



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO-GIRON
CARRERA DE BIOTECNOLOGIA**

**ELABORACIÓN DE UNA PROTEÍNA BIOLÓGICA A BASE DE COPÉPODOS DE
AGUA DULCE, CULTIVADOS BAJO CONDICIONES CONTROLADAS, PARA
USO COMO ALIMENTO VIVO EN TILAPIA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniero/a Biotecnólogo/a**

**AUTORES: ALARCÓN ROSERO DANIELA BELÉN
PIEDRA SÁNCHEZ ÁNGELO MARCELO**

TUTOR: VACA SUQUILLO IVONNE DE LOS ÁNGELES

Quito -Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alarcón Rosero Daniela Belén con documento de identificación N° 1725143349 y Piedra Sánchez Ángel Marcelo con documento de identificación N°1725280745; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de marzo del año 2025

Atentamente,



Alarcón Rosero Daniela Belén
1725143349



Piedra Sánchez Ángel Marcelo
1725280745

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alarcón Rosero Daniela Belén con documento de identificación N° 1725143349 y Piedra Sánchez Ángel Marcelo con documento de identificación N°1725280745, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: **“Elaboración de una proteína biológica a base de copépodos de agua dulce, cultivados bajo condiciones controladas, para uso como alimento vivo en tilapia”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de marzo del año 2025

Atentamente,



Alarcón Rosero Daniela Belén
1725143349



Piedra Sánchez Ángel Marcelo
1725280745

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Vaca Suquillo Ivonne de los Ángeles con documento de identificación N° 1714726906, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ELABORACIÓN DE UNA PROTEÍNA BIOLÓGICA A BASE DE COPÉPODOS DE AGUA DULCE, CULTIVADOS BAJO CONDICIONES CONTROLADAS, PARA USO COMO ALIMENTO VIVO EN TILAPIA**, realizado por Alarcón Rosero Daniela Belén con documento de identificación N°1725143349 y por Piedra Sánchez Ángel Marcelo con documento de identificación N°1725280745, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de marzo del año 2025

Atentamente,



Ing. Ivonne De Los Ángeles Vaca Suquillo M.Sc.

1714726906

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada primero a Dios, sin su amor, sabiduría y fortaleza no hubiera podido culminar esta etapa. A mi madre Carmen Rosero quien ha sido mi fuente de inspiración y apoyo, a mi padre Efraín Alarcón, quién ya no está físicamente conmigo, y aunque no puedes leer estas palabras siempre te llevo presente, sé que dónde estés, me acompañas y celebras este triunfo. A mi hermano Alejandro Alarcón, por ser un hombre increíble, su apoyo y motivación han sido esenciales en este largo proceso.

A mi enamorado y compañero de tesis, por ser una persona incondicional que ha estado durante esta etapa de estudio escuchándome y apoyándome para hacer un solo frente y poder finalizar esta investigación sin su amor y comprensión nada de esto hubiera sido posible.

Daniela Belén Alarcón Rosero

Dedico la presente investigación a Dios, quien me ha otorgado la fortaleza y la sabiduría necesaria para tomar decisiones que me han permitido alcanzar mis metas. A mis padres, por su apoyo incondicional, por ser mi ejemplo de superación y progreso a través del esfuerzo y dedicación, por sus apreciados consejos y por el inmenso amor que me han ofrecido. A mis dos hermanas por apoyarme y darme el impulso necesario para cumplir mis sueños.

A mi enamorada y compañera de tesis, por acompañarme durante estos años de arduo estudio, brindándome sus conocimientos, apoyándome y luchando juntos por el objetivo de culminar la presente investigación.

Ángelo Marcelo Piedra Sánchez

AGRADECIMIENTO

En mi primer lugar agradecemos a Dios por ayudarnos alcanzar un escalón más en nuestras vidas profesionales y por darnos fortaleza en momentos de decaimiento, con su infinito amor y fortaleza estamos culminando una etapa más.

A nuestros padres y hermanos por su guía, cariño y confianza que nos han brindado durante estos 4 años de estudio, con su total apoyo estamos finalizando nuestra carrera.

Estamos infinitamente agradecidos con nuestro tutor externo el Lcdo. Jorge Irazábal y especialmente con nuestra tutora institucional la Ing. Ivonne Vaca MSc. por todo el apoyo recibido y la confianza depositada en nosotros, su conocimiento fue de gran ayuda para empezar y finalizar con éxito esta investigación.

A nuestros amigos, compañeros (as) y a la Universidad Politécnica Salesiana quienes contribuyeron en nuestra formación profesional e hicieron posible que este sueño sea cumplido.

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad producir una proteína biológica a base de copépodos de agua dulce, cultivados bajo condiciones controladas, para uso como alimento vivo en tilapia. El proceso experimental contó con tres fases, la primera fue de campo y consistió en la recolección de copépodos de agua dulce en el Parque Nacional Antisana, Laguna La Mica; la segunda fase fue de laboratorio se buscó identificar morfológicamente al copépodo bajo el microscopio, la especie identificada fue *Leptodiptomus minutus*. También se efectuó la micropropagación de fitoplancton, obtenido de la misma laguna, que fue usado como alimento de copépodos. La última fase de campo se basó en la masificación *in vitro* de copépodos, el cultivo y la alimentación de tilapias. Esta inició con la aclimatación de copépodos para no provocar un desfase en su crecimiento o la muerte. Debido a la contaminación del agua, ocasionada por materia orgánica tanto en copépodos como en tilapias, se aplicó un consorcio de bacterias benéficas para reducir la misma. Se evaluaron tres tratamientos en la composición del alimento para los estadios de alevines, juveniles y adultos de tilapias, para determinar el porcentaje óptimo de copépodos como suministro alimenticio mezclado con balanceado comercial; se contó con un tratamiento control, el cual consistió en alimentar a los peces únicamente con balanceado comercial. Los mejores tratamientos para el estadio de alevines fueron T0 (control), T1 y T2, administrando hasta un 66% de copépodos y un 44% de balanceado. Para los estadios de juvenil y adulto se encontró que los tratamientos T0 (control) y T1 (25% de copépodos y un 75% de balanceado), fueron estadísticamente iguales, los peces alcanzaron su peso para comercialización al quinto mes, con un peso para T0 de 449,51 g y para T1 de 444,75 g; un tamaño para T0 de 26,16 y para T1 de 25,04 cm. Mediante los resultados obtenidos se concluye que la dieta a base de copépodos permite sustituir entre 25 y 66% de balanceado, dependiendo del estadio de la tilapia.

Palabras Clave: *Leptodiptomus minutus*, fitoplancton, consorcio bacteriano, alevín.

Abstract

The purpose of this research was to produce a biological protein based on freshwater copepods, cultured under controlled conditions, for use as live food for tilapia. The experimental process had three phases, the first was in the field and consisted of the collection of freshwater copepods in the Antisana National Park, Laguna La Mica; the second phase was in the laboratory and sought to morphologically identify the copepod under the microscope; the identified species was *Leptodiaptomus minutus*. Micropropagation of phytoplankton was also carried out, obtained from the same lagoon, which was used as copepod food. The last field phase was based on the *in vitro* massification of copepods, the cultivation and feeding of tilapia. This began with the acclimatization of the copepods to avoid a delay in growth or death. Due to water contamination caused by organic matter in both copepods and tilapia, a consortium of beneficial bacteria was applied to reduce it. Three treatments in feed composition were evaluated for the fingerling, juvenile and adult stages of tilapia, to determine the optimal percentage of copepods as a feed contribution mixed with commercial feed; a control treatment was used, which consisted of feeding the fish only with commercial feed. The best treatments for the fingerling stage were T0 (control), T1 and T2, administering up to 66% copepods and 44% feed. For the juvenile and adult stages, it was found that the treatments T0 (control) and T1 (25% copepods and 75% feed) were statistically equal, the fish reached their commercial weight at the fifth month, with a weight for T0 of 449.51 g and for T1 of 444.75 g; a size for T0 of 26.16 and for T1 of 25.04 cm. Based on the results obtained, it is concluded that the copepod-based diet can replace between 25 and 66% of the feed, depending on the stage of the tilapia.

Keywords: *Leptodiaptomus minutus*, phytoplankton, bacterial consortium, fry.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. El zooplancton.....	4
2.2. Copépodos.....	4
2.2.1. Distribución de los copépodos.....	5
2.2.2. Aspectos Morfológicos de los copépodos.....	6
2.2.3. Tamaño.....	7
2.2.4. Alimentación.....	7
2.2.5. Reproducción.....	8
2.2.6. Ciclo de Vida.....	9
2.2.7. Importancia Ecológica.....	10
2.3. Copépodos en el Ecuador.....	10
2.4. <i>Leptodiptomus minutus</i>	11
2.4.1. Clasificación taxonómica.....	12
2.4.2. Aspectos morfológicos de <i>Leptodiptomus minutus</i>	13
2.5. Cultivo <i>in vitro</i> de copépodos.....	13
2.5.1. Dieta de copépodos a base de fitoplancton.....	14
2.6. Los copépodos en la Biotecnología y Alimentación de peces.....	14
2.6.1. Importancia del cultivo de copépodos del orden Calanoida.....	15

2.6.2.	Contenido de proteína de los copépodos como alimento.	15
2.7.	Tilapia.....	16
2.7.1.	Origen e importancia económica.....	16
2.7.2.	Biología de la Tilapia.	17
2.7.3.	Condiciones de producción de la Tilapia.	18
2.7.4.	Alimentación de la Tilapia.	20
2.7.5.	Composición del Balanceado.	21
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1.	Ubicación.....	23
3.2.	Fase I de campo.	24
3.2.1.	Colección de copépodos.....	24
3.3.	Fase II de laboratorio.....	25
3.3.1.	Identificación de copépodos.....	25
3.3.2.	Micropropagación de fitoplancton.	25
3.4.	Fase III de campo.....	26
3.4.1.	Masificación <i>in vitro</i> de copépodos.....	26
3.4.1.1.	Aclimatación de copépodos.....	26
3.4.1.2.	Alimentación de copépodos.....	27
3.4.1.4.	Reversamiento sexual <i>in vitro</i> de copépodos.....	30
3.4.2.	Determinación de la proporción óptima de copépodos	30
3.4.3.	Producción de tilapias.....	32
3.4.4.	Unidad experimental.....	32

3.4.5. Variables dependientes	33
3.4.5.1. Peso.....	33
3.4.5.2. Tamaño	33
3.4.6. Diseño Experimental	34
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Identificación de la especie.....	35
4.2. Cultivo <i>in vitro</i> de Copépodos.....	37
4.2.1. Control de los niveles de amonio	37
4.2.2. Reversamiento sexual <i>in vitro</i> de los copépodos.....	38
4.2.3. Micropropagación de fitoplancton.....	39
4.3. Determinación de la proporción de copépodos como alimento.	40
4.3.1. Proporción de copépodos para alevines.....	40
4.3.2. Proporción de copépodos para juveniles y adultos.....	43
5. CONCLUSIONES	50
5.1. Conclusiones.....	50
ANEXOS.....	60
Anexo 1 Convenio específico.....	60
Anexo 2 Permiso de Pesca Deportiva para la colección de material biológico	61

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipo y tasa de alimentación de los Copépodos	8
Tabla 2 Características diferenciales entre los estadios de copépodo	9
Tabla 3 Parámetros para producción de Tilapia	19
Tabla 4 Determinación de la proporción de copépodos para alevines.	31
Tabla 5 Determinación de la proporción de copépodos para juveniles.....	31
Tabla 6 Análisis de medianas para las variables peso y tamaño de alevines	40
Tabla 7 Análisis de medianas para las variables peso y tamaño, de los estadios juveniles y adultos.	44

Índice de Figuras

Figura 1 Grupos de copépodos que se pueden encontrar en agua dulce.	5
Figura 2 Vista dorsal y ventral de los copépodos.....	6
Figura 3 Copépodo <i>Leptodiaptomus minutus</i>	12
Figura 4 Clasificación taxonómica de <i>Leptodiaptomus minutus</i>	12
Figura 5 Morfología externa de la Tilapia.	18
Figura 6 Composición del Balanceado para Tilapias.....	22
Figura 7 Laguna La Mica	23
Figura 8 Recinto el Bolo	24
Figura 9 Copépodos a temperatura ambiente.....	27
Figura 10 Masificación de fitoplancton.	28
Figura 11 Escala de color para el control de amonio	29
Figura 12 Consorcio de Bacterias	30
Figura 14 Identificación morfológica de <i>Leptodiaptomus minutus</i>	36
Figura 15 Curvas de crecimiento variable peso.	41
Figura 16 Curva de tamaño semanal de alevines	42
Figura 17 Peso semanal de juveniles.	45
Figura 18 Tamaño semanal de juveniles	46
Figura 19 Peso semanal adultos	47
Figura 20 Tamaño semanal adultos.....	48

Índice de Anexos

Anexo 1 Convenio específico	60
Anexo 2 Permiso de Pesca Deportiva para la colección de material biológico	61

1. INTRODUCCIÓN.

Los copépodos son organismos de vida libre ampliamente estudiados, debido a su impacto como principales actores en el ambiente pelágico marino, proporcionan una fuente importante de alimento para peces planctívoros y larvas de peces en general, los copépodos representan del 70% al 90% del zooplancton (Drillet et al., 2011). En aguas abiertas tropicales este tipo de comunidades abundan y poseen un tamaño promedio que varía entre 0,5 hasta 3 mm, en su estructura no disponen de un caparazón como otros micro crustáceos de aguas continentales, lo cual contribuye a una mejor diferenciación entre este tipo de especies (Velázquez et al., 2021).

Los copépodos están conformados por un 44 a 52% de proteína, dicho componente está presente desde los estadios de larvas hasta adultos, por tal motivo pueden ser adicionados a la dieta de otras especies acuáticas, en cualquiera de sus estadios de crecimiento, con la finalidad de cumplir los requerimientos nutricionales de los peces. En el Ecuador no es frecuente encontrar estudios de copépodos de agua dulce como alimento vivo, debido a que, se les da más importancia a los copépodos marinos (Suárez, 2015).

