



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGIA

Crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* con diferentes dietas alimenticias
bajo condiciones experimentales

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

KENJI ANTONIO HARADA SEGUNDO

DIRECTOR DE TESIS: Dr. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ

ASESOR: BIOL. JOSE LUIS GUZMAN SANTIAGO

ASESORA: MTRA. GABRIELA SELENE ORTIZ BURGOS

SINODAL: M. EN C. MARISELA VALDES RUIZ

SINODAL: DRA. VERONICA MITSUI SAITO QUESADA



Ciudad de México

Agosto, 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

Agradezco enormemente a la UNAM y a la FES ZARAGOZA por permitirme demostrar que soy una persona altamente capaz, competente, decidida, enfocada y constante, pues a partir de hoy puedo decir que soy egresado de la mejor universidad de México.

A mi asesor, el doctor José Luíz Gómez Márquez, por haberme aceptado trabajar con usted, por todo el gran apoyo y conocimientos que me ha brindado, por su gran exigencia y paciencia, por su grandiosa y valiosa amistad, muchas gracias.

A la Maestra Marisela Valdez Ruiz, por su incondicional amistad y gran apoyo que he recibido de su parte, tanto en lo académico como personal, por sus palabras, sus consejos, su ayuda, muchas gracias por todos esos lindos momentos que pasé con usted.

A la Maestra Gabriela Selene Ortiz Burgos, por su gran amabilidad y paciencia, muchas gracias por su grandiosa eficacia con la que usted trabaja, por su ayuda en el desarrollo y termino de esta tesis.

Al profesor Jose Luis Guzmán Santiago, por ayudarme a ser coherente en la redacción y acomodo de esta tesis, por su amabilidad y respeto con la que se ha dirigido hacia mi persona, agradezco enormemente el ayudarme a cerrar con broche de oro este capítulo en mi vida.

A la Doctora Verónica Mitsui Saito Quesada, por su apoyo para lograr terminar de manera satisfactoria éste trabajo.

DEDICATORIA

Con todo el cariño del mundo, quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres que son un ejemplo a seguir para mí, porque gracias a ustedes tengo por objetivo ser mejor persona cada día de mi vida, muchas gracias por su incondicional apoyo, por sus palabras, su gran cariño, su esfuerzo, su valioso tiempo, porque gracias a ustedes logré terminar este trabajo y titularme.

Muchas gracias, papá por tantos kilómetros y kilómetros recorridos al pasearnos y llevarnos a la escuela a mis hermanos y a mí incluso estando en la universidad, por todas esas desmañanadas y desveladas por ayudarnos a estudiar, por heredarme ese maravilloso amor a la naturaleza, a los peces, gracias por manejar hasta Oaxaca, pues gracias a eso me enamoré de ese hermoso estado del cual ahora tengo como plan de vida vivir ahí, para poder disfrutarlo contigo, mi mamá y mis hermanos.

Muchas gracias, mamá por tu incondicional cariño, por tus palabras, tus porras que me echabas cuando se me hacía muy pesada la escuela, porque gracias a ti creo en el amor bonito, por tu ternura y dulzura, gracias por esas horas ayudándome a estudiar, espero algún día poder recompensarte junto con mi papá por ser los mejores papás del mundo y del mismo modo y si la vida me lo permite hacer que te sientas orgullosa de mí con Dr. antes de mi nombre.

A mi hermana Kaori, porque quiero ser como tú y aprender de ti, porque eres sumamente inteligente, constante, asertiva, diligente, cariñosa, bondadosa, generosa, realista, **ERES UNA ELEFANTE**, ya que siempre tienes los pies en la tierra, eres una mujer increíble.

A mi hermano Kazuki, porque a pesar de que no platiquemos mucho quiero decirte lo mucho que te quiero y que siempre podrás contar conmigo, porque quiero aprender de ti a decir las cosas como son, a ver las cosas con calma, a trabajar eficientemente, eres un hombre muy inteligente.

A mi tío Lalo por ser un tío ejemplar, por brindarme tu apoyo incondicional, porque todo lo que te he pedido me lo has dado, del mismo modo espero algún día poder recompensar todo lo que me has apoyado y también hacerte sentir orgulloso teniendo un doctorado.

A Lucero, quiero agradecerte por tu apoyo, consejos, risas, tiempo que me has brindado a lo largo de mi vida.

A mi tío Chuy y Hiroki, porque siempre que han podido me han ofrecido su apoyo, gracias por apoyarme en mis proyectos, o simplemente tener una agradable plática.

A mi primo Oswaldo, porque quiero ser como tú primo, pues eres un hombre inteligente que ha sabido superarse a si mismo, siempre piensas acertadamente, no

te conformas, siempre aspiras a más, a tener un rango cada vez más alto, “eres grande primo”.

A mi abuelita Aurea, quiero dedicarte este trabajo por ser una verdadera guerrera, increíblemente fuerte, noble, bondadosa, generosa, porque eres digna de mi admiración y respeto, por tu gran cariño y apoyo que me has brindado.

A mi abuelita Chenchu, te dedico esta tesis, por tu gran cariño, por ser la hermosa mujer valiente que supiste soportar los duros golpes de la vida, y que aun así sacaste adelante a mis tíos y mi mamá, por tus risas, por ayudarme a ver la vida de una manera muy positiva, porque al igual que tú, quiero vivir mi vida con una gran sonrisa pegada en mi rostro.

A mi familia Segundo, por apoyarme estos últimos meses para lograr terminar mi tesis, a mis tíos: Mari, Caro, Beba, Cesar, Santos, por invitarme de vez en cuando un taco, una sopita, un café. A mis primos por hacerme reír, tener pláticas amenas, ver películas o comer juntos.

A mi mejor amiga y hermana de otra sangre Jannet, porque quiero agradecerte todo lo que he vivido contigo, todas esas locas aventuras, todas esas pláticas, chismes, consejos, fiestas, estudio juntos, noches de tacos, tardes de jugar cartas en FES, muchas gracias, porque se que serás una gran bióloga.

A América, para resumir, te agradezco lo mismo que a Jann jajaj.

A Dianita, por siempre creer en mí, motivarme, por tener fe en mis proyectos, por aterrizarme en la realidad, gracias por poder confiar en ti, porque agradezco mucho tener una persona como tú en mi vida, gracias por todo.

A mi buen amigo IVAN FOCO por tu valiosa amistad, por complementarme, por las noches de fiesta y las tardes de fotos, tacos, helado, café, pan, boneless, por todo y mucho más, gracias.

Al buen Carlos alias el Frenillo, por estos siete años de amistad donde me has demostrado ser una fregonería de amigo, apoyándome siempre, dándome mis sapes siempre que lo requiero, gracias, amigo.

A mi querido amigo José Naranjo, en donde quiera que esté quiero darle las gracias por tanto apoyo que recibí de su parte, porque más que un amigo fue como el abuelito que nunca tuve, gracias por esas largas pláticas llenas de consejos y recomendaciones, por su inigualable ayuda.

A mi hermosísima Oaxaca que es mi motor, mi gasolina, mi motivación diaria para seguir adelante y motivarme a hacer mi vida en tus tierras, playas, mares, porque solo o con una pareja, con hijos o sin hijos, yo estaré contigo.

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción	1
2.1. <i>Panagrellus redivivus</i>	3
2.2. Diagnósis de la especie	3
3. Antecedentes	5
4. Pregunta de investigación	7
5. Justificación	7
6. Hipótesis	7
7. Objetivo	7
7.1. Objetivo general.....	7
7.2. Objetivos particulares.....	8
8. Zona de Estudio	8
8.1. Alcaldía Benito Juárez	8
9. Materiales y métodos	8
9.1. Obtención, preparación y cuantificación de medios de cultivo de <i>P. redivivus</i>	8
9.2. Obtención de alevines de <i>Poeciliopsis gracilis</i>	10
9.3. Acondicionamiento y alimentación de los alevines	11
9.4. Medición y peso de los organismos.....	11
9.5. Registro y control de variables ambientales.....	13
9.6. Indicadores de crecimiento.....	13
9.7. Tasa específica de crecimiento (TEC)	13
9.8. Porcentaje de ganancia en peso y talla (%GP y %GT).....	14
9.9. Factor de condición de Fulton (K)	14
9.10. Supervivencia	14
9.11. Análisis estadístico.....	14
10. Resultados	15
10.1. Censo poblacional de <i>Panagrellus redivivus</i>	15
10.2. Parámetros físicos y químicos.....	17
10.3. Supervivencia.....	19
10.4. Indicadores de crecimiento	19
10.5. Factor de condición	20
10.6. Comportamiento de talla y peso.....	21
10.7. Relación peso longitud.....	25
11. Discusión	26
11.1. Crecimiento de <i>Panagrellus redivivus</i>	26

11.2. Parámetros físico-químicos.....	28
11.2.1. Temperatura.....	28
11.2.2. pH.....	28
11.2.3. Dureza y Alcalinidad.....	29
11.2.4. Amonio.....	29
11.3. Indicadores de crecimiento.....	30
12. Conclusión	32
13. Recomendaciones.....	32
14. Referencias	32

1. Resumen

En condiciones controladas, se analizó el crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* a través de suministrar *Panagrellus redivivus* alimentada con base de avena enriquecido con levadura y otro con espirulina. Debido a la pandemia del Covid-19, el estudio se llevó a cabo en el hogar del estudiante, en la Alcaldía Benito Juárez, colonia Portales de la Ciudad de México, de abril de 2021 a mayo de 2022.

Se utilizaron 4 contenedores con capacidad de 20 L, donde a cada uno se agregaron 15 organismos de *P. gracilis*. Los organismos se alimentaron diariamente (ad libitum) dos veces al día durante dos meses. Así mismo se les suministró aireación y se realizó recambios de agua, con el fin de mantener de manera adecuada los parámetros físicos y químicos, cabe mencionar que se mantuvieron a una temperatura ambiente sin calentador, la cual varió de 20 a 26°C. Quincenalmente se tomó la biometría y parámetros químicos de los organismos y el agua, registrando la longitud total y peso total, a cada uno de los organismos. Se midieron los siguientes parámetros a cada uno de los contenedores: pH, NH₄, Alcalinidad y Dureza total. pH registró valores ligeramente alcalinos entre 7.5 y 8.5 unidades. Para alcalinidad, se obtuvo un valor mínimo de 102.6 mg CaCO₃ L⁻¹ y un máximo de 171 mg CaCO₃ L⁻¹. La dureza total del agua varió de 53 mg a 142 mg CaCO₃ L⁻¹; la concentración de amonio fue menor a 0.1 N-NH₄/L debido al recambio de agua. En la relación longitud-peso, se observó un crecimiento de tipo alométrico negativo con tendencia a la isometría. En cuanto al factor de condición, tuvo valores mayores a 1 lo cual indica buena salud y crecimiento, se obtuvo un mayor porcentaje de ganancia en peso que en talla, este mismo comportamiento sucede con las tasas de crecimiento absoluto, tanto en talla como en peso.

2. Introducción

En el ambiente acuático, la supervivencia de las crías presenta altas fluctuaciones, debido a múltiples factores que provocan valores de supervivencia desde 0.1 hasta el 10% (Hempel, 1979; citado en Civera-Cerecedo *et al.*, 2004). Dentro de los factores externos, la temperatura y la nutrición de larvas de peces, principalmente en especies marinas, son los que más afectan la supervivencia y crecimiento de las larvas de peces (Civera-Cerecedo *et al.*, 2004).

Para llevar a cabo con eficiencia el proceso de la alimentación, la larva debe ser capaz de 1) ingerir alimento (búsqueda y captura), que involucra procesos de atrapar y deglutir la presa y procesar el alimento; 2) la digestión, que abarca los procesos que permiten poner a disponibilidad los nutrientes, y finalmente 3) la absorción de nutrientes, que involucra los procesos de transporte al interior de las células, para continuar con la digestión intracelular y su posterior resíntesis para ser utilizados en otras partes del cuerpo. Para que las larvas aseguren su

supervivencia, deberán seleccionar una presa de tamaño adecuado y de movimiento lento, además de que esta presa una vez ingerida sea fácil de digerir y que cubra sus requerimientos nutricionales mínimos. La mayoría de las larvas son cazadores planctónicos visuales sin importar los hábitos alimentarios que tendrán cuando sean adultos (Hunter, 1981; citado en Civera-Cerecedo *et al.*, 2004).

En el caso específico del periodo larvario de los peces, se debe hacer énfasis en los requerimientos mínimos necesarios para asegurar la supervivencia y mantener el crecimiento de las larvas, las cuales presentan una problemática especial al no tener un sistema digestivo completamente formado desde su eclosión, además de que deben atravesar por un periodo de transformación hasta juvenil, principalmente en larvas marinas (ontogenia indirecta) como lo menciona Tucker (1998; citado en Civera-Cerecedo *et al.*, 2004), a diferencia de los poecílidos y algunas especies de cíclidos entre otros, que carecen de un periodo larvario, por lo que la eclosionar el organismos ya presenta todas las características de un juvenil lo que se denomina ontogenia directa.

Uno de los aspectos más importantes en la biología de la conservación de los peces en ambientes controlados, son las técnicas de cultivo de las formas larvales (Sarma y Nandini, 2017). Hoy en día se incorporan a la acuicultura una mayor variedad de organismos considerados como alimento vivo, dentro de los cuales se considera al zooplancton, con la finalidad de aumentar la supervivencia de las crías de peces, y entre las especies más utilizadas se encuentran: *Artemia franciscana*, *Daphnia pulex*, *Eisenia foetida*, *Spirulina* spp., *Moina macrocopa*, *Brachionus plicatilis* y *Tubifex tubifex*, debido a su alto valor nutritivo, alta disponibilidad y abundancia, tamaño aceptable, cuerpo blando, altas densidades de cultivo, ciclo de vida corto y movilidad (Erdogan y Olmez, 2009).

