinas*, 41(3): 247-254.
- Castelló Orvay, F. (1993). *Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción* (Primera ed). Universitat de Barcelona.
- Castillo-Capitán, G., Alvarado-Gómez, L. C., Velázquez-Silvestre, M. G., Retureta-Aponte, A., & Torres-Alonso, O. (2014). Crecimiento de dos variedades de mojarra tilapia en jaulas flotantes, bajo tres densidades de población. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(3), 490–495.
- Choi, K., Cope, W. G., Harms, C. A. & Law, J. M. (2013). Rapid decreases in salinity, but not increases, lead to immune dysregulation in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *J Dis*, 36: 389-399.
- CONAGUA. (2019). Estadísticas del Agua en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. CDMX.
- CONAPESCA. (2021). Producción y consumo de tilapia en el país. *Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura*, 1–4.
- Correia, D., Escárcega-Miranda, B., Barreto-Curiel, F., Mata-Sotres, J., del Río-Zaragoza, O., Viana, M.T., & Rombenso, A.N. (2019). Growth performance and body composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. aureus*) fed with different protein levels raised in saltwater. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47(5): 853–859.
<https://doi.org/10.3856/vol47-issue5-fulltext-15>
- Cuéllar Lugo, M. B., Asiain Hoyos, A., Juárez Sánchez, J. P., Reta Mendiola, J. L., & Gallardo López, F. (2018). Evolución normativa e institucional de la Acuicultura en México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 15(4), 541–564.

<https://doi.org/10.22231/asyd.v15i4.911>

David-Ruales, C. A., & Vásquez-Torres, W. (2010). Transporte iónico en el epitelio branquial de peces de agua dulce. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(1), 85-99.

Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E. & Thurston, R. V. (1975). Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *J. Fish Res. Board Can.*, 32, 2379-2383.

El-Sayed, A.-F. M. (2019) *Tilapia Culture*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon. UK. 294 pp.

FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura: la sostenibilidad en acción*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9231es>

Fitzgibbon, Q.P., Simon, C.J., Smith, G.G., Carter, C.G., & Battaglione, S.C. (2017) Temperature dependent growth, feeding, nutritional condition and aerobic metabolism of juvenile spiny lobster, *Sagmariasus verreauxi*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 207: 13–20

González-Herrera, R. A., Albornoz Euán, B. S. I., Sánchez y Pinto, I. A., & Osorio Rodríguez, J. H. (2018). El acuífero yucateco. Análisis del riesgo de contaminación con apoyo de un sistema de información geográfica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(4), 667–683. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.04.09>

González-Laxe, F., M. Lupin H. & Bretón de la Cal J. A. (2004). *Acuicultura: Producción, Comercio y Trazabilidad*. 1ª edición. Coruña, España.

Hernández-Terrones, L., Rebolledo-Vieyra, M.; Merino-Ibarra, M., Soto, M., Le-Cossec, A., Monroy-Ríos, E. (2011). Groundwater pollution in a karstic region (NE Yucatan): Baseline nutrient content and flux to coastal ecosystems. *Water, Air & Soil Pollution* 218:517–528.
<https://doi.org/10.1007/s11270-010-0664-x>

INAPESCA (2012). *Acuicultura tilapia: Acuicultura comercial*. *Diario oficial: subdelegaciones de pesca*, 66–69.

Kropielnicka-Kruk, K., Trotter, A.J., Fitzgibbon, Q.P., Smith, G.G., & Carter, C.G. (2019). The effect of conspecific interaction on survival, growth and feeding behaviour of early juvenile