“La biotecnología, ha tenido gran impacto en la acuicultura en varios ámbitos como: mejoramiento genético, maduración reproductiva, nutrición, conservación de especies, etc.” (Muñoz, 2011). Varios investigadores han empleado distintos enfoques para lograr un abastecimiento apropiado de copépodos para la nutrición de larvas, entre los más importantes: tamizado de plancton silvestre de aguas naturales, propagación de conjuntos mixtos en tanques o estanques al aire libre y cultivo intensivo de especies individuales de copépodos utilizando sistemas intensivos de cultivo en interiores (Kline & Laidley, 2015).

En este estudio se utilizará el tamizado de plancton silvestre de aguas naturales para la colección y cultivo de copépodos bajo condiciones controladas, el cual demanda parámetros físicos como: salinidad, fotoperiodos, temperatura; y parámetros biológicos como la alimentación; que suelen

ser difíciles de cumplir (Kline & Laidley, 2015). Por tal motivo en la presente investigación, se ha planteado mantener una producción sostenible de copépodos para emplearlos en la alimentación de Tilapia.

“En el Ecuador y en América Latina como tal, la industria de la alimentación en la acuicultura se ha vuelto un problema importante, debido a que algunas marcas no cumplen con los estándares adecuados de nutrientes para los peces” (El Productor, 2017). El balanceado o pienso alimenticio tiende a alcanzar el primer lugar entre los suministros para cría de peces y micro crustáceos, ya que, este tipo de alimento de uso acuícola se ha vuelto indispensable para su nutrición, sin embargo, el balanceado contribuye a efectos ambientales no deseados como contaminación del agua, suelo y desechos químicos, además incrementa los costos de producción (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

Cabe mencionar, que los peces, acorde a sus distintas etapas de crecimiento requieren diferentes niveles de proteína, por lo cual, se explora nuevos sustitutos de alimentación, manteniendo los índices nutricionales adecuados, para que los peces continúen con su desarrollo normal (Carrión et al., 2023). El estudio tiene como finalidad hallar alternativas para una alimentación nutritiva para las tilapias y peces de agua dulce en general.

La recolección de copépodos se realizó mediante salidas de campo, al Parque Nacional Antisana, Laguna La Mica y se procedió a la identificación morfológica y cultivo controlado de la especie en el laboratorio de microbiología de la Agencia de Control Regulación Fito y Zoosanitaria (AGROCALIDAD Quito), durante el periodo comprendido de julio a septiembre de 2024. Posteriormente, la evaluación como alimento de tilapias en campo, se llevó a cabo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, ciudad Santo Domingo.

La investigación tiene como objetivo general, elaborar una proteína biológica a base de copépodos de agua dulce, cultivados bajo condiciones controladas, para uso como alimento

vivo en tilapia, mediante la identificación morfológica de copépodos en todos sus estadios de crecimiento; la determinación de una proporción óptima de proteína a base de los cuerpos adultos de los copépodos, usados como alimento vivo para tilapia, en sus estadios de alevín, juvenil y adulto.

La acuicultura es una actividad en crecimiento en el Ecuador y los productores buscan alternativas para la alimentación de los peces, con ello también optimizar costos de producción. Para esta investigación se ha planteado la hipótesis general “el alimento vivo a base de copépodos aportará el suficiente índice proteínico para reemplazar al balanceado convencional”, así también la hipótesis nula “todos los tratamientos de alimento vivo a base de copépodos dará como resultado iguales características en peso y tamaño” y la hipótesis alternativa “al menos uno de los tratamientos de alimento vivo a base de copépodos dará como resultado diferentes características en peso y tamaño”.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. El zooplancton.

El Zooplancton proviene de dos términos griegos “Zoon”, que significa animal, y “Planktos”, que indica “vagando”. Se describe como un grupo de animales que merodean en la columna de agua porque no pueden nadar lo suficiente para enfrentarse a las corrientes marinas. La mayoría de sus especies poseen cilios, flagelos, pseudópodos y estructuras anatómicas que les proporciona una corta locomoción, aunque su movimiento depende principalmente de las corrientes (Lagos et al., 2014).

Son organismos heterótrofos, lo cual indica que deben ingerir su propio alimento porque no pueden sintetizarlo. Este tipo de especies se puede clasificar en: herbívoros, carnívoros y omnívoros, dependiendo de estos hábitos su tamaño puede variar desde formas microscópicas, multicelulares, flagelados hasta medusas; presentan una reproducción sexual o asexual y varios organismos suelen manifestar alternancia de generaciones (Lagos et al., 2014).

2.2. Copépodos.

Los copépodos representan aproximadamente del 70% al 90% del zooplancton marino, son organismos de vida libre, pertenecen al grupo de los micro crustáceos que abundan los ecosistemas marinos y de agua dulce, pueden encontrarse desde aguas profundas, agua de mar, arroyos, orillas de lagunas, lagos hasta fuentes hidrotermales; al tener una conexión directa entre los productores primarios y los niveles tróficos superiores, se convierten en un eslabón clave dentro de los ecosistemas marinos (Doria & Gaviria, 2023).

Grupos de Copépodos

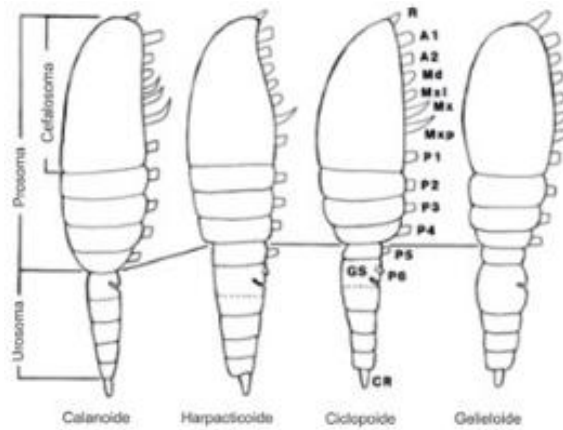


Figura 1 Grupos de copépodos que se pueden encontrar en agua dulce.

Fuente: (Velázquez et al., 2021).

Los copépodos poseen gran diversidad y riqueza (**Figura 1**), su aporte a la biomasa acuática es amplia, porque representan una gran cantidad de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos, sirviendo como alimento para peces. También son considerados indicadores dentro del ecosistema marítimo para su correcto funcionamiento. Por otra parte, los copépodos pueden ser pelágicos y epipelágicos, ya que se encuentran en zonas medias del océano, así como también en zonas medias de aguas dulces (Bucheli et al., 2022).

2.2.1. Distribución de los copépodos.

Los copépodos se encuentran distribuidos en las aguas del pacífico y lagunas en su mayoría. Su hábitat se encuentra mayormente extendido en las zonas costeras, esto puede ocurrir por la influencia de la corriente. Las zonas intermedias y oceánicas ofrecen un hábitat adecuado para los copépodos, ya que en varios estudios se ha logrado evidenciar que existen numerosas colonias de dichos organismos en los ecosistemas mencionados (López Raúl, 2012).

Cabe recalcar que los copépodos son organismos cosmopolitas y pueden ser encontrados en aguas marinas y aguas dulces, su ecosistema se limita al primer metro de superficie. En países

como Colombia, Ecuador, Perú y Chile se puede encontrar colonias de copépodos en lagunas de la Cordillera de los Andes, debido a que la temperatura no es un limitante para su desarrollo, de igual forma la salinidad, pH, entre otros (López Raúl, 2012).

2.2.2. Aspectos Morfológicos de los copépodos.

Los copépodos se pueden diferenciar de otros micro crustáceos, debido a la carencia de caparazón, su cuerpo se encuentra segmentado y articulado, ya que tiene una forma cilíndrica. Los copépodos poseen 12 pares de apéndices entre ellas: antenas, anténulas, mandíbulas, maxílulas, maxilas, maxilípedos, cuatro pares de patas natatorias, y una quinta pata considerada para fines reproductivos (**Figura 2**). Estos organismos en su mayoría mantienen estructuras básicas, sin embargo, depende de las formas y colores, para que su estructura sea más compleja (Velázquez et al., 2021).

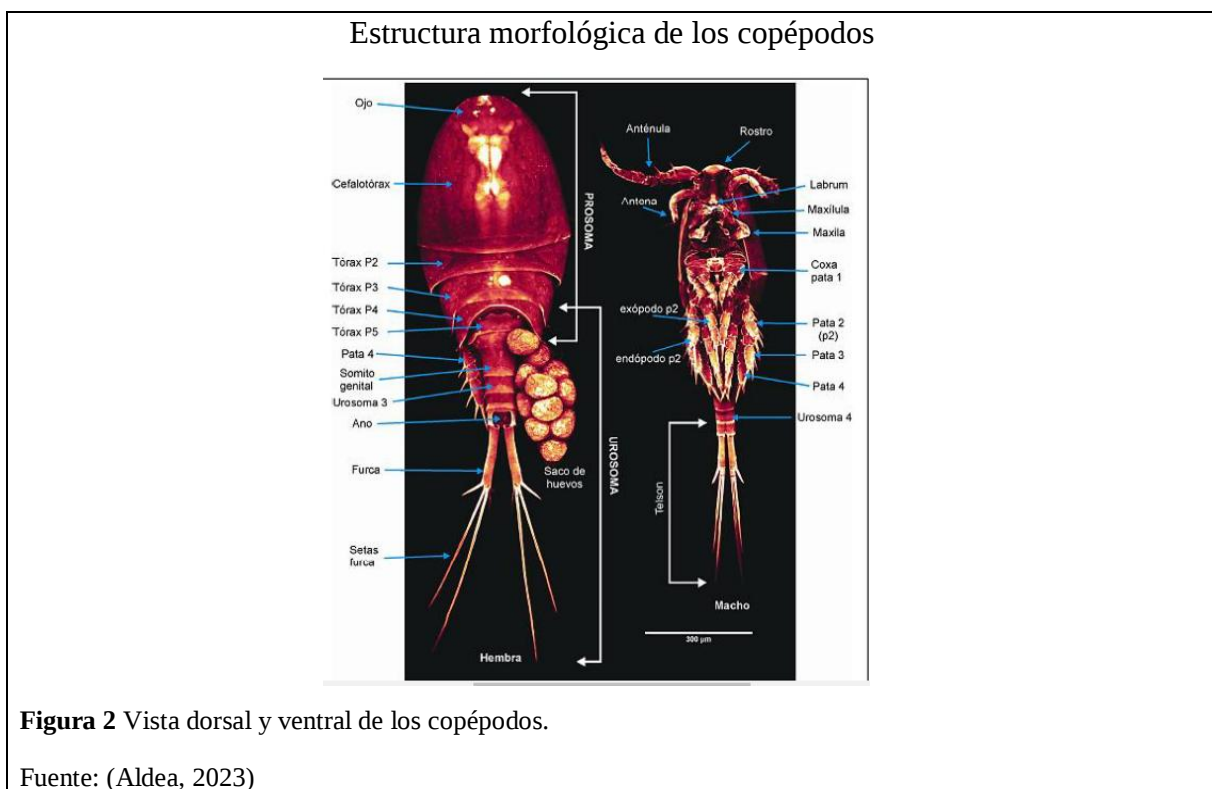


Figura 2 Vista dorsal y ventral de los copépodos.

Fuente: (Aldea, 2023)

El cefalotórax de los copépodos está constituido por la cabeza y el tórax, este último está conformado por seis segmentos, siendo el primero el que se une a la cabeza para formar el cefalosoma, los otros segmentos son apéndices torácicos y se usan en el proceso de locomoción en donde las antenas detienen el movimiento, para que sea lento sobre todo en el proceso de alimentación. El urosoma también denominado abdomen, se encuentra formado por 5 secciones más angostas que los torácicos mencionados anteriormente (Velázquez et al., 2021).

2.2.3. Tamaño.

“De acuerdo a su edad el tamaño de los copépodos varía, en su estado silvestre pueden tener un tamaño promedio que oscila entre 0,5 hasta 3 mm, pero en ocasiones pueden llegar a medir hasta 28 mm en adultos” (Velázquez et al., 2021). Durante el crecimiento en su estadio de nauplio pueden alcanzar tamaños de 1 mm, durante las fases de copepoditos y copépodos pueden llegar a medir 25 mm, su tamaño va a depender del cuidado y la profundidad en la que se encuentren, a mayor profundidad, mayor será su tamaño (Fernández, 2015).

2.2.4. Alimentación.

Los copépodos son reconocidos por ser herbívoros, ya que se alimentan de fitoplancton, y en su mayoría actúan como organismos omnívoros debido al oportunismo trófico que se da en el aspecto micro – macrófago. La alimentación puede variar dependiendo el tamaño del copépodo como se visualiza en la

Tabla 1 los copépodos pueden ser alimentados con diversas fuentes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

Tabla 1 Tipo y tasa de alimentación de los Copépodos

Tipo de alimento	Tasa de alimentación diaria
Levadura de repostería	125–625 g
Alimento sintético para anguila y peces carnívoros	30g × 7 veces
Alimento sintético para camarón	0,1 – 1,0 g/2,5 días
Alimento sintético para Yellowtail	10 – 15g/3días
<i>Nitzschia</i> sp.	5 × 10 ⁵ cel/mL
Leche en polvo	0,1 – 0,5g/2,5 días
Levadura seca	1 mg
Fragmentos de <i>Undaria</i> sp.	5 – 20g/20 días
Fragmentos de <i>Ulva</i> sp.	5 – 20g/20 días
Fragmentos de <i>Enteromorpha</i> sp.	1 kg

Nota: Yellowtail es un tipo de pez pequeño, *Nitzschia* sp. pertenece al grupo de las diatomeas, *Undaria* sp. alga invasora. *Ulva* sp. lechuga de mar y *Enteromorpha* sp. alga verde.