Santiago *et al.* (2003) y Figueroa (2009), detallan que la nutrición de larvas de peces y crustáceos es uno de los problemas más grandes en el cultivo de organismos acuáticos, debido a que la mayoría de las larvas dependen principalmente de alimentos vivos, tales como rotíferos (*Brachionus* spp.) y crustáceos (*Artemia* spp.), al inicio de su alimentación exógena. Muñoz (2012), señala que: “Si bien durante la mayor parte de la cría de peces se puede emplear piensos (alimento balanceado), existe un periodo inicial en el que, al nacer, las larvas necesitan alimento vivo debido a que los peces necesitan el estímulo del movimiento”

En el caso de los rotíferos, la longitud de estos se encuentra entre 180 y 250 μm y son ideales para la alimentación de las larvas de peces recién eclosionadas, gracias a su relación con el tamaño de la boca de la larva, su capturabilidad y su calidad nutricional (Sarma y Nandini, 2017).

Tomando en cuenta este aspecto, Alvarado (2017) reportó la apertura bucal de alevines de *Poeciliopsis infans* en la semana 8 de vida, obteniendo un promedio de 345.41 μm . Shirota (1970) describe las aperturas bucales de diferentes tipos de alevines de peces, con un intervalo que varía desde los 223 μm hasta los 1450 μm . Dabrowski y Bardega (1984) demostraron que, para tres especies de Ciprínidos, el tamaño de los alimentos adecuados aumenta drásticamente en los primeros días durante la absorción de la yema y el comienzo del crecimiento. Con una longitud de 10 mm, los tres ciprínidos pueden aceptar alimentos con un diámetro de 250, 410 y

400 μm , respectivamente. Léger *et al.* (1989) mencionan que, para las larvas marinas, el tamaño de la boca (100-400 μm) no les permite capturar presas mayores.

Debido al aumento de la demanda de peces de ornato que se presentó en el mercado nacional entre 1995 y 1999, este escenario provocó que diversos productores rurales del estado de Morelos abandonaran los cultivos agrícolas tradicionales (maíz y trigo) para dedicarse a la acuicultura de ornato, formándose unidades de producción extensivas y semiintensivas (Torres, 2019).

En México existen diversas compañías dedicadas al cultivo de peces, de ornato y comestibles; sin embargo, existe escasa inversión en la producción de alimento vivo. Si bien en un inicio se requiere un conocimiento previo de los organismos a cultivar, después resulta retribuable, ya que implica considerables ahorros en términos de alta supervivencia de crías de peces y producción, y por lo tanto mayores ganancias (Sarma y Nandini, 2017). Para el año 2019, la producción de peces de ornato fue de 30 899 organismos con un valor de 1 387 000 pesos, siendo los principales productores los estados de Tabasco, Campeche y Veracruz con el 84% de la producción nacional de peces de ornato.

Las especies invasoras representan uno de los problemas más severos y menos controlados en México, llegando a reconocerse 118 especies invasoras para el año 2009; para la región central de México se reconocen 25 especies de peces invasores de las cuales los poecílidos representan un 24%, solo antecedido por los Cíclidos, con un 36%. Sin embargo, *Poeciliopsis gracilis*, al igual que *Poecilia mexicana*, son especies nativas de la vertiente del Atlántico en los estados de Veracruz y Oaxaca y esta última, también de Querétaro (Bermúdez-González *et al.*, 2020).

2.1. *Panagrellus redivivus*

Panagrellus redivivus (Goodey, 1945), es un nematodo de vida libre, mide aproximadamente 1.5 mm de longitud y se caracteriza por tener un periodo de vida corto entre 20 a 25 días, llegando a su madurez sexual al tercer día (Camacho, 2019).

Rottman (2002) menciona que el análisis bromatológico de *Panagrellus redivivus* indica un porcentaje de humedad de 76 %, por consiguiente, posee una materia seca del 24 %, de este porcentaje se desprende un 40 % de proteína, 20% de extracto etéreo, y el 40% restante corresponde a extracto libre de nitrógeno y otros compuestos (Lara *et al.*, 2007).

2.2. Diagnósis de la especie

La familia Poeciliidae es un grupo de peces con desarrollo vivíparo conocidas para México; esta realiza la transferencia del esperma mediante la modificación de la aleta anal (gonopodio) que está formado por el alargamiento y especialización de tres radios y que es de alto valor taxonómico además de que permite la fácil diferenciación entre sexos. A pesar de su gran importancia económica (comercio de acuarios, control biológico, conservación) solo una pequeña proporción de las casi

200 especies se ha estudiado en un contexto ecológico (Gómez-Márquez *et al.*, 2008; Kobelkowsky y Alva-García, 2000).

Poeciliopsis gracilis es una especie con un alto grado de invasión, ocupa prácticamente todos los ambientes lóticos y lénticos y tolera aguas perturbadas (Miller *et al.*, 2009; Mejía-Mojica, 1992). Su presencia en cuerpos de agua distintos a los de su cuenca de origen, se debe a escapes o liberación por parte de acuaristas (accidental) y su gran éxito de invasión probablemente se debe a su reproducción vivípara y su alta tasa reproductiva con patrón de reproducción continua, las hembras se mantienen fértiles y en algunos casos son superfetantes (mantienen en la cavidad visceral en su cámara incubatriz diferentes etapas de desarrollo embrionario y ovocitos fertilizados) toda su vida (Contreras-MacBeth *et al.*, 2014; Mendoza, 2018).

Mendoza (2018) menciona que *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1848) es un pez pequeño de la familia Poeciliidae originario de Centroamérica y México, con distribución natural en la vertiente del Atlántico, desde un arroyo 20 km al norte de Ciudad Cardel, Veracruz y en la vertiente del Pacífico las poblaciones de este pez van desde la cuenca del río verde en Oaxaca hasta Honduras.

Su alimentación es de tipo omnívoro, en su hábitat natural se alimenta de larvas de mosquitos, algas y casi cualquier cosa que se mueva y entre por su boca, en cautiverio acepta el alimento en escamas, *Artemia*, granulados y vegetales suaves, su esperanza de vida oscila entre 3 y 4 años en buenas condiciones, su forma de gestación es vivípara (Tapia, 2009).

Incluso con la alta demanda de *P. gracilis* en México como especie forrajera, solo existen estudios de campo para la misma, por lo que es de suma importancia generar conocimiento acerca de cómo la condición ambiental (en este caso la temperatura) afecta su supervivencia, su tasa de crecimiento y fertilidad (Gómez-Márquez *et al.*, 2008).

En el estado de Morelos, la familia de peces de ornato más ampliamente cultivada es la *Poeciliidae* por sus características morfológicas, la facilidad de su reproducción, ciclo de vida corto, y son resistentes al manejo. Los requerimientos ambientales en condiciones controladas recomendadas para poecilidos son: pH entre 7 y 9 unidades; temperatura entre 24 y 28 °C; la concentración óptima de oxígeno disuelto oscila entre 3 mg/l hasta el nivel de saturación, según la región geográfica y agua semidura (100-180 ppm de calcio) (Maya *et al.*, 2006).

Miller *et al.* (2009) mencionan que *Poeciliopsis gracilis* se ha trasladado y establecido en el río Pánuco, San Luis Potosí y Querétaro; así como en las cuencas del río Balsas, Guerrero, Michoacán y Morelos, probablemente este éxito al establecerse es en parte debido a su capacidad de forrajear recursos de baja calidad, es omnívoro-detritívora, lo que parece ser favorable para peces de agua dulce que invaden medios lóticos. Su introducción pudo darse de manera accidental por actividades de acuicultura, su efecto sobre la fauna nativa no ha sido evaluado y aparentemente es una especie inerte (Contreras-MacBeath *et al.*, 2014).

3. Antecedentes

Se realizó una búsqueda sobre las referencias relacionadas con el alimento vivo para el cultivo de crías de peces y hasta el momento se han obtenido los siguientes artículos y documentos.

Lara *et al.* (2007) analizaron el crecimiento de la población de *Panagrellus redivivus*, y concluye que el crecimiento de este gusano cultivado en avena con *Spirulina* presenta un crecimiento mayor y más acelerado, que cultivado con avena sola. Este resultado quizás pueda dar una idea de los resultados que se espera obtener.

Los estudios sobre *Poeciliopsis*, en un sentido cladístico, los definen como grupo monofilético, caracterizados por la morfología de caracteres derivados únicos del gonopodio y del suspensorio monopodial, arcos branquiales y arcos hemales, además de modificaciones en la anatomía reproductiva para la viviparidad y con fertilización interna (Campos, 2000).

Gómez-Márquez *et al.* (2008) señalan que en un estudio que realizaron en el lago Coatetelco, se hizo evidente un dimorfismo sexual en las características morfológicas de esta especie. Se observó una diferencia en el tamaño corporal entre los sexos al inicio de la reproducción.

Zapata (2015) concluye que los jóvenes de *Poeciliopsis gracilis* presentan mayor supervivencia en época de secas frías y mayor crecimiento en secas cálidas. Los adultos tienen mayores tasas de supervivencia en secas cálidas. El ciclo de vida de *P. gracilis* se encuentra claramente ligado a la variabilidad ambiental periódica de México.

Ayala y Vera (2007) demostraron y concluyeron que el tipo de crecimiento para las hembras fue alométrico positivo, es decir, mayor aumento en peso que en longitud, debido a la talla y desarrollo gonádico; en cambio, el tipo de crecimiento para los machos e indeterminados fue alométrico negativo, es decir, mayor aumento en longitud que en peso y que la talla de primera madurez sexual para las hembras fue más alta que para los machos.

Las dietas acuícolas se basan convencionalmente en alimentos caros como el pescado y la harina de pescado. El desarrollo de la acuicultura se ha mejorado en gran medida al encontrar alternativas e ingredientes menos costosos. Una opción viable es la *Spirulina*, una microalga de agua dulce de la clase Cyanophyceae, que es una buena fuente de proteína y energía (Harel *et al.*, 2002). La espirulina ha sido una de las especies de microalgas más utilizadas en alimentos acuícolas debido a su alto contenido de proteínas, vitaminas, aminoácidos esenciales, minerales, ácidos grasos esenciales y pigmentos antioxidantes como los carotenoides (Nakagawa y Montgomery 2007; Shamin *et al.*, 2014).

Ramakrishnan *et al.* (2008) mencionan que la espirulina fue una fuente de alimento adecuada y nutritiva que incrementó el crecimiento en *C. carpio*.

Para el caso de la *Spirulina* se sabe que tiene cualidades inmunológicas, antioxidantes, antivirales y retiene metales pesados, por lo que es un antitóxico (Khan *et al.*, 2005; Belay *et al.*, 2008). Las especies de espirulina más utilizadas para los suplementos nutricionales son *Spirulina platensis* y *S. maxima*. Esta alga tiene una larga historia de uso como alimento y puede crecer en muchos lugares alrededor del mundo (Khan *et al.*, 2005). La espirulina es llamada alga verde azulada (Cinobacteria) debido a la presencia de pigmentos tanto verdes (clorofila II) como azules (ficocianina) en su estructura celular (Shawkat, 2014).

El uso de *Spirulina* para consumo humano y animal, está considerada como una microalga que contiene altos indicadores de metabolismo de lípidos y carbohidratos y se puede utilizar en el manejo de alteraciones metabólicas que podrían estar presentes como comorbilidades en quienes padecen obesidad o problemas que generen sobrepeso. Cabe resaltar que hay que tener en cuenta que el aprovechamiento de microalgas ha generado un amplio mercado, ya que este producto es de fácil cultivo, y además genera un mínimo costo a la hora de su producción (Gómez, 2020).

Se han realizado varios estudios sobre la espirulina como alimento alternativo para animales y acuicultura (Habib *et al.*, 2008). Se ha establecido la espirulina como materia alimentaria alternativa y refuerzo inmunológico en acuicultura de la brema marina, carpa, tilapia, bagre, cola amarilla y pez cebra (Mustafa *et al.*, 1994; Olvera-Novoa *et al.*, 1998; Ramakrishnan *et al.*, 2008; Güroy *et al.*, 2012; Geffroy y Oliver, 2013; Ali, 2014) y se puede recomendar con seguridad hasta un 2% de espirulina por día en los alimentos para acuicultura (Habib *et al.*, 2008).

Con respecto a la avena, este es un cereal con un valor energético de 361 kcal por 100 g. Es fuente de proteínas de bajo costo y posee un alto contenido en fibra. Si lo comparamos con otros cereales presenta un contenido en hidratos inferior al resto (básicamente en forma de almidón) y un aporte de lípidos superior al resto, aportando ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (presentes en el endospermo, parte interna de la planta), consideradas como grasa saludable. En cuanto a los micronutrientes, la avena posee un alto contenido en hierro, magnesio, zinc, fósforo, tiamina (vitamina B1), vitamina B6 y folatos, además de ser fuente de potasio y vitamina E (Gómez *et al.*, 2017)

Diversos tipos de levaduras (*Candida iipoytica*, *Toruia*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Hansenula anómala*), distintas algas unicelulares (*Chaetoceros* sp y *Tetraseimis* sp) y algunas bacterias (*Lactobacillus* sp), han sido los protagonistas principales de una serie de estudios encaminados a comprobar su papel nutritivo y la posibilidad de incluirlos en las dietas de peces como una fuente proteica efectiva capaz de disminuir el uso de harina de pescado, aunque sin tratar de sustituirla por completo (Aguirre, 1990)

4. Pregunta de investigación

¿Cómo influye la composición proteica de diferentes alimentos con un mismo organismo alimentado con dos dietas diferentes y dos alimentos balanceados con diferente cantidad de proteína, en diferentes etapas del desarrollo, sobre la mortalidad y el crecimiento de *Poeciliopsis gracilis*?