- tropical spiny lobster *Panulirus ornatus*. *Aquaculture* 510: 234–247.
- Lehtonen, T. K., Svensson, P. A. & Wong, B. B. M. (2018). Aggressive desert goby males also court more, independent of the physiological demands of salinity. *Sci Rep.* 8.
- Luchini, L., & Panné Huidobro, S. (2015). Perspectivas en acuicultura: nivel mundial, regional y local. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, January 2008*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3695.5045>
- Medina-Romo, E. Z., Díaz, F., Re-Araujo, A. D., Ibarra-Castro, L., Garduño-Lugo, M., Latorre-Pozos, E. R., Larios-Soriano, E., & Rosas, C. (2018). Thermal tolerance and aerobic scope of tetra-hybrid tilapia Pargo-UNAM. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(5), 935–944. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-7>
- Mena-Herrera, A., Sumano-López, H., & Macías-Zamora, R. (2002). Efecto de la salinidad en el crecimiento de tilapia híbrida *Oreochromis mossambicus* (Peters) x *Oreochromis niloticus* (Linnaeus), cultivadas bajo condiciones de laboratorio. *Veterinaria México*, 33(1), 39–48.
<https://doi.org/10.21753/vmoa.33.001.61>
- Muñoz-Córdova, M. P. A. G., Mpa, B., & Muñoz, G. (2020). Manual del Pargo UNAM. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical*.
- Norzagaray Campos, M., Muñoz Sevilla, P., Sánchez Velasco, L., Capurro Filograsso, L., & Llánés Cárdenas, O. (2012). Acuicultura : estado actual y retos de la investigación en México. *Revista AquaTIC*, 37, 20–25.
- Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á., & Godínez-Siordia, D. E. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19–25. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1231>
- Ramírez-Paredes, J. G., Garduño-Lugo, M., & Muñoz-Córdova, G. (2012). Productive performance of a new synthetic red tilapia population “Pargo-UNAM” compared with that of wild-type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research*, 43(6), 870–878.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02902.x>
- Ribera Urenda, F. (2016). Salinidad y aguas subterráneas. In *Hidrogeología emergente*.

- Rodríguez-Martínez, R.E., Ruiz-Rentería, F., van Tussenbroek, B., Barba-Santos, G., Ecalante-Mancera, E., Jordán-Garza, G., & Jordán-Dahlgren, E. (2010). Environmental state and tendencies of the Puerto Morelos CARICOMP site, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 58: 23–43.
- Rodríguez-Martínez, R.E., Medina-Valmaseda, A.E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L.V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., vázquez-Yeomans, L., Francisco, V., & García-Rivas, M.C. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine Pollution Bulletin* 146: 201–205.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>.
- Rodríguez-Martínez, R.E., Roy, P.D., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo-Domínguez, S., Collado-Vides, L., García-Sánchez, M., & van Tussenbroek, B.I. (2020). Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ* 8: e8667. <https://doi.org/10.7717/peerj.8667>.
- Rodríguez-Monte de Oca, G. A., Román-Reyes, C., Alaniz-Gonzalez, A., Serna-Delval, C. O., Muñoz-Cordova, G., & Rodríguez-González, H. (2015). Effect of salinity on three tilapia (*Oreochromis* sp.) strains: hatching rate, length and yolk sac size. *International Journal of Aquatic Science*, 6(January), 96–106.
- Rosado-Platas, D. E., & Vilabos-Arroniz, J. (2014). La acuacultura mexicana: potencialidad, retos y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 35, 1065–1071.
- SAGARPA. (2008). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de Tilapia para la inocuidad alimentaria*.
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J. G., Carrillo, L., & González, R. A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, VII, 75–96.
- Sandoval-Muy, M. I., Guereña-Araiza, M. A., Miranda-Baeza, A., & Rivas-Vega, M. E. (2012). Metabolismo de rutina y actividad enzimática digestiva en juveniles de tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) aclimatada a diferentes salinidades. *BIOtecnia*, 14(2), 11. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i2.118>

- Sanz, F. (2009). *La nutrición y alimentación en piscicultura* (Fundación). Publicaciones científicas y tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Thomas Lorenz, O., Riccobono, S. A. & Smith, P. (2016). Effects of salinity on the survival and aggression of the invasive Rio Grande cichlid (*Herichthys cyanoguttatus*), *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 49:1, 1-8.
- Torres-Novoa, D. M., & Hurtado-Nery, V. L. (2012). Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Orinoquia*, 16(1), 63–68.
- van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>
- Vega-Villasante, F., Cortés-Lara, M. C., Zúñiga-Medina, L. M., Jaime-Ceballos, B., Galindo-López, J., Basto-Rosales, M. E. Ra., & Héctor, N.-S. (2010). Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala. ¿Alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México? *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 11(4), 1–15.
- Vieira de Azevedo, R., Dos Santos-Costa, K., De Oliveira, K. F., Flores-Lopes, F., Teixeira-Lanna, E. A., & Tavares-Braga, L. G. (2015). Respuestas de la tilapia del Nilo a diferentes niveles de salinidad del agua. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(5), 828–835.
<https://doi.org/10.3856/vol43-issue5-fulltext-3>