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

2.2.5. Reproducción.

El esqueleto de los copépodos se encuentra segmentado y presenta una reproducción sexual con sexos divididos (**Figura 2**). Dentro del proceso de reproducción el macho abraza por el vientre a la hembra con sus antenas y adhiere dos espermatóforos que se quedan pegados a la hembra en el segmento genital. Los espermatozoides pueden vivir varias semanas en el receptáculo de la hembra y pueden fecundar a varios huevos, los cuales lleva la hembra pegados a los lados del cuerpo, de los huevos nacen larvas denominadas nauplios. El proceso dura aproximadamente siete días (Miracle, 2015).

2.2.6. Ciclo de Vida.

El ciclo de vida de los copépodos puede ser corto (una semana) o medianamente largo (un año), el tiempo varía conforme se den las circunstancias para su supervivencia. Generalmente, los machos son más pequeños que las hembras y tienen un periodo de vida más corto. El ciclo de vida de este tipo de especie tiene tres fases, las cuales son: nauplios, copepoditos y copépodos (Suárez, 2015).

La fase de nauplios tiene seis estadios metanaupliares, posteriormente pasan a ser copepoditos, en dicha fase hay cinco estadios y pasan a ser copépodos adultos. La diferencia entre las fases radica en el grado de desarrollo que puede alcanzar los tres pares de apéndices del tórax, también se puede evidenciar la aparición de muñones en las maxílulas, maxilas, maxilípedos y los dos primeros pares de patas. Cuando el organismo tiene más de seis apéndices funcionales es considerado metanauplio (Velasco et al., 2011).

Cuando el metanauplio pasa al estadio de copepodito, se observa características similares a un copépodo adulto, solo que más pequeñas; a continuación, en la

Tabla 2 se presentan las características distintivas de las fases de copepodito y copépodo adulto (Suárez, 2015).

Tabla 2 Características diferenciales entre los estadios de copépodo

Estadio	Características
CI	sólo 3 pares de patas
CII	4 pares de patas.
CIII	5 pares de patas; 1 somito urosomal ápodo + telson.
CIV	5 pares de patas; 2 somitos urosomales ápodos + telson.
CV	5 pares de patas, aunque las ramas no han alcanzado la segmentación definitiva; 3 somitos urosomales ápodos + telson.

Adulto	5 pares de patas con la segmentación definitiva; 4 somitos urosomales ápodos + telson. En la mayoría de especies, la hembra cuenta con 3 somitos: somitos urosomales ápodos + telson por la integración del somito genital y el primer somito abdominal en uno solo.
---------------	--

Nota: se detalla las características estructurales entre los estadios de copepodito y copépodo adulto. *Somito* es una estructura segmentada del cuerpo de los micro crustáceos formadas en el desarrollo embrionario, *telson* es el último segmento del esqueleto de los micro crustáceos.

Fuente: (Suárez, 2015).

2.2.7. Importancia Ecológica.

Los copépodos son de gran importancia ecológica, debido a que son el grupo más grande en todos los océanos, además de servir como alimento a varias especies de peces, tienen la capacidad de transferir la gran red trófica microbiana a niveles tróficos superiores, por tal motivo son considerados fundamentales en el flujo de carbono pelágico (López & Mojica, 2016).

También son considerados como controles biológicos, ya que, han sido utilizados para identificar cambios climáticos en las comunidades de plancton, de igual forma cumplen una función importante en su ecosistema, son indicadores hidrográficos, por lo que, el número de su población se encuentra en función de la cantidad de masa de agua. Su migración puede llegar a ser un aviso de contaminación acuática (Fernández, 2015).

2.3. Copépodos en el Ecuador.

En el sector del Pacífico Ecuatorial Oriental, coinciden dos épocas estacionales, que se intercalan. La primera época es la seca, que se da entre los meses de mayo a noviembre y la época lluviosa que predomina desde diciembre hasta abril, lo cual trae consigo distintos procesos oceanográficos, estacionales e hidrológicos, por ende, hay una mayor diversidad marítima (Bucheli et al., 2022).

El Ecuador es un país exuberante, en el cual las aguas costeras se juntan con las oceánicas y se evidencia la presencia de diferentes organismos como micro crustáceos, rotíferos y

predominando especies de copépodos como: *Acartia lilljeborgii* y minúsculos copépodos herbívoros como *Paracalanus parvus*, *Oncaea clevei*, *Oncaea venusta*, entre otros (Bucheli et al., 2022).

Los copépodos son considerados uno de los grupos más numerosos de zooplancton marino, debido a que son organismos que se adaptan a ambientes diversos, poseen una alta capacidad reproductiva y su distribución en diferentes zonas costeras del país es abundante, ya que su movilidad no depende de la columna de agua y ni de la presencia de eventos climáticos como las corrientes del Niño y la Niña (Bucheli & Cajas, 2022).

Como ya se ha mencionado, este tipo de especies no está influenciado por la temporada estacional, principalmente en la zona geográfica de Ecuador, ya que pueden habitar aguas que contienen bajos niveles de nutrientes y ofrecen condiciones mínimas para el desarrollo de la vida; sin embargo, las investigaciones relacionadas con copépodos de agua dulce, en la región Andina son limitadas, debido a que su recolección suele ser de difícil acceso, por ello es necesario desarrollar procesos de producción masiva de copépodos de agua dulce (Bucheli & Cajas, 2022).

2.4. *Leptodiaptomus minutus*.

“El copépodo *Leptodiaptomus minutus* habita en aguas frías y son frecuentes en América del Norte hasta América del Sur específicamente en la zona Andina” (Cueva, 2013).

Copépodo *Leptodiaptomus minutus*.



Figura 3 Copépodo *Leptodiaptomus minutus*

Elaborado por: (Los autores, 2024).

2.4.1. Clasificación taxonómica.

Leptodiaptomus minutus es un copépodo que habita en aguas dulces, como lagos, lagunas y embalses; esta especie en el Ecuador puede ser hallada en la zona Andina, en lagunas como Papallacta y La Mica. En la **Figura 4** se puede observar la clasificación taxonómica de la especie identificada.

Clasificación Taxonómica *Leptodiaptomus minutus*

Reino: Animalia
Filo: Arthropoda
Subfilo: Crustácea
Clase: Maxilopoda
Subclase: Copépoda
Orden: Calanoida
Familia: Diaptomidae
Género: Leptodiaptomus
Especie: *Leptodiaptomus minutus*

Figura 4 Clasificación taxonómica de *Leptodiaptomus minutus*

Fuente:(Boehler & Krieger, 2012).

2.4.2. Aspectos morfológicos de *Leptodiptomus minutus*

Esta especie, es de tamaño pequeño, suelen medir desde 1 micra hasta 5 milímetros, no obstante, el tamaño suele variar de acuerdo con la fase de crecimiento en que se encuentre. Su color es característico ya que son rojos, anaranjados y azules. Por otro lado, su cuerpo es alargado, tiende a una forma casi cilíndrica, siendo más ancho en la parte superior, la cabeza comúnmente es redonda, tiene un ojo visible y dos antenas largas y perpendiculares que suelen superar el tamaño del cuerpo (Cueva, 2013).

El tórax está conformado por 6 segmentos y la cabeza está unida al primer segmento y algunas veces al segundo, el primer par de patas funcionan como maxilópodo y las sobrantes se utilizan para la locomoción; el abdomen está conformado por 5 segmentos más angostos que son torácicos (Cueva, 2013).

2.5. Cultivo *in vitro* de copépodos.

El cultivo *in vitro* de copépodos ha tomado fuerza los últimos años, varias investigaciones describen diseños de producción intensivos y semi intensivos. El sistema que ha dado mejores resultados es el intensivo, el cual cuenta con unidades integradas de producción, teniendo un promedio de 22 millones de huevos al día (Doria & Gaviria, 2023).

Las temperaturas adecuadas para el cultivo *in vitro* de copépodos para mejorar la obtención de ácidos grasos poliinsaturados incrementado su crecimiento, oscilan entre los 6 °C en la Sierra, y las temperaturas adecuadas en la región Costa pueden variar entre los 20 °C y 36 °C. La salinidad adecuada es del 32 %, con un fotoperiodo de 8 horas diarias (E. Pérez et al., 2006).

Para un mayor control de las condiciones, es aconsejable aplicar un cultivo intensivo, ya que se puede examinar adecuadamente las tasas de supervivencia y mortalidad de los copépodos, así

como también, la estructura poblacional del cultivo y mejorar los factores ambientales, debido a que es considerado un método de cultivo por lotes de estanques en el cual se producen huevos, para después aislarlos hasta su eclosión, para posteriormente darlos como alimento a los peces (Doria & Gaviria, 2023).

2.5.1. Dieta de copépodos a base de fitoplancton.

Como se ha mencionado anteriormente la dieta de copépodos se basa en un consorcio de microalgas y levaduras que se encuentran en su hábitat. Una de las dietas preferidas por los copépodos es el consumo de partículas de fitoplancton, la tasa de alimentación puede variar de 3 a 30 mL por día, pero en varios estudios se ha podido identificar que pueden filtrar hasta 1 200 mL diariamente (E. Pérez et al., 2006).

Para mantener una producción sostenible de copépodos se debe prever su alimento, para ello es importante la micropropagación de algas. Las microalgas se definen como microorganismos que dependen de luz solar para su supervivencia, es decir, son fotoautótrofos. Para efectuar su micropropagación es indispensable una relación óptima entre Nitrógeno – Fósforo, fotoperiodo, temperatura y pH del cultivo (Gavilanes & Tiba, 2023).

2.6. Los copépodos en la Biotecnología y Alimentación de peces.

La Biotecnología ha tenido gran impacto en la acuicultura en varios ámbitos, como: mejoramiento genético, maduración reproductiva, nutrición, conservación de especies, entre otros. Esta ciencia permite la optimización de la producción de copépodos mediante técnicas de cultivo y reproducción en condiciones controladas (Muñoz, 2011).

La Biotecnología está relacionada con los copépodos, ya que son empleados como bioindicadores de la calidad del agua en ambientes marítimos y de agua dulce, pues son sensibles a los cambios ambientales y este aspecto permite conocer las interacciones con el

ambiente, como la contaminación de metales pesados, incremento de temperatura; así también el almacenaje de contaminantes en su cuerpo indica la existencia de sustancias tóxicas en los ambientes acuáticos, siendo su uso imprescindible en el monitoreo ambiental (Torres & Vázquez, 2015).

La Biotecnología en la alimentación de peces ha tomado fuerza los últimos años, ya que ha ayudado significativamente en la reproducción de alimento vivo para peces en condiciones controladas, como los copépodos, aprovechando su cría y domesticación en cautiverio (cultivo *in vitro*) (Hernández et al., 2024).

2.6.1. Importancia del cultivo de copépodos del orden Calanoida.

El cultivo de copépodos del orden Calanoida es indispensable, ya que, se encarga de formar zooplancton y de la transferencia de biomasa y energía proporcionada por el fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores. Mantienen la conexión entre los organismos autótrofos y heterótrofos. Los copépodos que pertenecen al orden Calanoida son planctónicos y son los más abundantes en el zooplancton (Anzueto, 2014).

La importancia del cultivo de copépodos del orden Calanoida como alimento vivo para peces radica en los nutrientes que pueden aportar para la dieta de los peces, así como también, las características propias de la especie, como su fácil manejo, resistencia y estrés al que pueden ser sometidos. De igual modo, su alta tasa de reproducción lo hace atractivo para mantener reservas a gran escala, para ser proporcionados como alimento para peces (Anzueto, 2014).

2.6.2. Contenido de proteína de los copépodos como alimento.

De acuerdo con varios estudios realizados en México, los copépodos del orden Calanoida, son muy utilizados en la alimentación, debido a que contienen niveles altos de proteína y lípidos

totales suficientes para complementar la nutrición de peces. Este tipo de alimento ha resultado factible y nutricionalmente óptimo, porque se ha visto mejoras en las fases de crecimiento, supervivencia y homogeneidad en cuanto a su talla y peso (Puello et al., 2008).

A los copépodos se les atribuye un 18,9 % de ácidos grasos esenciales altamente insaturados, siendo correspondientes a la serie omega 3. Se caracterizan por poseer un alto contenido de ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido graso eicosapentaenoico (EPA), que pertenece a la familia linoleica de los ácidos grasos esenciales fundamentales en la dieta de peces de agua dulce, siendo indispensables para el crecimiento en estado de alevín (Suárez, 2015).

2.7. Tilapia.

La tilapia es un pez que proviene de África central, durante largos años ha habitado zonas tropicales donde hay condiciones estables para su crecimiento y reproducción. Son peces considerados ideales para el montaje de piscícolas tradicionales. El Ecuador es un país pionero en el sector acuícola y en la producción de camarones y tilapias, se ha contabilizado que hay aproximadamente 5 000 hectáreas de piscícolas dedicadas a esta actividad; debido a que, cuenta con varias provincias consideradas ideales, gracias a un ambiente que es óptimo para su desarrollo, como: El Oro, Guayas, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas (Bolaños, 2015).

2.7.1. Origen e importancia económica.

Las tilapias son especies que fueron introducidas en regiones templadas, tropicales y subtropicales, alrededor del siglo XX; con la finalidad de encontrar una fuente de proteína que fuera reproducible, sostenible, económica y de calidad para satisfacer las necesidades de la época. Estos peces de agua dulce han sido considerados como una especie invasora y la más peligrosa que se ha establecido con éxito alrededor del mundo, sin embargo, en ciertos países

ha sido retirada de la lista negra de especies invasoras debido al impacto positivo en la economía local, su aplicación en el sector agro-alimenticio y para procesos industriales (Jácome et al., 2019).