5. Justificación

Poeciliopsis gracilis junto con otras especies como *Pseudoxiphophorus bimaculatus*, *Poecilia reticulata*, *Poecilia sphenops*, *Xiphophorus maculatus*, *Xiphophorus hellerii*, *Oreochromis niloticus*, *Amatitlania nigrofasciata*, *Poeciliopsis sonorensis* y entre muchos otros organismos, incluidos varios tipos de renacuajos, se venden como especies forrajeras para ser utilizadas como alimento vivo para peces más grandes e incluso, otras mascotas como ranas albinas, tortugas, peces “oscar”, ciclidos en general. Por lo cual la obtención de todos estos organismos anteriormente mencionados, se adquieren muy baratos, que van desde los 10 hasta los 40 pesos dependiendo de la cantidad y tamaño de estos.

Tapia (2009) comenta que la madurez sexual de esta especie (*Poeciliopsis gracilis*), la alcanzan después de los seis meses de vida, es una especie muy adaptable y tolera un rango muy amplio de temperatura, habita en aguas frías como en aguas templadas (15°C – 28°C).

Por otro lado, Sánchez (2019), demostró que las hembras de *P. gracilis*, que comienzan con su época reproductiva a una talla de 3.3 cm de longitud total, mientras que los machos que son más precoces, a una talla de 2.5 cm de longitud total presentan en la parte distal del gonopodio una curvatura que es característico de los peces maduros que están listos para la reproducción.

6. Hipótesis

Se espera que *Poeciliopsis gracilis* alimentado con *Panagrellus redivivus* cultivado con avena y *Spirulina*, tendrá una mayor supervivencia las primeras semanas, superando el punto crítico de desarrollo, que con *P. redivivus* enriquecido con avena y levadura.

7. Objetivo

7.1. Objetivo general

Comparar el crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* en los primeros dos meses de vida, utilizando *Panagrellus redivivus* cultivado en dos medios de cultivo diferentes.

7.2. Objetivos particulares

1. Cultivar y comparar la eficiencia de *Panagrellus redivivus* en un cultivo de avena enriquecido con alga *Spirulina* y otro con avena y levadura.
2. Evaluar la relación talla-peso y la condición en *Poeciliopsis gracilis* durante todo el proceso de alimentación.
3. Evaluar la tasa de supervivencia con base en los dos tipos de alimentos.
4. Analizar las condiciones ambientales y su relación con el crecimiento y supervivencia de los organismos.

8. Zona de Estudio

8.1. Alcaldía Benito Juárez

Debido a la pandemia de Covid-19, el estudio se llevó a cabo en la Alcaldía Benito Juárez, Colonia Portales Norte al sur de la Ciudad de México, entre los 19° 22'19" latitud norte 99° 09'28" longitud oeste a 2 242 msnm (INEGI, 2017). El estudio se realizó específicamente en 19°22'12.9" Norte y 99°08'57.1" Oeste, a 2253 msnm (Google Earth, 2022).

9. Materiales y métodos

9.1. Obtención, preparación y cuantificación de medios de cultivo de *P. redivivus*

Se consiguió una cepa de *P. redivivus*, vulgarmente conocido como microgusano de la avena, procedente del mercado de peces Emilio Carranza, conocido como mercado Morelos, presente en la Delegación Venustiano Carranza de la Ciudad de México.

Durante ocho semanas se cultivó y cuantificó la población de *P. redivivus* enriquecido con dos alimentos (tratamientos), levadura y espirulina, y para tener un mejor análisis, se realizaron por duplicado de la siguiente manera:

- Tratamiento 1: cultivo a base de agua, avena comercial marca Granvita, enriquecido con levadura en polvo marca Nevada.
- Tratamiento 2: cultivo a base de agua, avena comercial marca Granvita, enriquecido con *Spirulina platensis* en polvo marca Pronat.

Ambos tratamientos se realizaron por duplicado, bajo las mismas condiciones. Debido a que los cultivos se hicieron a una escala muy pequeña en comparación a otros experimentos, se cuidó minuciosamente tanto la cantidad de los ingredientes, como la de los organismos, pero teniendo como base la preparación de cultivos de Lara *et al.* (2007).

En cuatro vasos de 100 g, se pesaron y agregaron 50 gramos de avena en hojuela marca Granvita. Posteriormente, a los vasos se les agregó agua para formar una

consistencia espesa. A dos cultivos se les agregó 5 gramos de levadura en polvo marca Nevada y a los otros dos se les adicionó 5 gramos de *Spirulina platensis* en polvo marca Pronat, de tal manera que tuvieran la relación de 1g de enriquecedor por cada 10 g de avena. Por último, a cada cultivo se les agregó un gramo (± 1777 organismos), de cepa de *P. redivivus* y se mantuvieron en condiciones iguales, en la oscuridad, en un lugar seco y con poca humedad, en un intervalo de temperatura que osciló entre 20 y 26°C. Gracias a la constante observación de los cultivos, se llegó a la conclusión que cuando los cultivos se tornaban espesos, se les debía agregar agua de garrafón de tal modo que no estuvieran ni muy secos ni muy húmedos.

Para la cuantificación de los organismos se procedió a realizar lo siguiente: a un portaobjetos, con cinta adhesiva se le pagó de cuatro a seis cuadros de papel milimétrico albanene. Después de eso se tomaron 0.5g de cepa ya madura de microgusano previamente obtenida y se diluyó en 0.5ml de alcohol al 96%. Luego se tomó una alícuota de una gota y se puso sobre el cubreobjetos, de tal modo que ésta cayera sobre los cuadros de papel milimétrico. Lo último se colocó sobre una báscula milimétrica con presión 0.001g. Para finalizar, se cuantificó la cantidad de microgusanos presentes en esa gota y se determinó la cantidad que había en un gramo de cultivo. Este procedimiento se realizó por triplicado y se obtuvo el promedio de microgusanos en cada cultivo.

Después de una semana de haber colocado *Panagrellus redivivus* (± 1777 gusanos) en los cuatro medios de cultivo, de los cuales dos fueron enriquecidos con *Spirulina platensis* y los otros dos con levadura, utilizando como base la avena, se realizaron los primeros muestreos. Se observó un crecimiento poblacional más rápido y con mayor número de organismos en el cultivo en el cual los organismos fueron alimentados con espirulina, a diferencia de los que fueron alimentados con levadura (Figura 1).



Figura 1. Crecimiento de *Panagrellus redivivus*
Vaso 1 alimentados con avena y levadura y vaso 2 alimentados con avena y espirulina.

9.2. Obtención de alevines de *Poeciliopsis gracilis*

A pesar de que es una especie que se utiliza en acuariofilia como alimento vivo, no existen registros de su cultivo en condiciones controladas. Se realizó una investigación en algunos mercados de peces de la ciudad de México donde se hicieron entrevistas a los vendedores de los locales donde se vendía la especie. En todos los casos el origen de los organismos era silvestre, de cuencas del estado de Morelos donde los toman directamente junto con las especies nativas y luego los transportan en bolsas hasta los mercados donde son vendidos en un lapso de máximo 3 días.

Se obtuvieron hembras preñadas de *Poeciliopsis gracilis*, procedentes del Mercado Nuevo San Lázaro, en la colonia Magdalena Mixiuhca de la Alcaldía V. Carranza.

En 10 contenedores transparentes de 3L, se les agregó agua potable proveniente del grifo de la CDMX, previamente declorada con anticloro (Tiosulfato de sodio), hasta un 90% de llenado.

Como preventivo, y para ayudar a que no se enfermaran las hembras después del proceso reproductivo, a cada contenedor, se les adicionó de 1 a 2 gotas de azul de metileno.

Se agregaron ramas de planta *Elodea sp.* previamente desinfectadas, de tal modo que las hembras se pudieran mover libremente, pero también para que los alevines puedan quedar a salvo de su progenitora utilizando las plantas como sitio de protección y refugio (Figura 2).

Se colocó una hembra preñada de *Poeciliopsis gracilis* en cada contenedor en la cual el suministro de aire fue una bomba externa marca Elite. Se revisó constantemente cada contenedor para verificar la presencia o ausencia de alevines y obtener la mayor cantidad de alevines posibles (Figura 3).



Figura 2. Obtención, separación y colocación de hembras preñadas de *Poeciliopsis gracilis*.



Figura 3. Obtención de alevines de *Poeciliopsis gracilis*.

9.3. Acondicionamiento y alimentación de los alevines

Una vez que todas las hembras terminaron de parir, con mucho cuidado tratando de no matar a los alevines, se procedió a retirar tanto a las hembras como a las plantas elodea y se colocaron en un acuario de recuperación que contenía agua sin cloro, azul de metileno y estaba a la misma temperatura.

Del total de alevines nacidos, que fueron aproximadamente 63 a 65, se decidió redondear y trabajar con 60 alevines, de tal manera que a 4 contenedores se colocaran partes iguales de organismos (15 por cada uno).

Como se observa en la Figura 4, en 2 contenedores de 20L de capacidad, los peces fueron alimentados con *Panagrellus redivivus* enriquecidos con *Spirulina* y 2 con *P. redivivus* enriquecidos con levadura. Los organismos fueron alimentados dos veces al día (debido a que *P. redivivus* crece sobre las paredes del recipiente donde se mantiene, con un pincel, se recogió al organismo y se introdujo directamente en los alevines).

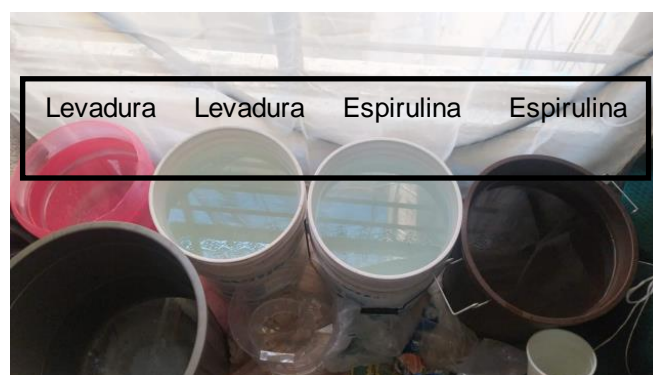


Figura 4. Separación, conteo y distribución de *Poeciliopsis gracilis*.

9.4. Medición y peso de los organismos

Para tomar la talla y peso de los organismos, se preparó una solución de un litro de agua con las mismas condiciones de los alevines, más una gota de esencia de clavo

marca Lasa. Posteriormente se colocó a cada alevín de *Poeciliopsis gracilis* en esta solución. Una vez que su metabolismo disminuyó, se pesaron con una báscula digital para joyero marca Semme de ± 0.001 g de precisión Figura 5. Con la ayuda de una regla o escalímetro, se tomó la longitud total en mm Figura 6. Todo este procedimiento se trató de hacer en el menor tiempo posible, ya que los organismos pueden morir.



Figura 5. Pesamiento de *Poeciliopsis gracilis*.



Figura 6. Medición de *Poeciliopsis gracilis*.



Figura 7. Representación de la medición de Longitud total realizada quincenalmente.

9.5. Registro y control de variables ambientales

Cada 6 días, se midieron parámetros como pH, alcalinidad (kH), dureza (gH), amonio utilizando métodos semi-cuantitativos Figura 8, por medio de kits (marca Azoo) y la temperatura con un termómetro de vidrio para acuario; los datos se registrarán en una hoja de cálculo de Excel. Los cambios de agua parciales se realizaron cada 3 días.



Figura 8. Kits de la marca Azoo para la toma y medición de muestras.

9.6. Indicadores de crecimiento

La relación entre longitud-peso está dada por una ecuación de tipo potencial de la forma:

$$P=aL^b$$

Donde P es peso total en gramos, L la longitud total en cm, a y b son constantes estimadas por análisis de regresión lineal. Para realizar el análisis de regresión lineal se modificó la ecuación, aplicando logaritmos y quedando de la siguiente manera:

$$\text{Log } P = \text{log } a + b \text{ log } L$$

Donde a es el intercepto y b es la pendiente que determina la proporcionalidad de los incrementos de la longitud respecto al peso. Al valor de pendiente obtenido se le aplicó una prueba de t-Student para determinar si presenta un crecimiento alométrico ($b \neq 3$) o isométrico ($b=3$) (Froese, 2006).

9.7. Tasa específica de crecimiento (TEC)

Por medio de este indicador, se evaluó la tasa de crecimiento de los peces en función del peso, así como de la longitud, donde Lf es la longitud final y Li la longitud inicial (Carmen *et al.*, 2017).

$$TEC = \frac{(\ln Pf - \ln Pi)}{t2-t1} * 100$$

$$TEC = \frac{(\ln Lf - \ln Li)}{t2 - t1} * 100$$

9.8. Porcentaje de ganancia en peso y talla (%GP y %GT)

Se evaluó el porcentaje de ganancia en peso y talla (Ergün *et al.*, 2010), durante el experimento.

$$\%GP \text{ ó } \%GT = \frac{X2 - X1}{X1} * 100$$

Dónde X1= peso o longitud inicial

X2= peso o longitud final

9.9. Factor de condición de Fulton (K)

Mediante el factor de condición de Fulton (K) (Fulton, 1911), se describe aspectos de crecimiento, madurez, estado nutricional y reproducción (Gómez-Márquez *et al.*, 2015); donde P (peso corporal húmedo de los cada uno de los organismos muestreados), L (longitud en cm obtenida de cada uno de los organismos muestreados) y “b” son constante, estimada por análisis de regresión potencial longitud peso (Ergün *et al.*, 2010)

$$K = \frac{P}{L^b} * 10$$

9.10. Supervivencia

Se observó el porcentaje de supervivencia durante todo el experimento, se calculó con la diferencia entre el numero inicial y final de organismos:

$$S = 100 * \frac{\text{Número final de organismos}}{\text{Número inicial de organismos}}$$

9.11. Análisis estadístico

Con la ayuda del programa Statgraphics, el cual es una herramienta de análisis estadístico, los datos se someterán a diferentes análisis como, por ejemplo: U-Mann-

Whitney, Kruskal-Wallis y diagrama de caja y bigotes. Para determinar diferencias en el rendimiento de los indicadores morfofisiológicos de los peces ($p < 0.05$) (Gómez-Márquez *et al.*, 2015).

10. Resultados

10.1. Censo poblacional de *Panagrellus redivivus*

Con respecto al incremento del número de individuos durante el estudio, en la Figura 9 se observa un aumento de casi 12 000 organismos durante las primeras tres semanas que fueron alimentados con avena y espirulina, y un decremento posterior significativo hacia el final del experimento. No se observaron diferencias significativas entre el control y repetición ($U=30.5$; $P=0.9162$), por lo cual se decidió trabajar con los datos del tratamiento.

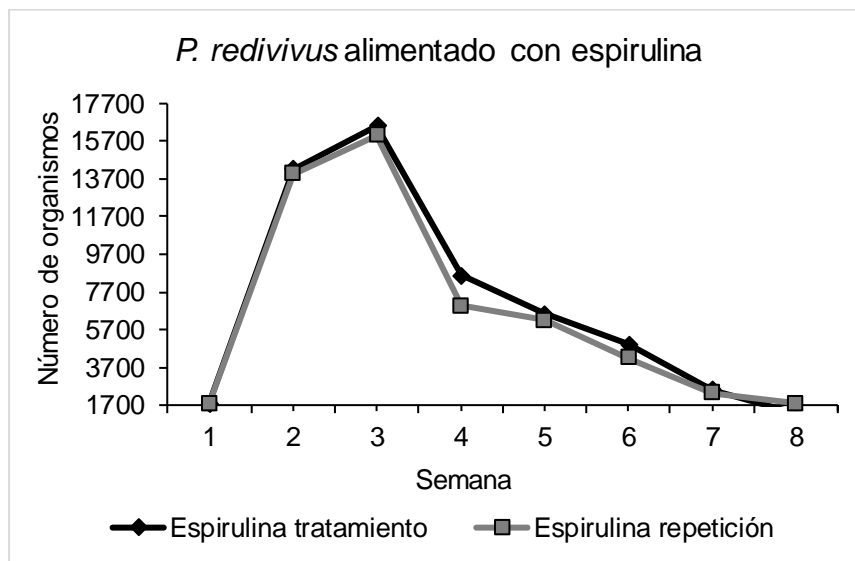


Figura 9. Censo semanal de *P. redivivus* (tratamiento y repetición), alimentado con espirulina.

En cuanto al crecimiento de *P. redivivus* alimentado con avena y levadura, se aprecia un crecimiento lento hasta alcanzar el máximo en la semana 5 y con menos cantidad de organismos, comparado con el cultivo enriquecido con espirulina. No se observaron diferencias significativas entre el tratamiento y repetición ($U=30.5$; $P=0.9162$), por lo que se decidió trabajar con los datos del tratamiento, este crecimiento puede deberse a que la levadura tiene menor cantidad de nutrientes que la espirulina y si los tuviera, estos serían en menor cantidad. En la Figura 10 se observa que el valor máximo de individuos fue de 15394 en la semana 5.

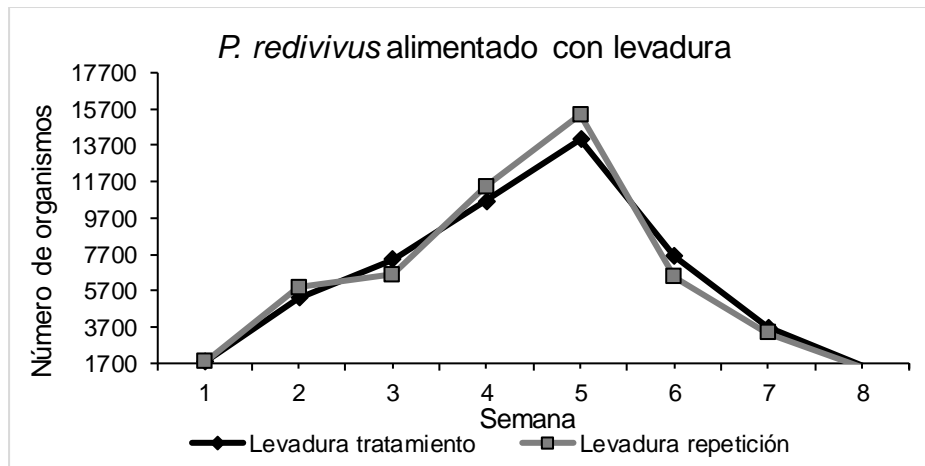


Figura 10. Conteo semanal de *Panagrellus redivivus* (tratamiento y repetición), alimentado con levadura.

En la Figura 11 se observa de manera comparativa que el crecimiento de la población de *P. redivivus* fue mayor y más acelerada cuando estos fueron alimentados con espirulina, aunque no se obtuvieron diferencias estadísticas entre ellos ($U = 32.5$; $P = 1.0$). Esto puede deberse a la mayor cantidad de nutrientes como carbohidratos, proteínas, lípidos, que contiene la espirulina con respecto a la levadura.

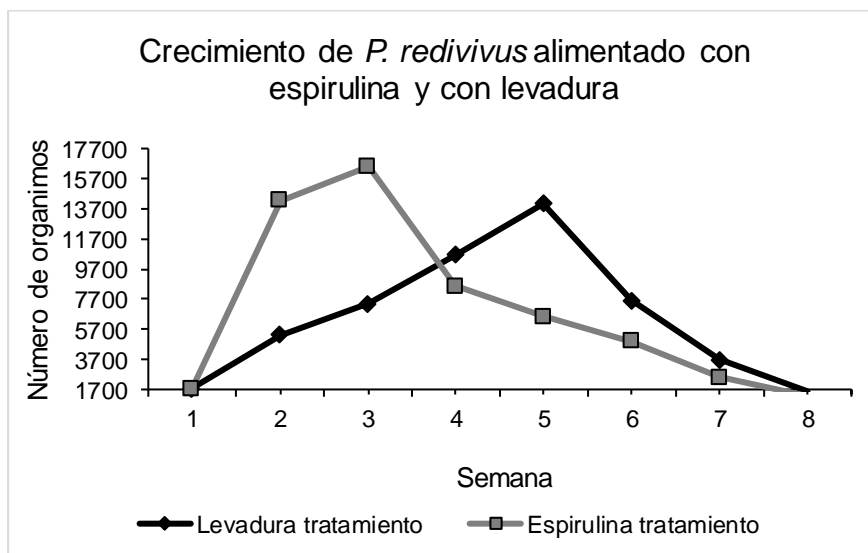


Figura 11. Comparación del crecimiento de *Panagrellus redivivus* alimentado con espirulina y levadura, teniendo como base avena.

En la realización de los cultivos no presentaron mal olor ni aparición de agentes externos como por ejemplo diferentes tipos de mohos, larvas de mosca de la fruta, ácaros, etc., factores que pueden afectar el crecimiento de los microgusanos. Asimismo, debido a la estación del año, el cultivo no presentó deshidratación lo cual favoreció la producción del organismo, ya que, de lo contrario, el cultivo se seca e impide el desarrollo del mismo.

10.2. Parámetros físicos y químicos

Como se mencionó anteriormente, debido a que el experimento se llevó a cabo durante la pandemia Covid-2019, los parámetros se evaluaron por métodos semicuantitativos con Kits para acuario marca Azoo. Los valores que a continuación aparecen son de acuerdo con estos kits, excepto la temperatura, ya que ésta se tomó con un termómetro para acuario de una escala de 14°C a 31°C.

Con respecto a la temperatura del agua en los contenedores de los diferentes tratamientos fue la misma ($H=0$; $P=0.05$), en la Figura 12 se aprecia que los valores más bajos fueron al principio y al final del experimento con una temperatura de 23°C y la máxima de 26°C en la quincena 3 y 7 en el mes de abril y mayo respectivamente, temperatura promedio fue de 24.5°C. El motivo de estos resultados se debe a que los cuatro acuarios estuvieron en el mismo espacio y las mismas condiciones de temperatura ambiente.

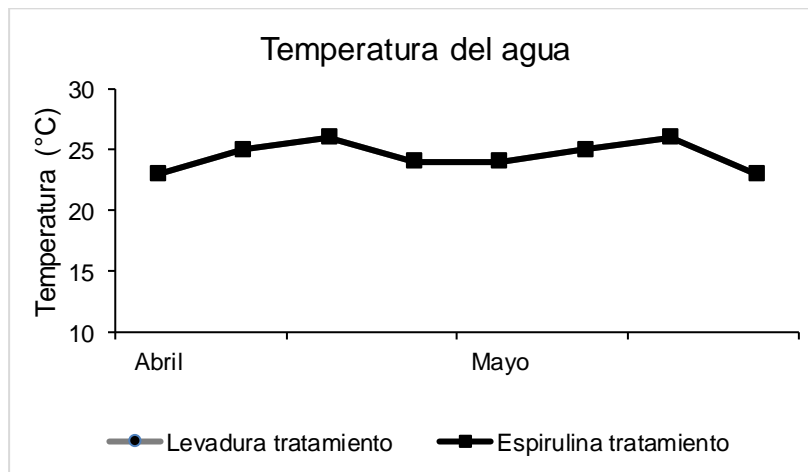


Figura 12. Variación de la temperatura del agua de los tratamientos.

En cuanto al pH (Figura 13), se obtuvieron valores constantes y no se registraron diferencias significativas ($H=4.010$; $P=0.26$), siendo el mínimo de 7.5 y el máximo de 8.5, promedio de 7, esto puede deberse a que se realizaron recambios de agua en cada acuario cada tres días.

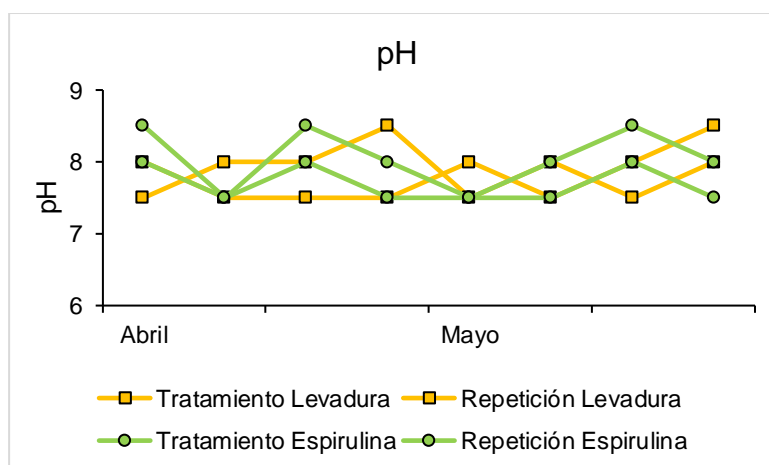


Figura 13. Comportamiento de pH en los diferentes tratamientos.

Respecto a la alcalinidad del agua (Figura 14), tampoco se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos ($H=1.199$; $P = 0.753$), en la figura 15 se aprecia que el valor mínimo fue de $102.6 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ y el máximo de $171 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, al igual que el pH, los valores fueron constantes, esto puede deberse a diferentes circunstancias, como por ejemplo los cambios parciales de agua, así como la muerte de los individuos.

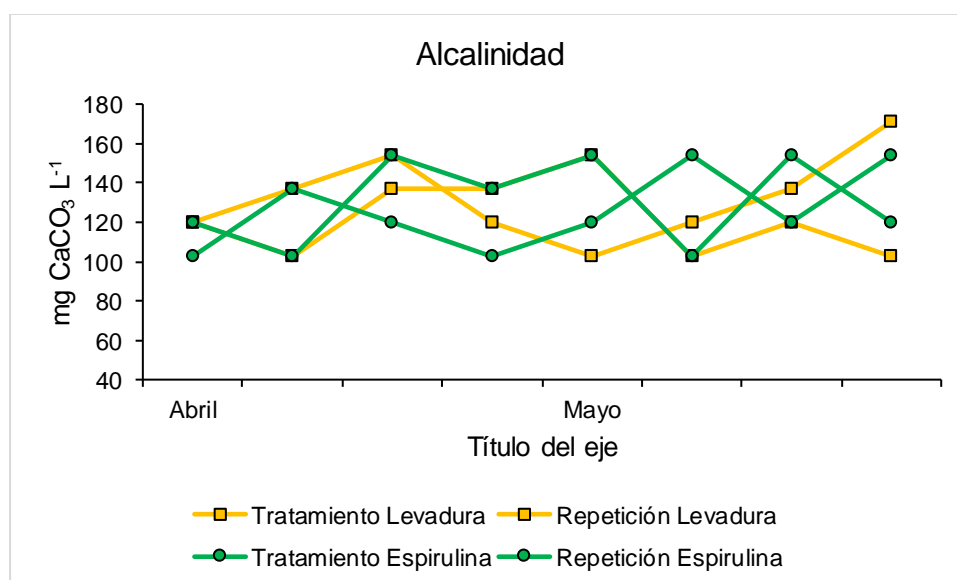


Figura 14. Comportamiento de la Alcalinidad en los diferentes tratamientos.

En la dureza total (Figura 15) se aprecia un mínimo de $53 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ en el mes de abril y un máximo de $142 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ en el mes de mayo, en los acuarios donde se suministró el alimento con espirulina. Se observa una variabilidad constante sin cambios drásticos en los valores de la variable en todos los acuarios ($H=0.461$; $P=0.927$). Ese comportamiento puede deberse a la fuente de agua que se utilizó para el cultivo.