A nivel de Ecuador el impacto económico de estos peces ha sido positivo, en el año 1999 después de la caída de la industria camaronera por el virus del síndrome de la mancha blanca, los empresarios del sector agro-alimentario dirigieron sus operaciones acuícolas hacia la tilapia, se encontraron con alta demanda en el mercado y precios accesibles a los productos. Al pasar de los años la industria camaronera se comenzó a recuperar hasta igualar la producción de tilapias, sin embargo, el país pasó de exportar 21 731 a 27 315 395 libras de tilapia entre 1993 y 2007 transformando la económica acuícola y convirtiendo al Ecuador en el tercer país productor a nivel mundial y el primero en América Latina (Jácome et al., 2019).

2.7.2. Biología de la Tilapia.

Las tilapias cuentan con tres géneros: *Tilapia*, *Sarotherodon* y *Oreochromi*. Independiente del género, como se puede observar en la estructura de las tilapias consta de boca protráctil, ancha y con grandes labios, mandíbulas dentadas; tiene orificios nasales a cada lado de la cabeza, y su locomoción se da gracias a sus aletas las cuales son pares (pectorales y ventrales) e impares (dorsal, caudal y anal), las estructuras impares son cortas y presenta varias espinas (Medina, 2018).

Morfología Externa de la Tilapia Roja



Figura 5 Morfología externa de la Tilapia.

Fuente: (Medina, 2018).

“La diferenciación sexual entre estas especies se da por la hembra, ya que, posee 3 orificios debajo del vientre (ano, poro genital, orificios urinarios), entre tanto el macho posee solo 2 orificios (ano y orificio urogenital)” (Medina, 2018).

Las tilapias se reproducen a una temperatura de 20°C hasta máximo 36°C y a una iluminación de 8 horas diarias, este proceso consta de 6 fases de reproducción y desarrollo, las tilapias alcanzan su madurez sexual en machos desde los 3 o 4 meses y las hembras desde los 3 a los 5 meses (Ganoza et al., 2021).

2.7.3. Condiciones de producción de la Tilapia.

“Las condiciones óptimas para la producción de tilapia están determinadas por factores físico-químicos siendo los más importantes: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, entre otros (**Tabla 3**). Estos parámetros afectan a los procesos reproductivos de los peces” (Saavedra, 2006).

Tabla 3 Parámetros para producción de Tilapia

Parámetros	Rangos
Temperatura	20,0 - 36,0 ° C
Oxígeno Disuelto	5,0 - 9,0 mg/L
pH	6,0 - 9,0
Alcalinidad Total	50 - 150 mg/L
Dureza Total	80 - 110 mg/L
Calcio	60 - 120 mg/L
Nitritos	0,1 mg/L
Nitratos	1,5 – 2,0 mg/L
Amonio Total	0,1 ppm
Hierro	0,05 – 0,2 mg/L
Fosfatos	0,15 – 0,2 mg/L
Dióxido de Carbono	5,0 - 10 mg/L
Sulfuro de Hidrógeno	0,01 mg/L

Nota: se visualiza los distintos parámetros para una óptima producción de tilapia.

Fuente: (Saavedra, 2006).

Los parámetros fundamentales a controlar son:

- **Temperatura.**

Las tilapias habitan en ambientes donde la temperatura se encuentra desde los 20 a 36 °C lo cual es fundamental para el crecimiento de estos peces, sin embargo, se pueden desarrollar en temperaturas óptimas que oscilan de 25 a 30 °C. Cuando la temperatura llega un rango superior a 40 °C, las tilapias se estresan, su estructura se vuelve rígida, se detiene su crecimiento y pueden llegar a morir (Reyes et al., 2023).

- **Oxígeno.**

La disponibilidad de oxígeno disuelto y la concentración de oxígeno en su hábitat es crucial para el cultivo de tilapia, los valores adecuados de oxígeno oscilan entre 5-9 mg/L, si hay una reducción de 2-3 mg/L puede perjudicar gravemente el desarrollo de los peces, así también intervalos menores o iguales a estos valores pueden llegar a ser críticos y provocar la muerte de la especie (Reyes et al., 2023).

- **Salinidad.**

Las tilapias son tolerantes a este factor, pero se vuelven sensibles si se presentan cambios bruscos dentro su hábitat. Hay que recordar que, si las tilapias se desarrollan en aguas dulces, la salinidad es poco o nada y este factor puede pasar desapercibido (Saavedra, 2006).

- **pH.**

Este factor permite identificar si el agua en el que habitan es dura o blanda, ya que las tilapias crecen óptimamente en pH neutros o ligeramente alcalinos, en un rango entre 6,0 a 9,0. Si el ambiente está en un pH ácido su crecimiento se retarda, debido que solo toleran hasta un pH de 6,0 (Saavedra, 2006).

- **Amonio.**

El amonio proviene principalmente del metabolismo de los peces, es decir, la producción de materia orgánica (excreción de orina y heces), el amonio o amonio no ionizado (forma gaseosa) es un compuesto muy tóxico, que está relacionado directamente con la concentración de oxígeno disuelto, el incremento de pH y temperatura. La concentración de amonio oscila entre 0,01 a 0,1 ppm si hay valores superiores cercanos a 2 ppm son críticos (Noguez et al., 2021).

2.7.4. Alimentación de la Tilapia.

La alimentación de la tilapia se basa en la obtención de energía necesaria para poder cumplir con diversas funciones como: reproducción, crecimiento y mantención; su dieta es a base de proteína, que es la fuente más importante de energía llegando a constituir del 25 al 57 % de la dieta, así también los lípidos, que contribuyen como fuente de grasas esenciales y energía metabólica, siendo del 6 al 8 % en peces de aguas cálidas, así mismo se incluye minerales en cantidades mínimas; finalmente vitaminas que son componentes esenciales, las cuales deben ser hidrosolubles y liposolubles (Bolaños, 2015).

La alimentación de la tilapia es diversa, en estadios juveniles son considerados omnívoros, es decir, que puede ingerir alimentos como plancton, zooplancton, zoobentos, detritos, micrófitos, bacterias, caracoles y gusanos; mientras que, en la etapa de juveniles a adultos son herbívoros y su alimentación se basa únicamente en comunidades de zooplancton y fitoplancton (Bolaños, 2015).

Las tilapias deben ser alimentadas al menos dos veces al día intentando siempre hacerlo a la misma hora, sin embargo, esta costumbre varía de acuerdo con el tipo de cultivo, ya sea intensivo o semi intensivo, y se las suele alimentar con tres raciones diarias de pienso: en la mañana, al medio día y en la tarde, la cantidad total que se suministra de forma diaria es 300 g, conteniendo una cantidad de proteína entre 28 % y 32 % (Ganoza et al., 2021).

El alimento para peces conlleva una alta inversión, abarca del 50 al 70 % del costo de producción, lo cual perjudica la economía de los piscicultores. Respecto a la adquisición de piensos acuícolas estos deben contar con ciertos factores fundamentales para la alimentación de la tilapia que los vuelve más costosos, entre ellos se destacan: dureza del alimento, flotabilidad y estabilidad en el agua, con la finalidad de evitar el fraccionamiento del pienso y la abrasión del mismo (Gaviria et al., 2020).

2.7.5. Composición del Balanceado.

El balanceado comercial en el Ecuador, ha sido desarrollado para brindar un crecimiento adecuado y mejoramiento en la calidad de la carne de los peces. Las empresas fabricantes de balanceado para peces han diseñado fases de producción de alimento para cada uno de los estadios de la especie, con la finalidad de optimizar costos y obtener un mayor beneficio económico para los productores (BioAlimentar, 2022).

La composición del balanceado convencional consta de proteína cruda, grasas, fibra cruda, cenizas y humedad adecuada para la correcta digestión de la tilapia, también ofrecen diferentes programas de alimentación para cumplir con la necesidad de nutrición de los peces, a continuación, se observa la combinación nutricional del alimento balanceado propuesto para la tilapia (**Figura 6**) (BioAlimentar, 2022).

Composición del balanceado para tilapias					
ANÁLISIS NUTRICIONAL GARANTIZADO					
<i>TILAPERO</i>	<i>ALEVÍN 450</i>	<i>TILAPIA INICIAL 380</i>	<i>TILAPIA CRECIMIENTO 320</i>	<i>TILAPIA DESARROLLO 280</i>	<i>TILAPIA ENGORDE 240</i>
Proteína cruda (mín.)	45%	38%	32%	28%	24%
Grasa, (mín.)	8%	7%	7%	5%	5%
Fibra cruda (máx.)	4%	4%	5%	6%	6%
Cenizas (máx.)	11%	11%	11%	11%	11%
Humedad (máx.)	11%	11%	11%	11%	11%
Presentación	Polvo	Extrusos	Extrusos	Extrusos	Extrusos
PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN	Desde los 0 días de edad hasta los 35 días de edad.	Desde los 36 hasta los 80 días de edad.	Desde los 81 hasta los 125 días de edad.	Desde los 126 días de edad hasta los 170 días.	Desde los 171 días hasta la cosecha

Figura 6 Composición del Balanceado para Tilapias

Fuente: (BioAlimentar, 2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en tres fases:

- **Fase I de campo:** La colección de copépodos, se efectuó en el Parque Nacional Antisana en la laguna “La Mica”.
- **Fase II de laboratorio:** La identificación de copépodos y masificación del consorcio de microalgas, se realizó en las instalaciones de la Agencia Nacional de Regulación y Control Fito y Zoosanitario “AGROCALIDAD” (**Anexo 1** y **Anexo 2**).
- **Fase III de campo:** La masificación de copépodos, la producción de tilapias, la activación y adición de consorcios bacterianos se ejecutó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

3.1. Ubicación.

Las muestras de copépodos fueron recolectadas en la Reserva Ecológica Antisana, ubicada al norte del país, entre las provincias de Pichincha y Napo, específicamente en la laguna “La Mica”, situada a los pies del volcán Antisana con una altitud de 3 900 metros sobre el nivel del mar (Empresa Pública Metropolitana de Gestión, 2021).



Por otro lado, la identificación de copépodos y masificación de algas a pequeña escala se realizó en el laboratorio de Microbiología, de la Agencia Nacional de Regulación y Control Fito y Zoosanitario “AGROCALIDAD”, ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, Parroquia de Tumbaco, en la Av. Interoceánica Km. 14 1/2, Sector La Granja” (**Anexo 1 y Anexo 2**).

La masificación de copépodos, con adición de consorcios bacterianos, la producción de tilapias, la activación y adición de consorcios bacterianos se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, ciudad Santo Domingo, parroquia El Esfuerzo, recinto El Bolo, Coordenadas: -0.46531218094125576, -79.27555909277702 (**Figura 8**).



3.2. Fase I de campo.

3.2.1. Colección de copépodos.

Las muestras se obtuvieron en la orilla de laguna La Mica, con la ayuda de una red de pesca para fitoplancton y se recolectó los copépodos por medio de la técnica de arrastre horizontal a una profundidad de 30 a 50 cm, cabe mencionar que el agua presentó espuma por la presencia

de algas verdes; posteriormente se enjuagó la red con agua embotellada para colocar las muestras en recipientes recolectores y llevarlas al laboratorio para su análisis correspondiente.

3.3. Fase II de laboratorio

3.3.1. Identificación de copépodos.

La identificación morfológica de la especie de copépodos se realizó en el laboratorio de Microbiología de AGROCALIDAD. Esta actividad inició con la muestra recolectada, con ayuda de una pipeta Pasteur se tomaron 3 mL de cada recipiente colector y se colocó en la cámara de Sedgewick Rafter bajo el microscopio trinocular, equipo que facilita la documentación visual de la muestra, ya que toma capturas instantáneas para una mejor identificación.

Este proceso se realizó en los 10 recipientes colectores obtenidos para asegurar que la especie seleccionada sea la correcta. La identificación se efectuó con el apoyo de guías taxonómicas del Catálogo de los copépodos (Crustácea: Copépoda: Calanoida y Cyclopoida) (Velázquez et al., 2021).

3.3.2. Micropropagación de fitoplancton.

La micropropagación de fitoplancton inició con la recolección de un consorcio de algas verdes, con la red de pesca empleada para copépodos en la laguna “La Mica”, debido a que es la principal fuente de alimento de esta especie, estas fueron colocadas en botellones con agua, para luego realizar la micropropagación. El procedimiento se realizó en 2 peceras de polietileno con 6 L de agua de la laguna “La Mica”, se colocó un 1 mL del fertilizante nitrofoska por cada litro de agua con el fitoplancton. El consorcio de algas en condiciones naturales en la laguna se

encuentra a un fotoperiodo de 12 horas, ya que, necesitan de luz para el proceso de fotosíntesis, por lo cual se mantuvo este parámetro durante la micropropagación de fitoplancton.

Este procedimiento se realizó en el laboratorio de Microbiología de AGROCALIDAD, sin embargo, también se ejecutó de forma casera, en la parroquia San Juan, barrio “Toctiuco” a una altura de 3 000 msnm, dado que, “el patio de casa” disponía de mayor luminosidad.

3.4. Fase III de campo

3.4.1. Masificación *in vitro* de copépodos.

3.4.1.1. Aclimatación de copépodos.

Posterior a la recolección, los copépodos se colocaron en 6 peceras de polietileno de 6 L, se efectuó un proceso de aclimatación para no provocar un desfase en su crecimiento o la muerte. El proceso de aclimatación inició con 6 horas del día a temperatura ambiente, y las horas restantes en un refrigerador a 7 °C, esta actividad se mantuvo durante una semana, posteriormente el tiempo a temperatura ambiente se incrementó a 8 horas, para luego cambiar a 10 horas, 12 horas, así sucesivamente hasta mantenerlos las 24 horas a temperatura ambiente (**Figura 9**).

El fotoperiodo fue de 8 horas, ya que los copépodos necesitan de luz para completar sus procesos biológicos sin causarles estrés, una mayor exposición a la luz altera su comportamiento, por ende, afecta negativamente su ritmo biológico.

Copéodos a temperatura ambiente.



Figura 9 Copéodos a temperatura ambiente.