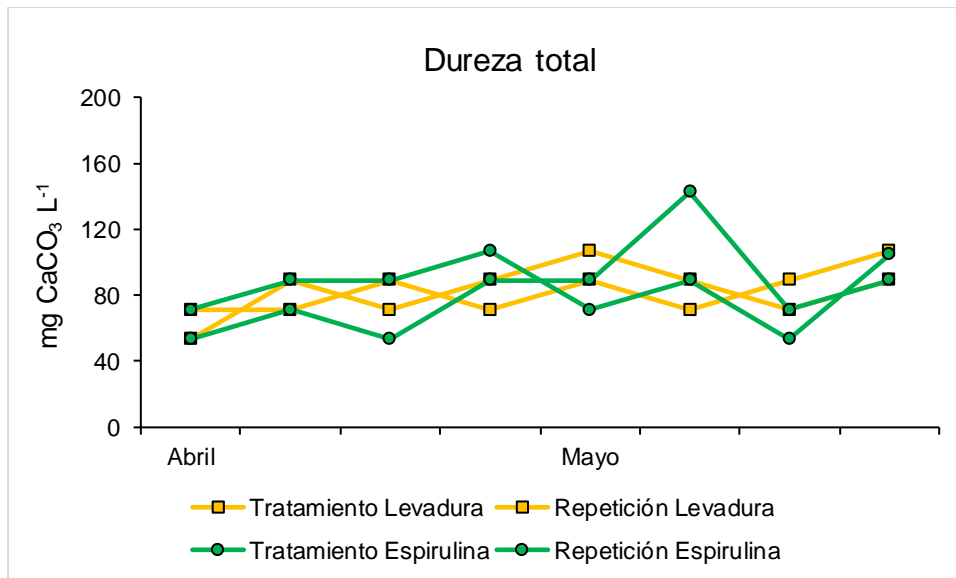


Figura 15. Variación de la dureza total durante el experimento.

Debido a los recambios de agua, el NH_4 que se registró durante el cultivo en los diferentes tratamientos fue menor a $0.1 \text{ N-NH}_4/\text{L}$ lo cual, tuvo poca influencia en el desarrollo de los organismos.

10.3. Supervivencia

En la Tabla 1 se puede observar la supervivencia, ambos tratamientos presentaron un porcentaje del 80%, posteriormente para la segunda quincena de mayo, lo organismos fueron muriendo debido a la mala manipulación.

Alimento	% Supervivencia
<i>Panagrellus redivivus</i> alimentado con Levadura	80
<i>Panagrellus redivivus</i> alimentado con Espirulina	80

Tabla 1 Porcentaje de supervivencia de *Poeciliopsis gracilis* alimentado con diferentes tratamientos.

10.4. Indicadores de crecimiento

Al inicio del experimento en la quincena de abril para el tratamiento con avena y levadura, se observan porcentajes de ganancia en peso y talla bajos con errores estándar de 0.003 y 0.061 respectivamente Figura 16, mientras que para avena y espirulina, se observan valores un poco mayores que con la levadura con errores estándar también más pequeños (0.001 y 0.044 respectivamente). En la quincena de mayo ambos tratamientos presentaron un decremento en los valores, con errores estándar de 0.007 y 0.084 para levadura, y para espirulina 0.006 y 0.138. Esto puede deberse a que los organismos presentan un crecimiento muy acelerado en los primeros meses de vida, posteriormente y debido a la muerte algunos

organismos, en la quincena de mayo hubo un decremento de esta variable. Con la prueba de Kruskal-Wallis ($H=3.358$; $P=0.339$) se puede concluir que no hay diferencias significativas entre ambos tratamientos.

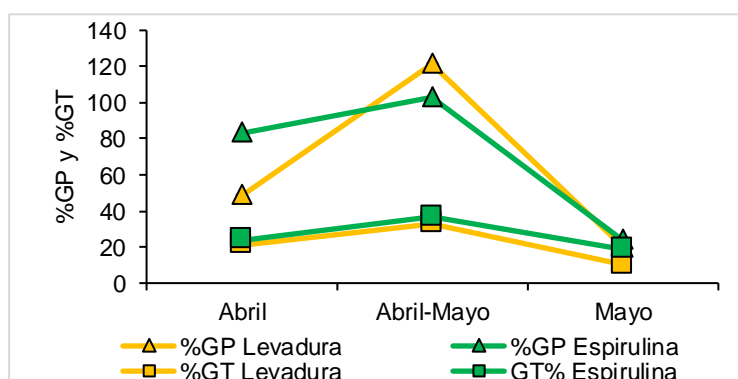


Figura 16. Comportamiento del porcentaje de ganancia en peso y longitud de los diferentes alimentos.

Las tasas específicas de crecimiento para talla y peso (Figura 17), no presentaron diferencias significativas ($H=6.794$; $P= 0.078$); para TEC en peso, espirulina presentó un mayor crecimiento en la quincena de abril mayo, para después decrecer, mientras que levadura presentó su mayor crecimiento en mayo. En cuanto TEC en longitud, se observa que ambos alimentos tuvieron un crecimiento similar, en ambos casos el punto más alto fue en la quincena de abril-mayo, mientras que en mayo tuvieron un decremento significativo con un valor mucho menor al mes de abril.

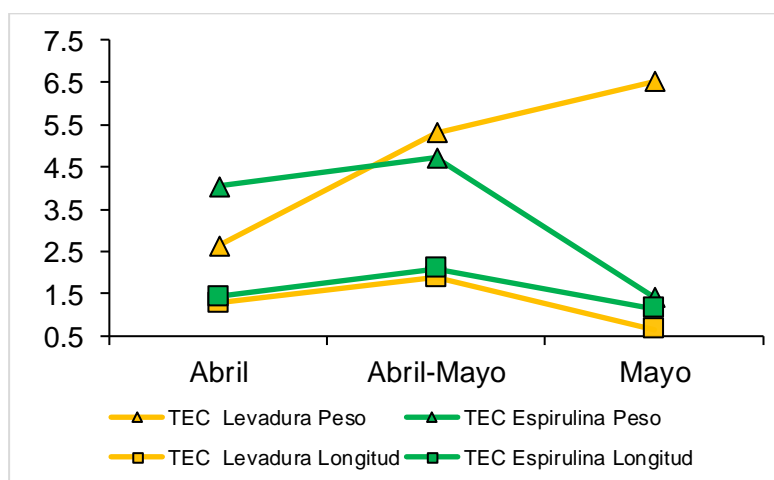


Figura 17. Variación de la Tasa Específica de Crecimiento en peso y longitud para los diferentes tratamientos.

10.5. Factor de condición

En la Figura 18 se puede observar que para *Poeciliopsis gracilis*, al inicio del experimento en la primera quincena de abril, con avena y espirulina se observó un factor de condición menor que con el de la levadura; para las quincenas posteriores con espirulina se tuvo un incremento mientras que con el de la levadura este fue

decreciendo. Para ambos tratamientos de alimentación el mayor valor lo obtuvieron en la primera quincena de mayo para posteriormente disminuir hacia el final del experimento. Con la prueba de U de Mann Whitney ($U=8$; $P=0.885$) se puede concluir que no existen diferencias estadísticas entre los alimentos.

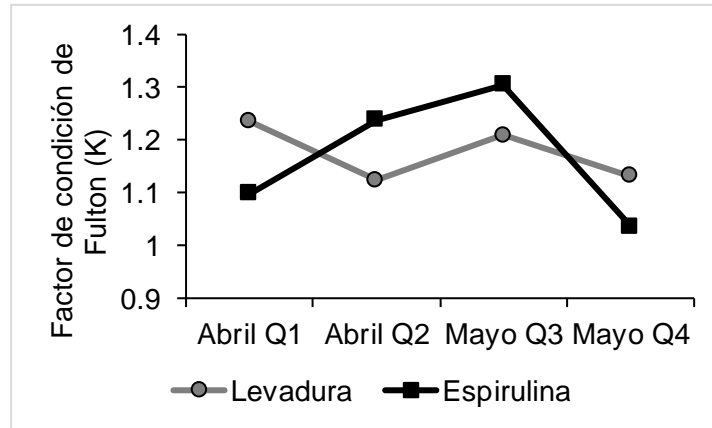


Figura 18. Comportamiento del factor de condición para los diferentes alimentos.

10.6. Comportamiento de talla y peso

En la Figura 19 se observa la comparación de la longitud durante todo el experimento, que presentaron el tratamiento y la repetición de los organismos que fueron alimentados con el cultivo de *Panagrellus redivivus* enriquecido con levadura, y después de aplicar la prueba de U de Mann-Whitney ($U=111$; $P=0.353$), se puede concluir que no hay diferencias estadísticas, por lo tanto, se decidió trabajar solamente con tratamientos.

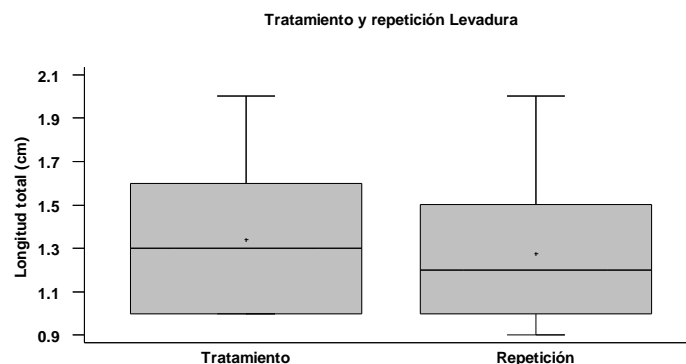


Figura 19. Comparación de longitud total de los peces entre tratamientos y la repetición que fueron alimentados con *P. redivivus* y levadura

En la Figura 20 se observa la comparación entre el tratamiento y la repetición de la longitud de los organismos que fueron alimentados con el cultivo de *Panagrellus redivivus* enriquecido con espirulina, y utilizando la prueba de U de Mann-Whitney ($U=133$; $P=0.094$), se puede concluir que no hay diferencias significativas, por lo que también se decidió trabajar únicamente con tratamientos.

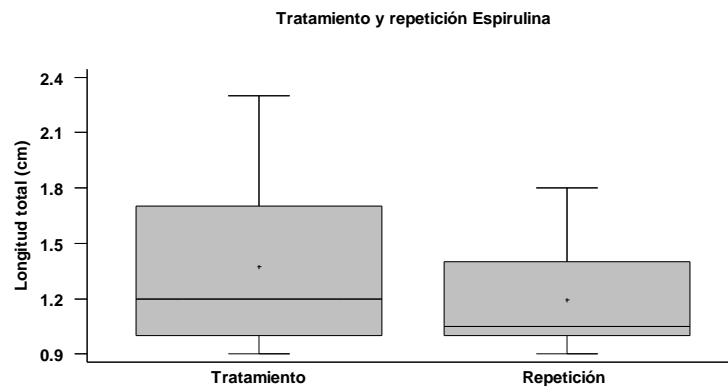


Figura 20. Comparación entre tratamientos y su repetición de los peces alimentados con *P. redivivus* con espirulina.

En la Figura 21 se observa el crecimiento en longitud de manera temporal de los peces que fueron alimentados con *Panagrellus redivivus* alimentado a su vez con levadura y después de aplicar la prueba de Kruskal-Wallis ($H=41.984$; $P<0.05$), se puede concluir que hay diferencias estadísticas entre las quincenas, por lo cual se registró un incremento en talla de manera quincenal.

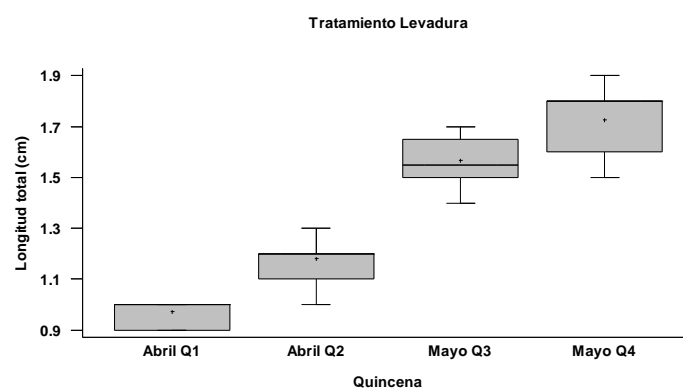


Figura 21. Comportamiento de la longitud a lo largo de las quincenas.

En la Figura 22 se observa el crecimiento en longitud de la especie que fueron alimentados con *Panagrellus redivivus* enriquecidos con espirulina, y después de aplicar la prueba de Kruskal-Wallis ($H=49.937$; $P<0.05$), se puede concluir que hay diferencias estadísticas entre las quincenas, mostrando incrementos quincenales en talla.

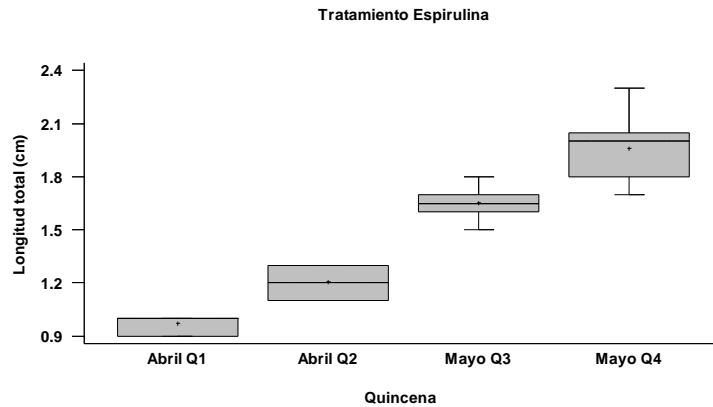


Figura 22. Comportamiento de la longitud a lo largo de las quincenas.