Elaborado por: (Los autores, 2024)

3.4.1.2. Alimentación de copéodos.

Como se mencionó previamente, se realizó la micropropagación de un consorcio de algas, que es el alimento fundamental de los copéodos. El alimento fue suministrado dos veces al día, durante la mañana y media tarde, con la finalidad de establecer una rutina y reducir el tiempo de crecimiento de la especie. Con ayuda de una jeringa se tomó 20 mL del consorcio de algas y se colocó en las peceras (**Figura 10**); se suministró el alimento entre las 8:00 y 9:00 en la mañana, mientras que por la tarde fue de 15:00 a 16:00, durante un mes hasta completar la madurez de la especie.

Suministro de alimento a Copépodos a base de fitoplancton.



Figura 10 Masificación de fitoplancton.

Elaborado por: (Los autores, 2024).

3.4.1.3. Control de amonio en la reproducción *in vitro* de copépodos.

Durante la reproducción *in vitro* de copépodos se controló el incremento de amonio en su hábitat; la producción de materia orgánica (heces y orina) contamina el agua y reduce el tiempo de vida de los copépodos. Para la medición de este compuesto se tomó 5 mL del agua de la pecera y se colocó en el Ammonia Test Kit, que contenía el *monitor 1* NH_3/NH_4 y el *monitor 2* NH_3/NH_4 , de cada uno se agregó 4 gotas y se dejó reposar durante 5 minutos, para determinar el nivel de amonio en el agua, conforme la escala del kit (**Figura 11**). La concentración inicial de amonio fue 0 ppm, trascurrida la primera semana de cultivo la concentración de amonio incrementó a 3 ppm (**Figura 11**), provocando la muerte de los copépodos.

Escala de control para control de Amonio

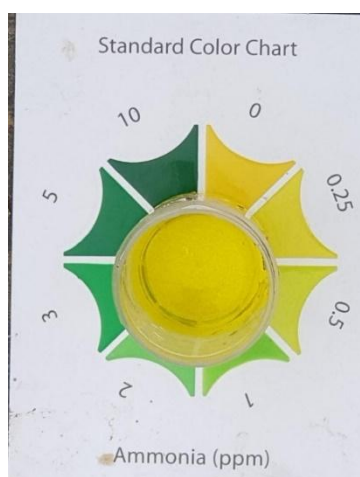


Figura 11 Escala de color para el control de amonio

Elaborado por (Los autores, 2024)

Por tal motivo, se utilizó un consorcio de bacterias benéficas (probióticos), el cual está compuesto de las siguientes especies: *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas monteirii*, con la finalidad de mejorar el hábitat en la pecera, incrementando el tiempo de vida de los copépodos. El proceso inició con la fermentación del consorcio durante 48 horas a 28 °C (**Figura 12**), se agregó al cultivo por 4 días durante la etapa de crecimiento hasta reducir el nivel amonio mismo que se midió usando el Ammonia Test Kit. Este proceso fue réplica del proceso realizado en el laboratorio de AGROCALIDAD-Quito, bajo las condiciones de la provincia de Santo Domingo.

Consortio de Bacterias



Figura 12 Consortio de Bacterias

Elaborado por (Los autores, 2024)

3.4.1.4. Reversamiento sexual *in vitro* de copépodos.

La reproducción de copépodos tuvo lugar luego de 1 mes de crecimiento, se ejecutó en peceras de 6 L, colocando hormonas de reversamiento sexual durante los primeros 15 días de nacidos. La hormona empleada fue 17 alfa metil testosterona (en polvo), misma que se emplea para los peces, se homogenizó y aplicó 2 g/L en agua.

A partir de este proceso, los copépodos cursan un periodo de 3 a 6 semanas para que eclosionen los huevos y se pueda observar la primera generación de nauplios. El desarrollo entre las fases de Nauplio I, Nauplio II, Copepodito y Copépodo adulto, tarda entre 15 a 20 días, por lo cual fue necesario separar las últimas etapas para nuevamente iniciar con el reversamiento sexual.

3.4.2. Determinación de la proporción óptima de copépodos

Para la determinación de la proporción óptima de copépodos como alimento vivo para alevines de tilapia se emplearon diferentes tratamientos. Se alimentaron grupos de tilapia en sus estadios alevín, juvenil y adulto, con diferentes niveles de proteína provenientes de los copépodos

adultos complementando o sustituyendo al alimento balanceado (**Tabla 4 y 5**). Cabe mencionar que la concentración de copépodos en cada tratamiento se adecuó con el fin de mejorar aspectos como crecimiento y peso de la tilapia de acuerdo con su estadio, para de esta manera proveer los requerimientos nutricionales necesarios. Cabe mencionar que los alevines requieren mayor cantidad de proteína, por ello se planteó un tratamiento con 100 % copépodos, de igual manera se contó con el control que fue 100 % balanceado (**Tabla 4**).

Tabla 4 Determinación de la proporción de copépodos para alevines.

Tratamientos para alevines	
T0	copépodos 0% - Balanceado 100%
T1	copépodos 33% - Balanceado 67%
T2	copépodos 66% - Balanceado 34%
T3	copépodos 100% - Balanceado 0%

Elaborado por: (Los autores, 2024).

Los peces conforme avanzan su edad y crecimiento requieren de un mayor abastecimiento proteico, por tal motivo todos los tratamientos para tilapias juveniles y adultas fueron a base de balanceado complementado con porcentajes de copépodos. Como tratamiento control se empleó 100 % de balanceado (**Tabla 5**).

Tabla 5 Determinación de la proporción de copépodos para juveniles

Tratamientos para juveniles	
T0	copépodos 0% - Balanceado 100%
T1	copépodos 25% - Balanceado 75%
T2	copépodos 50% - Balanceado 50%
T3	copépodos 70% - Balanceado 30%

Elaborado por: (Los autores, 2024).

3.4.3. Producción de tilapias.

Los tratamientos en la producción de tilapia se establecieron en piscinas de 1 m³, a una temperatura promedio de 28 °C, separando los diferentes estadios de crecimiento (alevines, juveniles y adultos). La producción de tilapias tomo alrededor de 4 meses y 15 días (18 semanas), teniendo en cuenta el tiempo de desarrollo de estadio. Durante la investigación se controló la producción de amonio y pH, para mantener las condiciones adecuadas para el desarrollo.

El principal parámetro que controlar fue el amonio, dado que es producido por las heces y orina de los peces, considerados materia orgánica. Este compuesto químico es el mayor contaminante en la producción de tilapias. Para la medición se usó nuevamente Ammonia Test Kit, repitiendo el procedimiento explicado previamente.

Para reducir el contenido de amonio se empleó el consorcio de bacterias previamente descrito. Este consorcio de bacterias benéficas se agregó durante 4 días, en la etapa de crecimiento hasta reducir el nivel amonio.

Por otro lado, también se controló el factor de pH en las piscinas de tilapias, el rango óptimo es de 7,8 a 8,5 por piscina, este factor se encontró por debajo de estos niveles (6,20), por tal motivo se agregó hidróxido de calcio (25 kg por cada m³), para elevar el pH y desinfectar la piscina.

3.4.4. Unidad experimental

Para la producción de tilapia se usaron peceras de plástico tipo PVC, con una capacidad volumétrica de 1 m³, forradas con geomembrana para mejorar las condiciones del agua y de las tilapias. El uso de geomembrana ayuda a mantener el agua sin contaminantes y mejora la estabilidad de los fluidos de las piscinas. El agua utilizada para la producción de tilapia no tuvo ningún tipo de contaminación, como: residuos de agroquímicos, fertilizantes, petróleo y sus

derivados. El agua fue evaluada previamente con ayuda del equipo multiparamétrico que es muy utilizado en la acuicultura, mismo que es un sensor sumergible al agua, que logra medir al mismo tiempo la temperatura, pH, oxigenación, claridad del agua, etc.

La temperatura del agua osciló entre los 25 y 30°C, la oxigenación varió de 6 a 8 ppm, ambas condiciones ideales para el crecimiento de la tilapia. El pH se mantuvo en niveles de 7,5 a 8 y la claridad del agua se mantuvo en los 30 cm.

3.4.5. Variables dependientes

3.4.5.1. Peso

El peso fue evaluado cada semana, con ayuda de una balanza gramera de uso comercial, la primera toma de peso se la realizó a partir de la primera semana de haber aplicado los tratamientos.

3.4.5.2. Tamaño

Se tomó el tamaño de los peces a partir de la primera semana de aplicados los tratamientos, desde el estadio de alevín cuando el tamaño promedio de los peces fue de 2,5 cm, hasta el estadio de adulto hasta llegar al tamaño propicio para su venta y consumo (20 cm). Para la obtención de las medidas mencionadas se utilizó una cinta métrica, se midió desde la aleta dorsal hasta la boca del pez.

Inicialmente con el fin de evaluar el peso (g) y tamaño (cm) de las tilapias, se aplicó anestesia a base de eugenol comercial (4 a 6 gotas por litro) para un mejor manejo, evitando estrés y muerte de los peces. Sin embargo, al ser muy invasiva con los peces, se dejó de aplicar y únicamente se los manipuló por poco tiempo para evitar estrés.

3.4.6. Diseño Experimental

El diseño experimental aplicado a la investigación fue un diseño completamente al azar (DCA). Para el procesamiento de datos se empleó la herramienta informática para estadística INFOSTAT versión 2020. Se aplicaron pruebas estadísticas a un nivel de significancia del 95% para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de la especie

Existen varias especies de copépodos alrededor del mundo, se los puede reconocer morfológicamente ya sea por su color y su forma, es decir su morfología. Entonces, para el reconocimiento de una especie de copépodo se debe analizar la forma de su cuerpo. Se logró la identificación morfológica del copépodo gracias a la ayuda de guías taxonómicas de copépodos de Velázquez et al. (2021). La especie identificada fue *Leptodiaptomus minutus*, ya que presenta las siguientes estructuras: 2 anténulas, 2 antenas, 1 rostro, maxila, 1 cefalotórax, 2 patas, 1 tórax, 1 somito genital, 1 urosoma y 1 furca como se puede visualizar en la **Figura 13**.

Es muy común confundir las especies de copépodos, algunos poseen cuerpos cortos y anchos, de color amarillo como lo son del orden Cyclopoide, o cuerpo alargado, delgado, antenas cortas, transparentes blanquecinos o azulados como los del orden Harpacticoides, finalmente la especie *Leptodiaptomus minutus*, perteneciente al orden Calanoida, posee un cuerpo delgado, alargado, coloración rojiza y anténulas muy largas (**Figura 13**), lo cual caracteriza a esta especie (Velázquez et al., 2021).

Para la identificación morfológica de la especie hubo ciertas estructuras que facilitaron el reconocimiento (**Figura 13**), entre ellas 2 pequeñas patas empeladas para su locomoción, 1 cefalosoma totalmente apegado al tronco, no existe otra subclase que posea estas características. También posee un par de anténulas largas que pueden ser proporcionales al tamaño de su cuerpo. Otra característica importante para determinar la especie fue el aparato reproductor (somito genital) el cual posee un orificio genital protegido por la furca (Jaume et al., 2004).

Leptodiptomus minutus

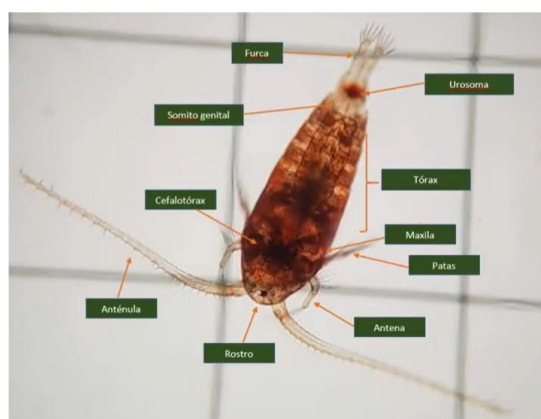


Figura 13 Identificación morfológica de *Leptodiptomus minutus*.

Elaborado por (Los autores, 2024).

La mayoría de copépodos pertenecen al ecosistema marino, que está conformado por 2 814 especímenes aproximadamente. La especie *Leptodiptomus minutus*, prolifera en zonas frías en la Cordillera de los Andes desde fuentes hídricas hasta glaciares, especialmente se encuentran en zonas de agua dulce como: agua subterránea, lagos, lagunas y deshielos glaciales (Boxshall & Defaye, 2008).

En el Ecuador este copépodo habita en la Laguna La Mica a 3 900 msnm, a las faldas del volcán Antisana, también se lo encuentra en la Laguna de Papallacta; al ser zonas frías proporcionan un ambiente y temperatura adecuados para su desarrollo y rápida proliferación. Cabe mencionar, que estos microorganismos pueden llegar a ser más grandes que los de aguas cálidas; sin embargo, la temperatura es un limitante para su desarrollo, la falta de alimento también puede retrasar su crecimiento, por lo que es posible encontrarlos en un mismo estadio con diferentes tallas, pero puede variar en función de la profundidad de colección (Fernández, 2015).

4.2.Cultivo *in vitro* de Copépodos.

4.2.1. Control de los niveles de amonio

De acuerdo a las condiciones mencionadas anteriormente, se alcanzó una reproducción estable y sostenible de copépodos. El equilibrio del amonio en 0 ppm fue muy importante; para controlar esta variable se procedió a colocar un consocio bacteriano. “El consocio bacteriano contiene *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas monteilii*, consideradas como equilibradores biológicos, debido a que, limpian el agua y mantienen el amonio en 0 ppm, sin alterar el pH del agua”(Pindo, 2022).

Si los niveles de amonio incrementan el cultivo llega a contaminarse y posteriormente hay una muerte total de los copépodos. La adición de probióticos ha demostrado ventajas significativas en la acuicultura como: incrementar la sobrevivencia, mejorar el rendimiento y desarrollo, resistencia a enfermedades y reducir la producción de desechos contaminantes. Los más empleados por sus metabolitos (bacteriocinas) pertenecen a los géneros: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* y levaduras (M. Pérez et al., 2020).