En la Figura 23 se observa la comparación del peso entre tratamiento y repetición de los organismos que fueron alimentados con *Panagrellus redivivus* enriquecidos con avena y levadura, y gracias a que se aplicó la prueba de U de Mann-Whitney ($U=152$; $P=0.702$), se puede concluir que no hay diferencias estadísticas, por lo tanto, se decidió trabajar solamente con tratamientos.

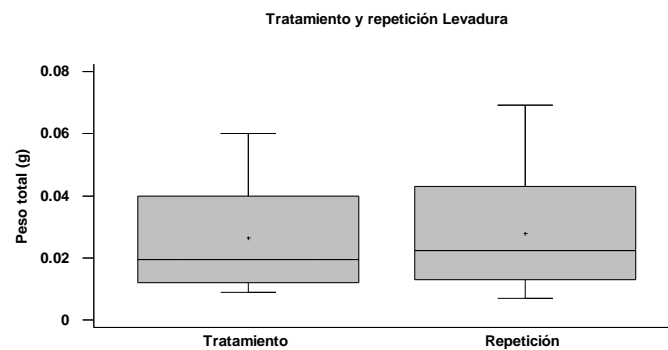


Figura 23. Comparación entre tratamiento y repetición de los peces alimentados con *P redivivus* y levadura.

En la Figura 24 se observa la comparación del peso entre tratamiento y repetición de los organismos que se alimentaron con *Panagrellus redivivus* enriquecidos espirulina a lo largo del experimento, de acuerdo con la prueba de U de Mann-Whitney ($U=1229$; $P=0.159$), se puede concluir que no hay diferencias estadísticas, por lo que también se decidió trabajar solamente con tratamientos.

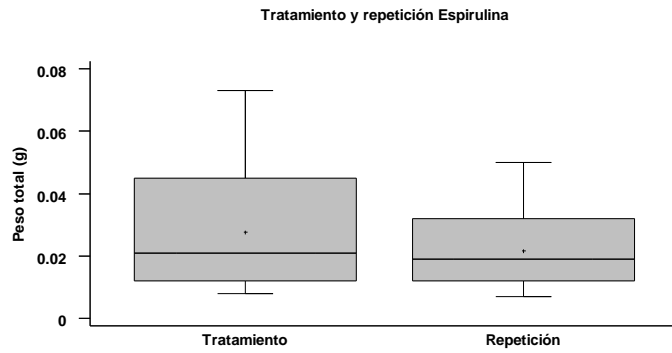


Figura 24. Comparación entre tratamiento y repetición de peces alimentados con *P. redivivus* enriquecidos con espirulina.

En la Figura 25 se observa el crecimiento en peso en los peces que fueron alimentados con *Panagrellus redivivus* enriquecidos con avena y levadura, después de aplicar la prueba de Kruskal-Wallis ($H=46.307$; $P<0.05$), se puede concluir que existen diferencias estadísticas entre las quincenas entre tallas.

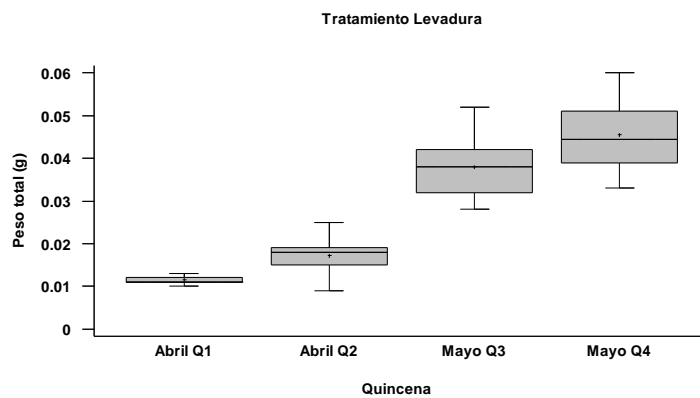


Figura 25. Comportamiento del peso a lo largo de las quincenas.

En la Figura 26 se observa la comparación de los dos alimentos utilizados como enriquecedor de *Panagrellus redivivus* a lo largo del experimento, después de aplicar la prueba de U de Mann-Whitney ($U=1496$; $P=0.817$), se puede concluir que no hay diferencias estadísticas.

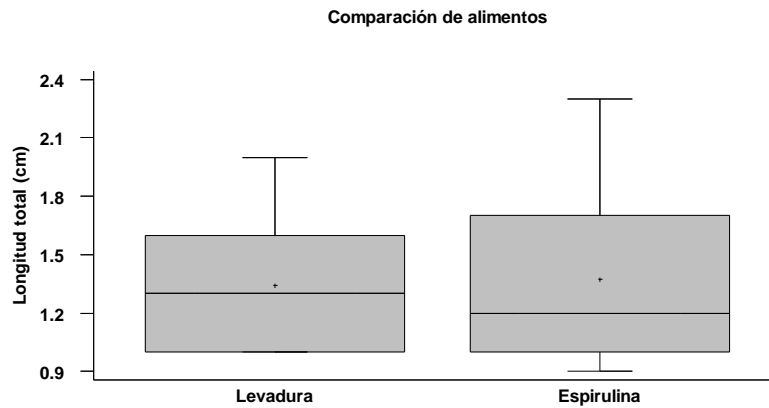


Figura 26. Comparación de longitud de los peces alimentados con *P. redivivus* enriquecidos con levadura y espirulina a través del tiempo.

En la Figura 27 se observa la comparación de los dos alimentos utilizados como enriquecedor de *Panagrellus redivivus* a lo largo del experimento y de acuerdo con la prueba de U de Mann-Whitney ($U=1496$; $P=0.817$), se puede concluir que no hay diferencias estadísticas.

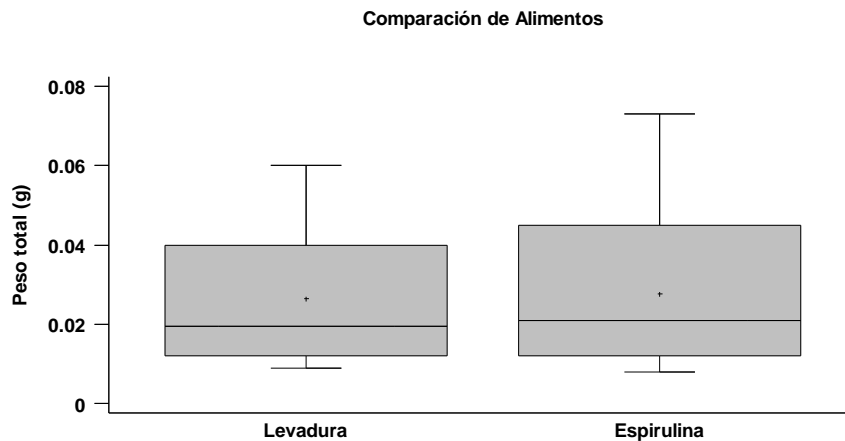


Figura 27. Comparación del peso de los peces utilizando *P. redivivus* alimentados con espirulina y levadura.

10.7. Relación peso longitud

En la Figura 28 se observa una pendiente de 2.545, por lo cual se puede concluir que los organismos que fueron alimentados con *P. redivivus* con sustrato de avena enriquecida con levadura, tuvieron un crecimiento alométrico negativo, pero mediante una prueba de t-student ($P<0.05$) se determinó que tienden a la isometría.

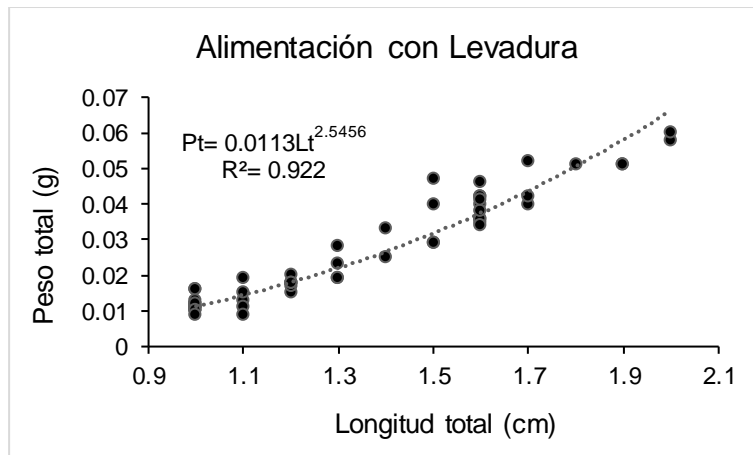


Figura 28. Relación peso-longitud total para *P. gracilis* alimentado con *P. redivivus* enriquecidos con levadura.

En la Figura 29 se observa una pendiente de 2.545, por lo tanto, se puede concluir que los organismos que fueron alimentados con *P. redivivus* con sustrato de avena enriquecida con espirulina, tuvieron un crecimiento de tipo alométrico negativo, pero mediante una prueba de t-student ($p < 0.05$) se determinó que tienden a la isometría.

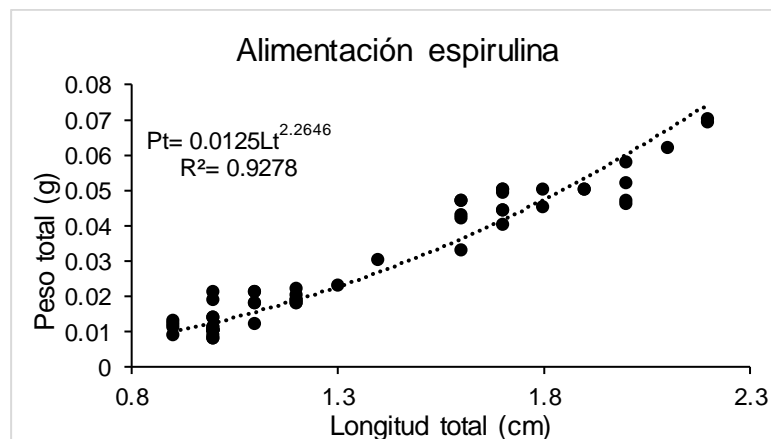


Figura 29. Relación peso-longitud total para *P. gracilis* alimentados con *P. redivivus* alimentado con espirulina.

11. Discusión

11.1. Crecimiento de *Panagrellius redivivus*

El crecimiento poblacional de *P. redivivus* con respecto al tiempo, mostró mejores resultados en el cultivo que fue enriquecido con avena y espirulina que con avena y levadura.

De acuerdo con Lugo (2007), se menciona que es importante hacer notar que la cantidad de proteína contenida en el alimento vivo depende de los sustratos utilizados, por ejemplo, con alguna otra fuente que enriquezca el medio de cultivo. Del mismo modo concluye que, (como se observó en los resultados obtenidos en

este experimento), la cantidad de humedad presente en el medio de cultivo influye de manera determinante en el crecimiento del microgusano (*P. redivivus*), ya que de haber muy poca agua los organismos detienen su crecimiento, provocando que los cultivos tuvieran proliferación de hongos, mismos que fueron desechados y reemplazados con cultivos nuevos. Por el contrario, si hay demasiada humedad en el cultivo, los sólidos como la avena y levadura tienden a sedimentarse, por lo tanto, la mayoría de los organismos mueren ahogados y los que sobreviven, logran subir por las paredes del contenedor.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con lo reportado por de Lara *et al.* (2007), la densidad de *Panagrellus redivivus* con solamente avena dio el valor de producción de 143,660 nematodos g^{-1} mientras que en la variante con avena y levadura de este experimento fue de 15394 nematodos g^{-1} , lo que equivale a un 89.28% de diferencia en contra del valor experimental. Lugo (2007), reporta 1400 microgusanos para avena sola, que en contraste en lo obtenido en estos resultados equivale a 90.90% de diferencia a favor del valor experimental. Del mismo modo, Ricci *et al.* (2003), quienes utilizaron un cultivo compuesto solamente con avena, obtuvieron una producción de 241,333 nematodos g^{-1} que comparado con este trabajo, fue mucho mayor y corresponde una diferencia del 93.62% de organismos g^{-1} en contra del valor experimental, asemejándose más con lo obtenido por Lara *et al.* (2007).

En cuanto a los cultivos que fueron enriquecidos con espirulina, los resultados que presenta Lara *et al.* (2007), obtuvieron 194,790 microgusanos g^{-1} , que en contraste con los resultados obtenidos en este estudio, el valor más alto fue de 16505 *P. redivivus*, el cual equivale a un 91.5267% de diferencia en contra del valor experimental. Lara *et al.* (2007) concluyen que el crecimiento de *Panagrellus redivivus* cultivado en avena con *Spirulina* sp, presenta un crecimiento con mayor número individuos y más acelerado con respecto al tiempo, que cultivado con avena sola. En este experimento se comparó el crecimiento del microgusano utilizando avena (sustrato) con levadura y el otro del sustrato con espirulina, resultando más favorable esta última combinación.

(Camino, 2015) demostró que el empleo de *Spirulina platensis* como enriquecedor del cultivo de *Panagrellus redivivus*, no presentó diferencia significativa en el contenido de proteínas totales, pero sí en el contenido de grasas con respecto al cultivo de *P. redivivus* cultivado con avena sola; por lo tanto, los microgusanos alimentados con *S. platensis*, son un alimento complementario. Por lo tanto, el presente experimento demuestra el potencial efecto que se tiene con la producción del microgusano, ya que la parte más importante, es obtener este alimento vivo, para poder utilizarlo en un cultivo de crías de peces recién eclosionadas, las cuales deberían de tomar su primer alimento del medio en donde se encuentran para mantener su supervivencia y obviamente, su desarrollo y crecimiento, para ser utilizados en el futuro como semilla para distintos cultivos de producción.

Por lo tanto, la primera fase se ha cumplido con el objetivo de producir el alimento vivo para su posterior utilización en experimentos de cultivo de especies de importancia comercial y ornamental, para asegurar la máxima supervivencia de las crías y posteriormente, tener un buen crecimiento de los peces con alimento balanceado con diferente cantidad de proteína.

11.2. Parámetros físico-químicos

11.2.1. Temperatura

La temperatura del agua mantuvo un rango de 23 a 26°C, que coincide con los datos de diferentes autores que estudiaron cuerpos de agua donde existe la presencia de *Poeciliopsis gracilis*, como por ejemplo Gómez-Márquez *et al.*, (2008), quienes registraron una temperatura de 24.1 a 32.3°C en el lago Coatetelco. Sánchez (2019) obtuvo que los peces se encuentran en un intervalo de 25 a 36°C en el bordo Amate Amarillo; (Ayala & Vera, 2007) y Gutiérrez & Hernández, (2007) reportaron para *P. gracilis* una temperatura de 21.9 a 31 °C y 21.6 a 35°C respectivamente para la presa Emiliano Zapata, Mor. Por otra parte, (Giusto *et al.*, 1998) mencionan que temperaturas superiores a 30°C, no causan la muerte de los organismos, pero si causan estrés y a partir de una temperatura de 41°C ya se considera una temperatura letal. Del mismo modo, Alvarado (2017) reportó que para *Poeciliopsis infans*, la temperatura letal fue a partir de 41°C. Ayala (2021) cita que para *P. gracilis* la temperatura crítica mínima es de 9.2° C y la máxima de 40.8°C.

11.2.2. pH

En las aguas naturales el pH varía entre 6 y 9. Los efectos letales aparecen a valores menores a 4.5 y mayores a 9.5, aunque existen organismos adaptados a valores más extremos, como el caso de *Girardinichthys viviparous*, que en condiciones naturales sobrevive a pH mayores de 9.5 (Gómez-Márquez *et al.*, 2013). El pH de las aguas naturales depende de las características de la cuenca de drenaje, la fotosíntesis, la capacidad de amortiguación del medio, la oxidación de la materia orgánica y la transformación química de sustancias minerales, así como de la adición de contaminantes (Arocena, 2016).

En cuanto al pH, se observan rangos básicos, siendo el valor más bajo de 7.5 y el más alto de 8.5, éstos valores coinciden con autores que estudiaron diferentes especies de la familia *Poeciliidae*, en condiciones naturales como controladas, por ejemplo Sánchez (2019) reporta un intervalo de 7.6 a 9.14; Ayala y Gutiérrez (2007) en la presa Emiliano Zapata registraron rangos de 6 a 9 y 7.6 a 8.95. Maya Peña & Marañón Herrera (1998) concluyen que para *Poecilia reticulata*, niveles de pH ácidos provocan la mayor mortalidad y que por el contrario, en condiciones básicas resultan más favorable para ésta especie. Por lo tanto, se puede concluir que tanto *Poeciliopsis gracilis* como *Poecilia reticulata* se mantuvieron en condiciones óptimas para su desarrollo en cautiverio, sin generar ningún tipo de estrés a los organismos, del mismo modo se descarta el hecho de que este parámetro afectó negativamente en la supervivencia de ambos organismos. wT)F-+6M

11.2.3. Dureza y Alcalinidad

La alcalinidad expresa numéricamente la cantidad de bases en equilibrio (HCO_3^{-1} , CO_3^{-2} , Cl^{-1} y SO_4^{-2}). En las aguas dulces este factor se debe principalmente a la presencia de carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinotérreos (Ca y Mg), por ser éstos los iones más abundantes. En las aguas dulces no contaminadas de pH entre 6.4 y 8.3, la alcalinidad se debe generalmente al bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Generalmente existe un aumento de la alcalinidad con la profundidad, ya que el anhídrido carbónico aumenta por respiración y descomposición de la materia orgánica (Arocena, 2016).

Para alcalinidad, se obtuvo un valor mínimo de $102 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ y un máximo de $171 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Estos resultados están muy por debajo con lo reportado por Sánchez (2019) & Ayala & Gutiérrez (2007), resultado que puede deberse a que en los diferentes cuerpos de agua naturales, existe una gran cantidad de organismos aerobios y anaerobios, autótrofos y heterótrofos, por lo tanto, hay una mayor cantidad de materia orgánica en descomposición, sólidos disueltos, nutrientes, oxigenación, origen de la cuenca, etc., mismos que afectan los parámetros físico-químicos del agua y que de acuerdo con las diferentes estaciones del año y dependiendo de las precipitaciones, éstos van cambiando. Este trabajo se llevó a cabo en condiciones controladas, haciendo cambios regulares de agua cada tres días, y es probable que este factor no haya afectado el cultivo.

La dureza del agua se define como la concentración total de calcio y magnesio. Cuando la dureza es mayor a la alcalinidad determinada por la suma de carbonato y bicarbonato, la dureza equivalente a la alcalinidad total es denominada carbonatada y la excedente no carbonatada. Si el valor de dureza es igual o menor al de la alcalinidad total, toda la dureza es carbonatada. La dureza puede determinarse en forma simple mediante el uso de kits de campo poco precisos, a partir del Ca^{++} y Mg^{++} , o por titulación con etilendiaminotetracético (EDTA) (Arocena, 2016).

Al igual que el parámetro anterior, la dureza total del agua presentó valores más bajos que en condiciones naturales, se obtuvo un rango de $53 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ a $142 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, que comparado con Hernández *et al.*, (2004) quienes estudiaron organismos de esta última, proveniente de un estanque permanente en Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, obtuvieron una dureza de $245.01 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Por otra parte, Silva *et al.*, (2016) mantuvieron a la especie *Goodea atripinnis* en condiciones constantes de agua con una alcalinidad de $192 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ y una dureza de $88.5 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, condiciones similares lo obtenido en éste experimento.

11.2.4. Amonio

Debido a los recambios de agua el N-NH_4 fue menor a $0.1 \text{ N-NH}_4/\text{L}$ lo cual, tuvo poca influencia en el desarrollo de los organismos, ya que Giusto *et al.*, (1998) mantuvieron organismos de *P. reticulata* en agua con $1,53 \text{ N-NH}_4/\text{L}$ sin afectar el desarrollo de los mismos.

11.3. Indicadores de crecimiento

Las tasas de crecimiento de los peces en una situación experimental han sido demostrado ser limitable por la disponibilidad de la ración, ya sea que la restricción sea por cantidad absoluta de ración o las horas del día de alimentación (Brett, 1979). Una nutrición adecuada es la base de la salud de cualquier animal, pero debido a la variedad de dietas de peces silvestres, a menudo es difícil proporcionar una dieta equilibrada para estos animales en cautiverio. El apoyo nutricional de los peces debe tener en cuenta su historia natural, comportamiento de alimentación, dieta, anatomía y requisitos metabólicos (Gore, 2006).

Se estudió el crecimiento y supervivencia de *Poeciliopsis gracilis* alimentado con *Panagrellus redivivus* enriquecido con levadura y espirulina, ambos tratamientos tuvieron valores similares, sin diferencias estadísticas, en cuanto al porcentaje de ganancia en peso y talla, se obtuvieron valores más altos en peso que en talla, para la quincena de abril-mayo ambos tratamientos alcanzaron su punto más alto para después decrecer antes de la muerte de los organismos en el mes de mayo. Estos resultados son similares a lo obtenido por Figueroa *et al.*, (2010) quienes al evaluar el crecimiento de crías de *Pterophyllum scalare*, se observó un crecimiento más favorable con alimento vivo (*Panagrellus redivivus*, *Artemia franciscana* y *Moina wierzejski*), que con alimento balanceado (Aquarian Tropical Flakes). Llegaron a la conclusión de que alimentar a los peces con *P. redivivus* y alimento inerte, se obtienen valores similares en cuanto a la mortalidad de los organismos. Un resultado similar fue reportado por Rottmann *et al.*, (1991), quienes al estudiar el crecimiento de *Ctenopharyngodon idella* e *Hypophthalmichthys nobilis*, alimentados con alimento vivo, demostraron que con *Panagrellus* los organismos tuvieron la longitud más baja, pero en comparación con *Artemia salina*, la longitud no fue tan diferente.

Las tasas específicas de crecimiento (TEC) en peso y talla Figura 22, mostraron un comportamiento contrario a los valores de %GP y %GT. TEC en peso presentó valores más bajos que longitud; sin embargo, con la prueba estadísticas (U de Mann Whitney y Kruskal-Wallis) se concluye que no hubo diferencias significativas entre tasas y tampoco entre tratamientos.

Con respecto al factor de condición, no se encontraron diferencias estadísticas entre el crecimiento de los organismos que fueron alimentados con los dos alimentos. En ambos casos se obtuvieron valores bajos, los cuales se asemejan a los reportados por Gómez-Márquez *et al.*, (2008) para machos de *P. gracilis*, ya que las hembras muestran valores superiores, esto quiere decir que tienen una mejor condición en condiciones naturales en el sistema acuático. Del mismo modo los valores de condición obtenidos se asemejan con lo reportado por Muñoz (2020), quien estudió la relación que tiene la temperatura con este factor al analizar la edad y crecimiento de esta especie, menciona que tanto el factor de condición como la temperatura, fueron similares a lo observado en este estudio.

En cuanto la relación longitud-peso se observan valores iguales entre los dos tratamientos con $b= 2.5456$, y mediante la prueba de t-student ambos obtuvieron una $P<0.05$, lo cual significa un crecimiento alométrico negativo con tendencia a la isometría, lo cual indica que ambos sexos crecen más en talla que en peso, posiblemente por el intervalo de talla registrado, resultados que concuerdan con lo reportado por Gómez-Márquez *et al.*, (2008), Gutiérrez & Hernández (2007) & Sánchez (2019).

Se puede concluir que los organismos crecieron más en longitud que en peso, resultado que es normal para muchas especies de peces, ya que en los primeros meses de vida el organismo alcanza una mayor longitud en un periodo de tiempo más corto, conforme pasa el tiempo, la longitud se va deteniendo y da lugar al peso, debido a que los organismos destinan menos energía al crecimiento y más a la maduración de las gónadas, con los productos sexuales de cada una y por lo tanto, a iniciar la primera talla de madurez sexual, entre otras cosas. Sin embargo, en el caso de las hembras de *P. gracilis*, aunque su crecimiento sigue siendo alométrico negativo, se ha reportado que son más pesadas que machos de su misma longitud, caso contrario con lo observado por Ayala & Vera (2007), quienes reportan un crecimiento alométrico positivo para hembras de ésta especie, posiblemente por efecto de la madurez gonádica y por el intervalo de tallas que mencionan. Contrario a esto, Muñoz (2020) reporta un crecimiento alométrico positivo con tendencia a la isometría tanto para hembras como machos.

La mortalidad se debió al mal manejo de los organismos, como, por ejemplo: se anestesiaron más tiempo de lo recomendado con la concentración de eugenol (esencia de clavo), el diminuto tamaño los hace extremadamente delicados al contacto humano, la poca bibliografía sobre la correcta manipulación de peces en su estado larvario y otros factores que posiblemente no se pudieron controlar bajo las condiciones en las que se llevó el cultivo.

Se sabe que, las hembras tienen una mayor supervivencia debido ciertas características que les ayudan, por ejemplo, sus escasos colores, esto favorece a que sean menos vistosas y por lo tanto sean menos depredadas, además tienen un crecimiento más lento y alcanzan tallas más grandes, contrario a los machos de *P. gracilis*, lo que hace que se presente una muerte diferencial entre los sexos en condiciones naturales Gómez-Márquez *et al.*, (2008).

A pesar de estos inconvenientes, se logró realizar el cultivo de *P. redivivus*, alimentar a las larvas y después administrarles alimento con diferente cantidad de proteína, en las condiciones experimentales que se pudieron establecer durante el problema sanitario que se presentó y que impidió llevarlo a cabo en condiciones óptimas para poder obtener mejores resultados a los presentados en este estudio.

12. Conclusión

- Se observó que el crecimiento de *P. redivivus* alimentado con espirulina, existe un aumento mayor de individuos en la población con respecto al tiempo, que los organismos que fueron alimentados con levadura, ambos con una base de avena. Esto puede deberse a las propiedades que posee la levadura en comparación a la levadura,
- Se logró evaluar la relación talla peso de *Poeciliopsis gracilis* que se alimentaron con ambos alimentos, presentando un crecimiento alométrico negativo con tendencia a la isomería.
- *Poeciliopsis gracilis*, alimentado con *Panagrellus redivivus* enriquecido con levadura, al comparar tanto longitud como peso, no se registraron diferencias significativas; por lo que, no resulta de mucha ayuda la utilización de espirulina como enriquecedor del cultivo de *Panagrellus redivivus*, a menos que se requiera de tener una gran cantidad de organismos en un tiempo más corto.

13. Recomendaciones

- Se recomienda probar y estudiar diferentes formas de realizar el cultivo de *Panagrellus redivivus*, ya que se pueden encontrar cultivos de microgusano que a simple vista tienen una población mayor a la registrada en este experimento y a la consultada en la bibliografía.
- Se recomiendan estudios relacionados con la utilización de esencia de clavo como anestésico para alevines casi recién nacidos, así como estudios sobre una manipulación no tan invasiva y más cómoda.
- Se sugiere que para las especies que nacen con saco vitelino, esperar a que éste se absorba para empezar a alimentar al organismo.
- Realizar el estudio en mejores condiciones que se puedan controlar las variables del experimento.