Bacillus subtilis es una bacteria con alta capacidad biorremediadora, que se encuentra en el género de Gram positivas; este tipo de bacterias tienen la capacidad de disminuir la cantidad de materia orgánica, proveniente de piscinas de tilapias y camarones, puesto que descompone la materia orgánica en CO₂ mediante enzimas que contribuyen en la degradación de proteínas y almidón, convirtiéndolas en moléculas más simples. La aplicación de esta bacteria elimina la acumulación de nitrógeno de las piscinas, para mantener cantidades óptimas de nitrificación y de esta forma reducir las concentraciones de amoníaco (Pindo, 2022).

Bacillus amyloliquefaciens es un tipo de bacteria que se aplica para reducir los niveles nocivos de nitrógeno total y mejorar la calidad del agua. La adición de esta bacteria a estanques de peces

de agua dulce reduce las concentraciones de amoníaco, fosforo total y nitrógeno total; las cepas de esta bacteria se han empleado como biocontroladores, debido a que, producen lipopéptidos bioactivos como: iturina, fengicina y surfactina que, junto a la capacidad de metabolizar fuentes de carbón, le convierte en un excelente degradador de materia orgánica (Yang et al., 2021).

Según Qi et al. (2020), *Pseudomonas monteilli*, una bacteria aislada del intestino de una carpa, presentó actividad antibacteriana y protección contra tilapias infectadas. Estas cepas actuaron como control biológico contra enfermedades infecciosas que afectan a tilapias así también actúa en la remoción de compuestos aromáticos.

La aplicación de bacterias benéficas/probióticos generalmente del género *Bacillus* en la piscicultura ha tenido mayor impacto tanto económico como ecológico, debido a que tiene la capacidad de reducir al máximo los problemas relacionados con la salud de camarones y tilapias. En la industria de la acuicultura la principal problemática es el brote de enfermedades infecciosas-bacterianas, durante varios años se han empleado antibióticos para solucionar este problema, sin embargo, el uso continuo ha provocado resistencia bacteriana. En la actualidad se ha optado por aplicar consorcios bacterianos como alternativa para el control de contaminantes y enfermedades que afectan a los peces, la administración de estos probióticos en cantidades adecuadas mejora la salud de los peces; el más empleado y conocido ha sido el género *Bacillus*, debido a que, posee propiedades antimicrobianas contra bacterias patógenas gram positivas (Kavitha et al., 2018).

4.2.2. Reversamiento sexual *in vitro* de los copépodos

Para el cultivo *in vitro* y reproducción de *Leptodiptomus minutus* fue necesario implementar el reversamiento sexual, se procedió a colocar la hormona 17 alfa metil testosterona (2 g/L), la cual fue administrada en el alimento.

El reversamiento sexual de copépodos es fundamental para equilibrar la cantidad de machos y hembras, lo cual, conduce a una mayor reproducción y estabilidad en el cultivo. Esta actividad consiste en administrar hormonas o esteroides durante un periodo corto, aproximadamente de 15 días lo cual interrumpe el crecimiento gonadal. Este proceso se basa en incorporar andrógenos al alimento, se añade 60 mg de la hormona 17 alfa metil testosterona (MT), por cada Kg de alimento. El desarrollo entre las fases de Nauplio I, Nauplio II, Copepodito y Copépodo adulto, tarda entre 15 a 20 días, por lo cual es necesario separar las últimas etapas para nuevamente iniciar con el reversamiento sexual. Gracias a este proceso de inducción sexual es posible obtener individuos genéticamente hembras, para que se desarrollen fenotípicamente como machos (Urdiales, 2015). Como resultado de este proceso se obtuvo una cantidad de 812 Kg en peso fresco.

4.2.3. Micropropagación de fitoplancton.

El principal alimento suministrado a los copépodos durante el cultivo *in vitro* fue un consorcio de microalgas previamente obtenido de la Laguna La Mica. Por tal motivo se micropropagó fitoplancton para abastecer la producción de copépodos, dando como resultado una masificación de microalgas de varios tipos como *Chlorella*, *Staurastrum*, *Diatomeas* y *Spirogyra*, entre otras, las microalgas se identificaron bajo el microscopio trinocular y una guía taxonómica (Morales et al., 2013). Para su producción se usó Nitrofoska el cual es un fertilizante rico en micronutrientes tales como nitrógeno, potasio, fósforo, los cuales ayudan a un desarrollo rápido de los microorganismos mencionados.

Según Merino (2017), para el cultivo de microalgas se emplea fertilizantes foliares, puesto que, aportan nutrientes que son fácilmente asimilados, incluye micronutrientes quelatizados con EDTA y macronutrientes como: Nitrógeno, Potasio y Fósforo. Nitrofoska presenta mayor solubilidad en comparación con otros fertilizantes comerciales, debido a que su contenido

nutricional compensa las necesidades básicas para el desarrollo de fitoplancton, lo cual ayuda a que la absorción sea más rápida y directa.

4.3. Determinación de la proporción de copépodos como alimento.

Los resultados de la presente investigación para los tratamientos en estadios de alevines, juveniles y adultos, indica que los datos no siguen una distribución normal, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la distribución del conjunto de datos. Por lo tanto, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comparar las diferencias entre más de dos grupos independientes. Los datos fueron analizados con el programa Infostat 2020.

4.3.1. Proporción de copépodos para alevines.

Para las variables peso y tamaño, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos con un p valor de 0,0064 y 0,0038, respectivamente. Los tratamientos T0, T1 y T2 fueron estadísticamente iguales, alcanzando pesos entre 10,98 y 11,99 g; y tamaños entre 4,70 y 4,83 cm. Cabe mencionar que el peor de los tratamientos fue T3, debido a que no hubo desarrollo de los alevines (**Tabla 6**).

Tabla 6 Análisis de medianas para las variables peso y tamaño de alevines

Tratamiento	Peso $Q2$ (g)	Tamaño $Q2$ (cm)
0	10,81 ^{AB}	4,70 ^{AB}
1	11,25 ^B	4,79 ^B
2	11,95 ^B	4,81 ^B
3	0,00 ^A	0,00 ^A

Elaborado por: (Los autores, 2024).

Los fabricantes de balanceado comercial han diseñado varias fórmulas para que las tilapias puedan alcanzar niveles de crecimiento óptimo en todas sus etapas, de acuerdo con la composición del “Tilapero de Bioalimentar” se puede evidenciar que para alevines la proteína cruda mínima es de un 45%, grasas 8%, fibra cruda 4%, cenizas máximo 11%, humedad máxima 11%, lo cual permite un crecimiento aproximado de 12 a 15 g (BioAlimentar, 2022).

Los copépodos complementan la dieta del balanceado común, puesto que, poseen altos niveles de proteína que puede variar de un 44 a 52%, lípidos que pueden encontrarse entre 18 y 20%, y aminoácidos esenciales que se encuentran en un rango de 36 a 37% (Prieto et al., 2006). Al comparar peso y tamaño de los diferentes tratamientos en alevines, se encontró que los copépodos pueden sustituir hasta un 66% del balanceado, alcanzando el mismo desarrollo de los alevines que el tratamiento de control (100% de balanceado).

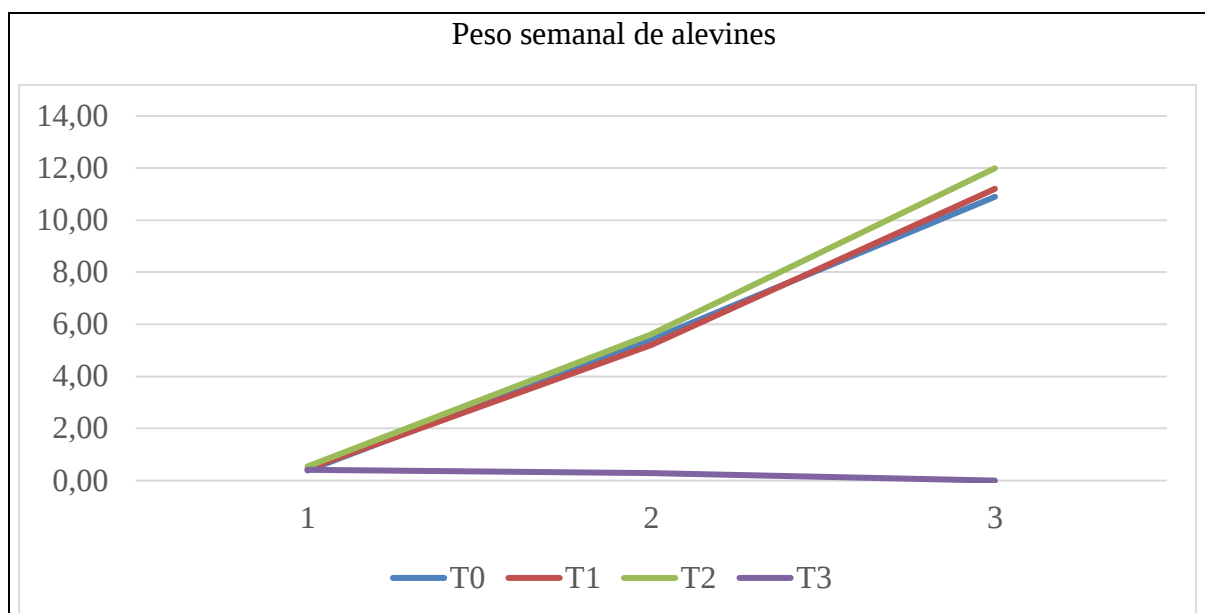


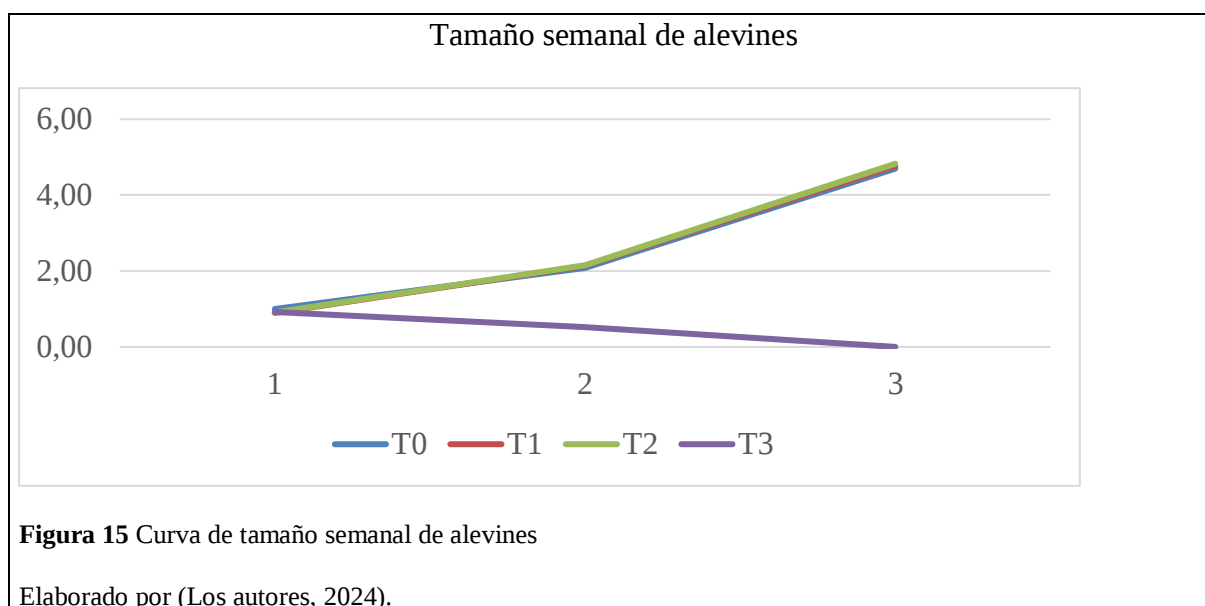
Figura 14 Curvas de crecimiento variable peso.

Elaborado por (Los autores, 2024).

Se elaboraron curvas de crecimiento semanales para el estadio de alevín, se identificó que la mayoría de los tratamientos en los cuales se emplea copépodos proporcionaron un mejor desarrollo a los alevines de tilapia. Los tratamientos T0, T1 y T2 llegaron a un peso promedio similar en un rango de 10,89 a 11,99 g. Se observó que el tratamiento T3 no tubo crecimiento, pues presentó una mortalidad del 100%, en tal virtud, no se recomienda sustituir el balanceado comercial por una dieta basada únicamente en copépodos (**Figura 14**).

De acuerdo con las curvas obtenidas para el tamaño, se evidenció que las medias para los tratamientos T0, T1 y T2 son similares, en un rango entre 4,70 y 4,83 cm. Los tres tratamientos

proporcionaron los nutrientes adecuados para cumplir con los estándares requeridos por la especie; no obstante, el T3 fue considerado el peor tratamiento, porque el 100% de la población de alevines de tilapia murió por falta de nutrientes en su dieta (**Figura 15**).



El suministro de alimento vivo es importante para el desarrollo de peces en todos sus estadios de crecimiento, debido a que, contiene elementos nutricionales que ayudan a un óptimo desarrollo larvario, no obstante, en ocasiones el alimento vivo no tiene un balance adecuado de proteínas, vitaminas, carbohidratos, minerales y lípidos, lo que afecta el crecimiento de los peces, es por ello que este alimento no debe ser suministrado en altas concentraciones, ya que puede provocar limitaciones en el crecimiento, madurez sexual, producción de contaminantes, desequilibrio nutricional o estrés en los peces. Cabe recalcar que, el tamaño y peso de los peces va a depender del valor nutricional del alimento vivo (Luna et al., 2018); por ende, si el peso es bajo, va a aumentar la mortalidad, por ello no se sugiere suministrar 100% de copépodos.

La sustitución de balanceado comercial por alimento vivo ha sido una ardua tarea, porque los acuicultores aun dependen de dietas artificiales para la alimentación de peces en sus distintos estadios de crecimiento, esto se debe a que, el alimento vivo no reemplaza el 100% de los requerimientos nutricionales necesarios y por ende no se constituye como la mejor opción. Por

tal motivo, no se recomienda alimentar a los peces en sus primeros días de vida con este tipo de alimento, ya que, la tasa de mortalidad en larvas incrementa porque en esta etapa de desarrollo necesitan altos niveles de nutrientes; una dieta de exclusivamente copépodos no reúne todas estas necesidades alimenticias (Prieto et al., 2006), tal como se observa en los resultados del T3 (**Figura 14 y Figura 15**).

4.3.2. Proporción de copépodos para juveniles y adultos.

En el estadio juvenil de tilapia, de acuerdo con los tratamientos empleados, para las variables peso y tamaño, se evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con un p valor de 0,0027 y 0,0024, respectivamente a las variables. Los mejores tratamientos fueron T0 y T1, estadísticamente iguales entre sí, con pesos entre 76,01 y 74,24 g, mientras que el tamaño se encontró entre 15,45 y 15,30 cm (**Tabla 7**).

Los peores tratamientos fueron T2 y T3 (**Tabla 7**), debido a que mostraron un retraso en peso y tamaño comparado con T0 y T1, por tal motivo, para el estadio de juvenil es recomendable sustituir el balanceado con hasta un 25% de copépodos, para lograr un desarrollo igual al obtenido con el balanceado comercial (T0).

Para los tratamientos aplicados al estadio de adulto, se encontró que en las variables peso y tamaño presentaron diferencias estadísticamente significativas con un p valor correspondiente de 0,0027 en peso y 0,0025 en tamaño (**Tabla 7**).

Los tratamientos T0 y T1 se mostraron estadísticamente iguales, con pesos entre 449,68 y 444,84 g y un tamaño entre 26,10 y 24,15 cm, este peso y tamaño son muy adecuados para su comercialización. Igual que el estadio juvenil, los peores tratamientos fueron T2 y T3, ya que no alcanzaron el desarrollo estimado para su última semana y comercialización.

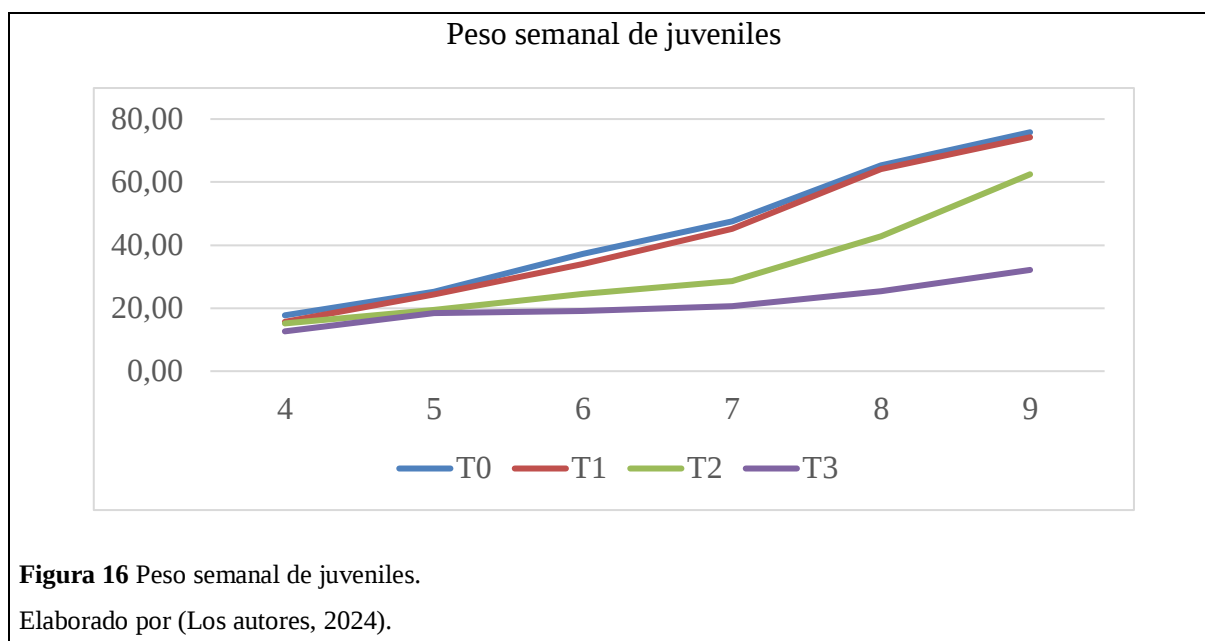
Tabla 7 Análisis de medianas para las variables peso y tamaño, de los estadios juveniles y adultos.

Tratamiento	Juveniles		Adultos	
	Peso Q2 (g)	Tamaño Q2 (cm)	Peso Q2 (g)	Tamaño Q2 (cm)
0	76,01 ^C	15,45 ^C	449,68 ^C	26,1 ^C
1	74,24 ^{BC}	15,3 ^{BC}	444,84 ^{BC}	24,15 ^{BC}
2	62,36 ^{AB}	13,7 ^{AB}	219,27 ^{AB}	21,6 ^{AB}
3	32,6 ^A	8,9 ^A	115,96 ^A	17,8 ^A

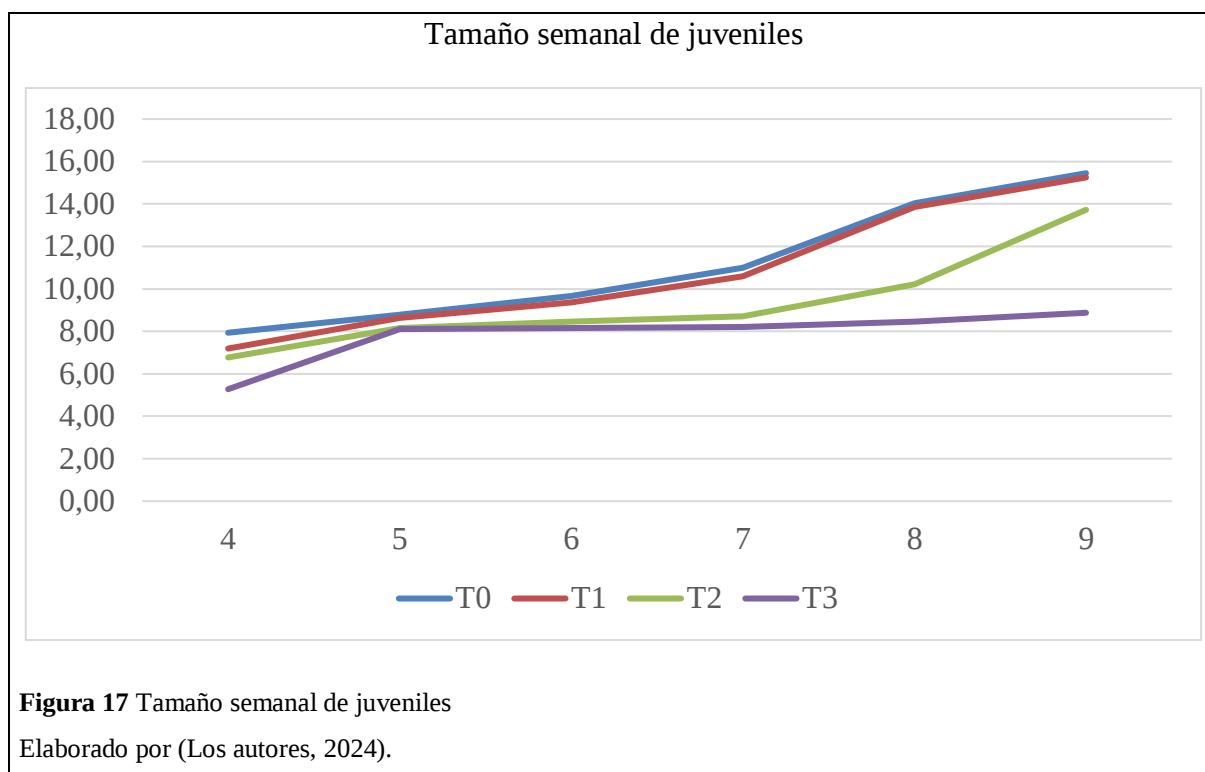
Elaborado por: (Los autores, 2024).

La formulación del balanceado comercial para estadios de juveniles son modificados en comparación con el alimento para alevines y adultos, ya que, necesitan menos proteína para su desarrollo, por lo cual su formulación contiene: 47% de proteína, 8% de grasas, 5% de fibra cruda y 10% máximo de cenizas (Salazar et al., 2023).

Se realizó una valoración semanal para el estadio juvenil de tilapia evaluando sus variables peso y tamaño, desde la semana 4 a la semana 9. En la **Figura 16** se puede observar el comportamiento de la curva de tendencia de peso por cada uno de los tratamientos. En este estadio se identificó que las medias de los tratamientos T0 y T1 llegaron a un peso promedio similar en un rango de 75,81 y 74,24 g. Se observó que desde la semana 7, los tratamientos T2 y T3 retrasaron el desarrollo en peso de los peces.



Durante la evaluación semanal para la variable tamaño en estadio de juvenil, se logró identificar que los tratamientos T0 y T1 poseen una media semejante (**Figura 17**), cuyo rango se encontró entre 15,45 y 15,25 cm, respectivamente. Por otro lado, se puede observar el comportamiento del tratamiento T2, en la semana 9 mejoró significativamente su rendimiento, pero no logró alcanzar un tamaño promedio óptimo; el tratamiento T3 a partir de la semana 5 a la semana 9 no evidenció un aumento de tamaño, por tal motivo son considerados como los peores tratamientos para este estadio.



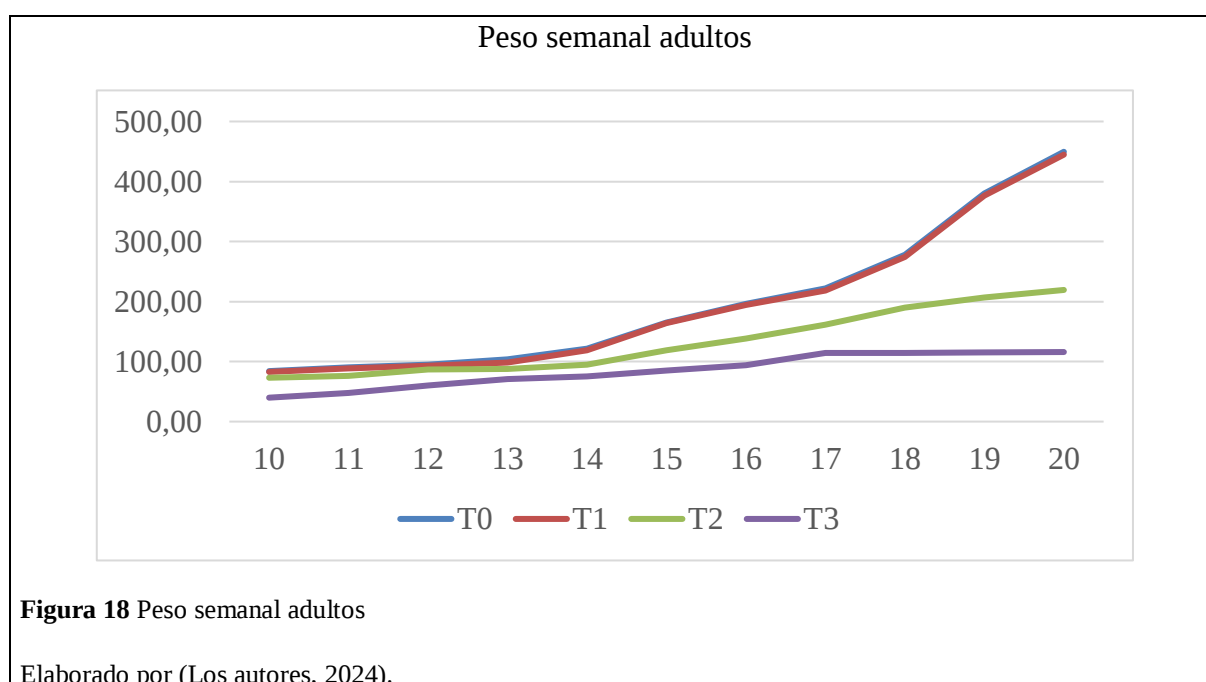
En la acuicultura, para que un cultivo de peces tenga éxito se debe contar con una fuente adecuada de cultivo de alimento vivo, existe una diversidad de microorganismos que presentan características nutricionales apropiadas para emplearse como alimento de peces como: Copépodos, Artemia, micro-gusano, pulga de agua, gusano de fango entre otros. Durante el crecimiento de los peces hay etapas críticas que determinan el rendimiento y la supervivencia de la especie, una de estas etapas es la larvaria, y posteriormente la etapa de juvenil (Figueroa & Uribe, 2018).