14. Referencias

- Aguirre, G. (1990). Evaluación nutricional de diferentes levaduras como fuentes de proteína y/o probiótico en la alimentación del camarón blanco *penaeus vannamei* [Universidad Autónoma de Nuevo León Monterrey, Nuevo León].
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsoai&AN=edsoai.on1133121956&lang=es&site=eds-live>
- Alvarado, S.G. B. (2017). Efecto del alimento balanceado y planctónico en la sobrevivencia y el desarrollo de los primeros estadios de *Poeciliopsis infans* (Woolman, 1894). Tesis de Maestría en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aqs 114.
- Ali, Md. Shawkat (2014). Evaluation of the effects of feed attractants

(Spirulina and ekangi) on growth performance, feed utilization and body composition of fingerlings of stinging catfish *Heteropneustes fossilis* (en inglés). Master of Science in Fisheries. University of Dhaka. 84 p.

- Arocena, R. (2016). Principios y métodos de limnología: ejemplos de Uruguay (R. Arocena (ed.); Udelar. FC). Universidad de la República, Facultad de Ciencias, Instituto de Biología, Sección Limnología. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/27350>
- Ayala, H.I. (2007). "Estudio reproductivo de *Poeciliopsis gracilis* de la Presa Emiliano Zapata, Morelos, Mexico". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/413761>
- Belay, A., Berestov, V., Bertolin, T. E., Pilatti, D., Cristina, A., Varrone, V., Bavaresco, C. S., Colla, L. M., Alberto, J., Costa, V., Chu, W. L., Lim, Y. W., Radhakrishnan, A. K., Lim, P. E., Falquet, J., Herrero, M., Ibanez, E., Senorans, F. J., Cifuentes, A., ... Ibrahim, Z. K. (2008). Factors Affecting Oocyte Quality: Who is Driving the Follicle? *Reproduction in Domestic Animals*, 5(3), 809–822.
- Bermúdez-González, M. P., Ramírez-García, A., Velázquez-García, E. C., Queijeiro-Bolaños, M. E. y Ramírez-Herrejón, J. P. (2020). Population structure of *Poecilia mexicana* (native) and *Poeciliopsis gracilis* (non-native) in a subtropical river. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(3), 357-369. DOI: 10.3856/vol48-issue3-fulltext-2423
- Brett, J. R. (1979). FISH PHYSIOLOGY. In *Fish Physiology* (Vol. 8, Issue C). [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60033-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60033-3)
- Camacho, D. (2019). *Panagrellus redivivus*, para la alimentación de peces ornamentales. *Zoociencia*, 6, 14–30.
- Camino, A. (2015). Comparación del contenido de proteínas totales de *Panagrellus redivivus* (GOODEY, 1945), cultivado en avena y avena enriquecida con *Spirulina platensis*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería Pesquera, UNP, Perú. 1 p.
- Carmen, P., R., Saeko Gaitán, I., Nicolás Chaparro, M. and Natalia Villamizar, V. (2017). *Effect of Three Diets in the Experimental Culture of the Common Snook (Centropomus undecimalis Bloch, 1792)*. *Revista MVZ Cordoba*, 22(3), 6287–6295.
- Castro Mejía, G., Castro Mejía, J., Malpica Sánchez, A., Orbe, R. I., Mazatlán, C., Llosa, G., Castro Barrera, T. and De Lara Andrade, R. (2003). Alimento vivo en la acuicultura. *Memoria VI Congreso Sobre Manejo de Fauna Silvestre En La Amazonía y Latinoamérica*, 48, 27–33.
- Civera-Cerecedo, R. Álvarez-González, C.A. y Moyano-López, F.J. (2004). Nutrición y alimentación de larvas de peces marinos. Pp. 8-94. En Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D. Nieto-López, M.G., Villareal, D., Scholz, U. y González, M. (2004). Avances en nutrición acuícola. *Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 16-19 noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, México.

- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2020). *El Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2020. Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación.* 291 p.
- Contreras-MacBeath, T., H. Mejía-Mojica y R. Carrillo-Wilson. (1998). *Negative impact on the aquatic ecosystems of the state of Morelos, México, from introduced aquarium and other commercial fish.* *Aqua. Sci. Conserv.* 2: 67-78.
- Contreras-MacBeath, T., M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y H. Mejía-Mojica. (2014). Peces invasores en el centro de México, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, Pp. 413-424.
- de Lara, R., Castro, T., Castro, J. y Castro, G. (2007). Cultivo del nematodo *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945) en un medio de avena enriquecida con *Spirulina* sp. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42(1), 29–36. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572007000100004>
- Erdogan, F. y Olmez, M. 2009. Effects of enzyme supplementation in diets on growth and feed utilization in angel fish, *Pterophyllum scalare*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(8): 1660-1665.
- Ergün, S., Güroy, D., Tekeşoğlu, H., Güroy, B., Çelik, I., Tekinay, A. A., y Bulut, M. (2010). Optimum dietary protein level for Blue streak hap, *Labidochromis caeruleus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(1), 27–31. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0104>
- Figueroa, J. (2009). Nematodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945): Una alternativa para la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos. *Investigación y Ciencia*, 17(45), 4–11.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22. 241-253.
- Geffroy, B. y S. Olivier. (2013). Effects of a *Spirulina platensis*, based diet on zebrafish female reproductive performance and larval survival rate. *Cybiurn* 37 (1–2): 31-38.
- Giusto, A., Gómez, S. E., Cassar, C., & Ferriz, R. a. (1998). Resistencia a la temperatura y salinidad en *Poecilia reticulata* PETERS, 1859. *Rev. Bioikos, PUC-Campinas*, 12(2), 45–52.
- Gómez-Márquez J. L., B. Peña-Mendoza, I. H. Salgado-Ugarte, A. K. Sánchez-Herrera, y L. Sastré-Baez. (2008). Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in Coatetelco, a tropical shallow lake in México. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 56 (4): 1801-1812.
- Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza y Guzmán-Santiago, J.L. (2013). Occurrence of the fish *Girardinichthys viviparous* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) in an urban lake at Mexico City. *Cuadernos de Investigación UNED* 5(1), 89-95. Laboratorio de Limnología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F. Fax
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Alejo-Plata, M. del C. y Guzmán-

- Santiago, J. L. (2015). Culture Mixed-Sex and Monosex of Tilapia in Ponds in Mexico City. *Agricultural Sciences*, 06(02), 187–194.
- Gómez, A., Ceballos, I., Ruiz, E., Rodríguez, P., Valero, Tt., Ávila, J. y Varela, G. (2017). Datos actuales sobre las propiedades nutricionales de la avena. Fundación Española de la Nutrición, FEN – 2017. 9 p.
 - Gómez, K. (2020). Aplicación de *Spirulina* en el desarrollo de alimentación humana y animal. Tesis de maestría. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia. 17 p.
 - Gore, S. R. (2006). Nutritional Support of Fish. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 15(4), 264–268. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2006.09.005>
 - Group, P. (2016). Principios y métodos de limnología: ejemplos de Uruguay. Parlamento.gub.uy.https://pmb.parlamento.gub.uy/pmb/opac_css/index.php?vI=notice_display&id=87418
 - Güroy, B, I. Şahin, S. Mantoğlu y S. Kayalı. (2012). *Spirulina* as a natural carotenoid source on growth, pigmentation and reproductive performance of yellow tail cichlid *Pseudotropheus acei*. *Aquaculture International* 20 (5): 869-878.
 - Gutierrez, G.G. (2007). "Edad y crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* de la Presa Emiliano Zapata, Morelos, Mexico". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/115572>
 - Habib, M.A.B., M. Parvin, T.C.Huntington, M.R. Hasan. (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*. No. 1034. Rome, FAO. 33 p.
 - Harel M., Koven W., Lein L., Bar Y., Beherens P., Stubblefield J., Zohar Y. y A.R. Place. (2002). Advanced DHA, EPA and ArA enrichment materials for marine aquaculture using single cell heterotrophs. *Aquaculture*, 213:347-362.
 - Hernández, M. U., Cabrera-Peña, J. y Protti-Quesada, M. (2004). Fecundidad, fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en Heredia, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52(4), 945–950.
 - INEGI. (2017). Anuario estadístico y geogr áfico de la Ciudad de México 2017. *Anuario Estadístico y Geográfico de Los Estados Unidos Mexicanos*, 506. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264245174-en>.
 - Khan, Z., P. Bhadouria y P.S. Bisen. (2005). Nutritional and Therapeutic Potential of *Spirulina*. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 6: 373-379.
 - Kobelkowsky, A. y A. Alva–García. (2000). Anatomía sexual de *Gambusia regani* (Pisces: Poeciliidae). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 71: 133–142.
 - Léger, P.D., Grymonpré, E., Van Ballaer, E. y Sorgoloos, P. (1989). Advances in the enrichment of rotifers and Artemias as food sources in marine larviculture. *Eur. Aquac. Soc. Esp. Public.*, 10. 141-142.
 - Lugo, A. (2007). Evaluación del crecimiento poblacional del microgusano

Panagrellus redivivus y caracterización nutrimental con distintos medios de cultivo. Tesis de licenciatura. FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA. UNAM. México. 7 p.

- Luna Figueroa, J. (2009). Nematodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945): Una alternativa para la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos. *Investigación y Ciencia*, 17(45), 4–11.
- Luna-Figueroa, J.; Vargas, ZT. de J. y Figueroa, T. J. (2010). Alimento vivo como alternativa en la dieta de larvas y juveniles de *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823). *Avances En Investigación Agropecuaria*, 14(3), 63–72. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83715746005>
- Maya, E.S. Marañón y N. Sánchez. (2006). Análisis de un ciclo de producción en una granja familiar productora de poecílicos en el estado de Morelos. Sociedades Rurales, Producción y Medio ambiente. *Notas de investigación*. 6(12): 67-82.
- Maya-Peña, E., y Marañón-Herrera, S. (2001). Efecto de la temperatura sobre la proporción sexual de *Poecilia reticulata* Peters, 1859 (Pisces: Poeciliidae). *Hidrobiológica*, 11(2), 157–162.
- Maya-Peña, E. y Marañón-Herrera, S. (1998). Efecto del pH sobre la proporción de sexos , el crecimiento y sobrevivencia del guppy *Poecilia reticulata*, 1859. *Hidrobiológica*, 8 (2), 125–132.
- Mendoza, R. (2018). Guía visual para la identificación de especies y catálogo ilustrado para la identificación y uso de las especies de peces invasoras de la región hidrológica de Amacuzac. Segundo taller de capacitación para personal de gobierno y la elaboración de un protocolo de cooperación entre las dependencias gubernamentales en México para dar respuesta ante alertas de especies acuáticas invasoras. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/317271/Guia.pdf>
- Miller, R., W. Minckley, y S. Norris. (2009). Peces dulceacuícolas de México. CONABIO, SIMAC, ECOSUR, DFC, México D.F. 559 p.
- Mustafa, Md. G., T. Umino y H. Nakagawa. (1994). The effect of *Spirulina* feeding on muscle protein deposition in red sea bream, *Pagrus major*. *Journal of Applied Ichthyology* 10 (2–3): 141-145.
- Olvera-Novoa, M. A.; L.J. Domínguez-Cen, L. Olivera-Castillo, C.A. Martínez-Palacios, (1998). Effect of the use of the microalga *Spirulina maxima* as fish meal replacement in diets for tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters), fry. *Aquaculture Research* 29 (10): 709-715.
- Ricci, M., Fifi, A. P., Ragni, A., Schlechtriem, C., y Focken, U. (2003). Development of a low-cost technology for mass production of the free-living nematode *Panagrellus redivivus* as an alternative live food for first feeding fish larvae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60(5), 556–559. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1178-2>
- Ramakrishnan, C.M., M.A. Haniffa, M. Manohar, M. Dhanaraj, A. Jesu Arockiaraj, S. Seetharaman y S.V. Arunsingh. (2008). Effects of probiotics and spirulina on survival and growth of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* 60(2): 128-133.

- Rottmann, R.W. (2002). Microworm Culture for Aquarium Fish Producers. *Aquatic Sciences*, 9, 2–4.
- Rottmann, R. W., Shireman, J. V., & Lincoln, E. P. (1991). Comparison of three live foods and two dry diets for intensive culture of grass carp and bighead carp larvae. *Aquaculture*, 96(3–4), 269–280. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90157-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90157-3)
- Sánchez, M.W.N. (2019). "Reproducción de *Poeciliopsis gracilis*, especie ornamental introducida en el bordo amate amarillo, Morelos". Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3457392>
- Santiago, CB, AC Gonzal, M Ricci y S Harpaz. (2003). Response of bighead carp *Artisticthys nobilis* and Asian catfish *Clarias macrocephalus* larvae to free-living nematode *Panagrellus redivivus* as alternative feed. *Journal of Applied Ichthyology* 19: 239-243.
- Sarma, S.S.S. y S. Nandini. (2017). Rotíferos Mexicanos. Manual de enseñanza. FES Iztacala, UNAM. 148 p.
- Silva, J., Martínez, M., Rico, R., Gómez, J., y Arredondo, J. (2016). Reproductive biology of *Goodea atripinnis* (Jordan, 1880) (Cyprinodontiformes: Goodeidae) under controlled conditions. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(2), 181–193.
- Tapia, S.R.R. (2009). "Evaluación de la toxicidad aguda por metales pesados en el pez *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1848)". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/226712>
- Torres, O.C.A. (2019). "Manual para la preparación y mantenimiento de alimento vivo para peces de ornato". Tesis de Licenciatura. FES Cuautitlán, UNAM, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3430863>
- Universidad Pablo Olavid. (2012). El nematodo *C. elegans* se posiciona como alternativa al uso de *Artemia*, un crustáceo muy extendido y cuyo empleo genera costes elevados en la acuicultura. <https://www.upo.es/upotec/contenidos/casos-de-exito/2012/nov/05/elNematodo-c-elegans-se-posiciona-como-alternativ/>
- Zapata Morán, Irene. (2015). "Variación periódica en la dinámica poblacional del pez vivíparo *poeciliopsis gracilis*: implicaciones para su conservación". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/329155>