Emplear alimento vivo como copépodos durante la etapa de juvenil incrementa el crecimiento, ya que, al suministrar porciones moderadas complementa la falta de nutrientes que presentan los balanceados comerciales, también aporta nutrientes esenciales como proteínas de alta calidad y ácidos grasos como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) de la familia omega-3; De igual modo, activa el comportamiento natural de la especie, debido a que, al no encontrarse en su hábitat natural desarrollan conductas de depredación, el alimento vivo ayuda a su capacidad locomotora y de coordinación, estas características

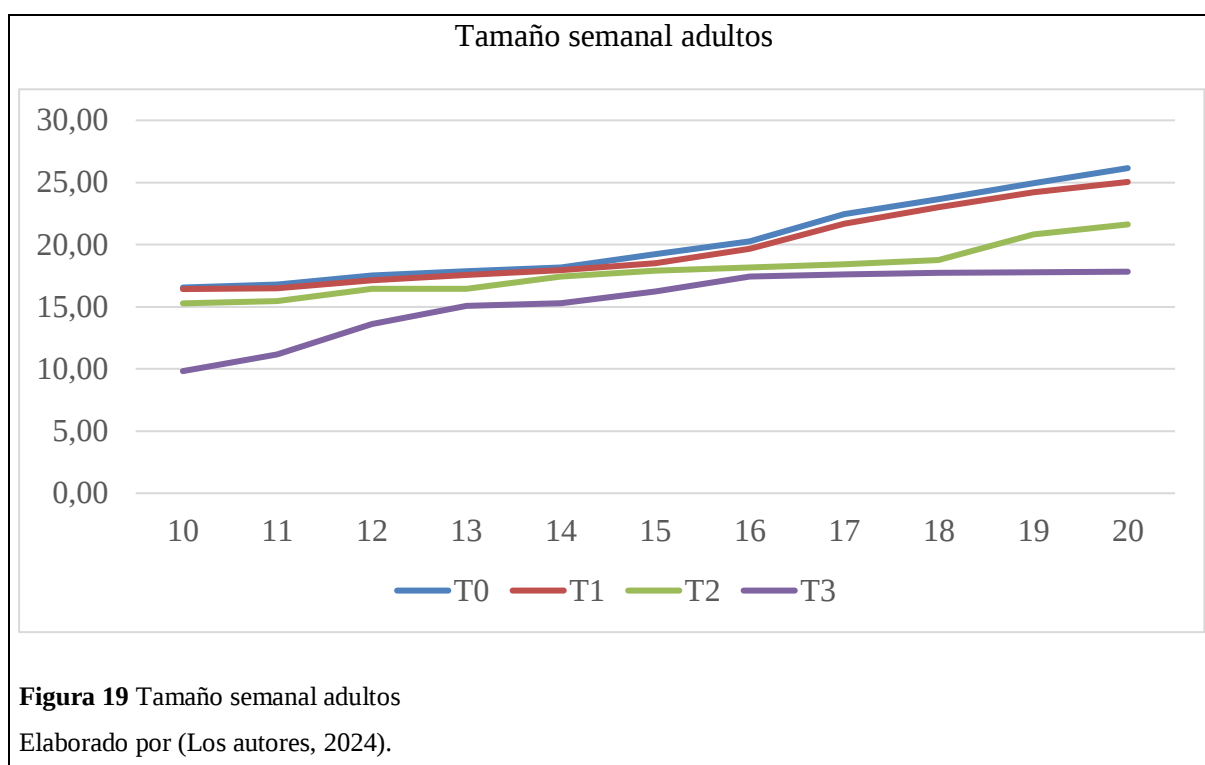
contribuyen a un incremento en su masa corporal (peso y tamaño), igualmente mejora la aceptación del alimento, es decir que los peces presentan mayor afinidad hacia el alimento vivo, gracias a su color, olor y movimiento, lo que incrementa el consumo (Figuroa et al., 2010).

Para el estadio de adulto, de igual forma se evaluaron las variables peso y tamaño por cada semana, este estadio fue comprendido desde la semana 10 hasta la semana 20. De acuerdo con los datos obtenidos para la evaluación del peso se evidenció que los tratamientos T0 y T1 obtuvieron los mejores promedios, entre 449,51 y 444,77 g (**Figura 18**). Este peso es ideal para colocar a los peces en el mercado, por tal motivo, se recomienda proporcionar hasta un 25% de copépodos en complemento al 75% de balanceado comercial. Los peores tratamientos fueron los T2 y T3, ya que, no contenían los nutrientes necesarios para cubrir las necesidades alimenticias y de desarrollo de las tilapias, en donde T2 alcanzó un peso máximo de 219,30 g.

En la curva se observa que, entre la semana 13 y 14 hubo un mejor desarrollo de los peces, en esta etapa de crecimiento los tratamientos T0 y T1 aumentaron alrededor de 20 g, y a partir de este punto empezaron a desarrollarse de una mejor forma los peces adultos.



De acuerdo con el análisis de las medias para la variable tamaño, se identificó que los tratamientos T0 y T1 presentaron similitud, las medias se encontraron entre 26,16 y 25,04 cm (**Figura 19**). Por otro lado, se puede observar que el tamaño en los peces de los tratamientos T2 y T3 no incrementa desde la semana 16, presentando un crecimiento lento. Es recomendable el tratamiento T1 para las tilapias adultas, el cual consiste en suministrar un 25% de copépodos y 75% de balanceado.



El éxito en la industria de la acuicultura se basa en la producción controlada de la especie a ser cultivada. La supervivencia de una especie depende de la etapa larvaria y juvenil, y su plena relación con los requerimientos nutricionales del alimento para que la especie prolifere y alcance la adultez (Figuerola & Uribe, 2018). En virtud de los resultados obtenidos, se define que las cantidades de copépodos que pueden ser administradas para alevines es recomendable hasta un 66% de copépodos, durante el estadio de juveniles y adultos es recomendable suministrar hasta un 25% de copépodos.

Según Martínez et al. (2010), para complementar la cantidad de alimento suministrado en el estadio adulto se ha implementado dos enfoques, el primero alimento considerado como cultivos de apoyo, que involucra el uso de microorganismos vivos como: copépodos, artemias, rotíferos, algas, y cladóceros; mientras que, el segundo se enfoca en los balanceados comerciales caracterizados por ser micropartículas. Al combinar estos dos tipos de alimentación en concentraciones adecuadas se crea una combinación rica en nutrientes para peces adultos.

Al utilizar copépodos como alimento vivo y balanceado comercial en la dieta de los peces se obtiene un acelerado crecimiento en relación talla-peso, peces con alto valor nutricional, mayor tolerancia a enfermedades, asimilación directa de alimento, entre otros. Se emplean copépodos como alimento vivo para peces adultos, ya que, son micro crustáceos fáciles de cultivar, su crecimiento es rápido, consumen altas cantidades de microalgas, por lo cual los acuicultores los emplean para complementar las dietas artificiales y de esta manera se puede proveer alimento rico en proteínas, vitaminas y lípidos (Sánchez, 2011).

5. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

Se identificó morfológicamente a los copépodos en todos sus estadios de crecimiento, a partir de muestras recolectadas en la Reserva Ecológica Antisana, en la laguna La Mica. *Leptodiaptomus minutus*, fue la especie identificada, de acuerdo a su color característico rojizo, cuerpo alargado y 2 antenas largas.

Para alevines la proporción óptima de proteína a base de los cuerpos adultos de los copépodos, usado como alimento vivo, fueron T0 (100% balanceado), T1 (33% copépodos – 77% balanceado) y T2 (66% copépodos – 34% balanceado) alcanzando un rango de peso entre 11,95 y 10,89 g, con un rango de tamaño entre 4,70 y 4,83 cm. En base a dichos resultados se puede concluir que, para alevines es posible reemplazar el balanceado en hasta un 66% por copépodos.

Se seleccionó el nivel de proteína a base de copépodos adultos, usados en la alimentación de tilapia, los mejores tratamientos para estadio juvenil fueron el T0 (balanceado 100%) alcanzando un peso de 76,01 g y un tamaño de 15,45 cm; y T1 (75% de balanceado – 25% de copépodos) que obtuvo un peso de 74,24 g y un tamaño de 15,30 cm. Para el estadio de adulto los mejores tratamientos fueron T0 con un peso de 449,68 g y un tamaño de 26,10 cm, y para el tratamiento T1 que alcanzó un peso de 444,84 g y un tamaño de 24,15 cm. En base a dichos resultados se puede concluir que, para adultos es posible reemplazar el balanceado hasta un 25% por copépodos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzueto, M. (2014). *Efecto de la dieta y la temperatura en los parámetros poblacionales y en el valor nutricional del copépodo Pseudodiaptomus euryhalinus cultivado en laboratorio* [CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA].
<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/67/1/238131.pdf>
- BioAlimentar. (2022). *Balanceados-BiOmentos-Peces*. <https://biomentos.com.ec/wp-content/uploads/2022/10/Balanceados-BiOmentos-Peces.pdf>
- Boehler, J., & Krieger, K. (2012). *Taxonomic Atlas of the Copepods (Class Crustacea: Subclass Copepoda: Orders Calanoida, Cyclopoida, and Harpacticoida)*.
www.heidelberg.edu/academiclife/distinctive/ncwqr/research/reports
- Bolaños, M. (2015). *EVALUACIÓN DEL USO DE ALIMENTOS ALTERNATIVOS EN EL PRENGORDE Y ENGORDE DE TILAPIA ROJA (Oreochromis sp.) EN LA COMUNIDAD DE PLAYA RICA - NOROCCIDENTE DE PICHINCHA*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12612/1/CD-6671.pdf>
- Boxshall, G. A., & Defaye, D. (2008). Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. In *Hydrobiologia* (Vol. 595, Issue 1, pp. 195–207).
<https://doi.org/10.1007/s10750-007-9014-4>
- Bucheli, R., & Cajas, J. (2022). *Distribución espacial de diversidad y abundancia de copépodos planctónicos en el Pacífico ecuatoriano durante octubre del 2017* (Vol. 24).
<https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/22.-Cop%C3%A9podos-COI-2017.pdf>

- Bucheli, R., Cajas, J., & Cabanilla, C. (2022). Riqueza y diversidad de copépodos pelágicos en dos estaciones a diez millas de las costas de Ecuador. *Acta Oceanográfica Del Pacífico*. , 4. <https://doi.org/10.54140/raop.v4i2.62>
- Carrión, J., Galarza, W., Quizhpe, P., & Sánchez, O. (2023). Efecto de alimentos balanceados comerciales y predigeridos con probióticos sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles del camarón blanco *Litopenaeus Vannamei*. *Polo Del Conocimiento*, 8, 1532–1570. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9152328>
- Cueva, M. (2013). *EFFECTOS DEL DERRAME DE PETRÓLEO SOBRE LA DINÁMICA ECOLÓGICA DE LAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÓNICAS DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA* [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/298/1/T-UIDE-0277.pdf>
- Doria, D., & Gaviria, I. (2023). *PRODUCCIÓN DE HUEVOS DEL COPÉPODO Acartia tonsa: PROTOTIPO DE CULTIVO*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/32a8a094-ab92-4b20-afd5-f99d69ad8be5/content>
- Drillet, G., Frouël, S., Sichlau, M. H., Jepsen, P. M., Højgaard, J. K., Joardeer, A. K., & Hansen, B. W. (2011). Status and recommendations on marine copepod cultivation for use as live feed. *Aquaculture*, 315(3–4), 155–166. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2011.02.027>
- El Productor. (2017, October 13). *El problema de la industria de alimentación en la acuicultura de América Latina* | *El Productor*. <https://elproductor.com/2017/10/el-problema-de-la-industria-de-alimentacion-en-la-acuicultura-de-america-latina/>

- Empresa Pública Metropolitana de Gestión. (2021, July 23). *La Reserva ecológica Antisana se transforma en Parque Nacional - Empresa Pública Metropolitana de Gestión de Destino Turístico*. <https://www.quito-turismo.gob.ec/news/la-reserva-ecologica-antisana-se-transforma-en-parque-nacional/>
- Fernández, M. (2015). Manual de la CLASE MAXILLIPODA: SUBCLASE COPEPODA: Orden Calanoida. *Ibero Diversidad Entomológica*, Vol.89, 1–27. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_89.pdf
- Figuerola, J., Figuerola, J., & Vargas, T. (2010). Alimento vivo como alternativa en la dieta de larvas y juveniles de *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823). *Redalyc*, 14, 1–11. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=83715746005>
- Figuerola, J., & Uribe, E. (2018). UN MENÚ DIVERSO Y NUTRITIVO EN LA DIETA DE PECES: “EL ALIMENTO VIVO.” *AgroProductividad*, 10, 112–116. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/985>
- Ganoza, F., Prieto, C., Álvarez, J., Dibucho, O., & Gonzáles, L. (2021). GUÍA PARA OBTENCIÓN DE ALEVINES DE TILAPIA EN AMBIENTE CONTROLADO (*Oreochromis niloticus* tilapia gris y *Oreochromis* sp. tilapia roja). *Instituto Del Mar Del Perú*, 48(1), 1–10. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3528/1/Informe%2048-1%20Articulo11.pdf>
- Gavilanes, E., & Tiba, W. (2023). *EVALUACIÓN DE CUATRO MEDIOS DE CULTIVO PARA EL AISLAMIENTO, PURIFICACIÓN Y CRECIMIENTO DE Haematococcus pluviialis* [Unversidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25544/1/TTQ1208.pdf>

- Gaviria, Y., Camaño, J., & Zapata, J. (2020). Propiedades físicas de alimento para tilapia roja (*Oreochromis spp.*) elaborado con ensilado químico y secado en microondas. *SciELO*, 31(6), 105–116. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600105>
- Google. (2020). *Laguna de la Mica | Ecuador y Aventura*. <https://www.ecuadoryaventura.com/sitios/laguna-de-la-mica/>
- Hernández, E., Albis, A., & Cervera, S. (2024). *EXTRUSIÓN Y CALIDAD FÍSICA EN FORMULACIONES DE ALIMENTO PARA ENGORDE DE CAMARONES: UNA REVISIÓN* [Universidad del Atlántico]. <https://doi.org/10.15665/rp.v22i2.3267>
- Jácome, J., Abad, C. Q., Romero, O. S., Pérez, J. E., & Nirchio, M. (2019). Tilapia en Ecuador: paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana. *Revista Peruana de Biología*, Vol.26(4), 543–550. <https://doi.org/10.15381/RPB.V26I4.16343>
- Jaume, D., Conradi, M., & López, P. (2004). *CURSO PRÁCTICO DE ENTOMOLOGÍA* [Universidad de Sevilla]. https://imedeas.uib-csic.es/damiajaume/DamiaJaumewebpage_archivos/PDFs/CopepodosEntomologia.pdf
- Kavitha, M., Raja, M., & Perumal, P. (2018). Evaluation of probiotic potential of *Bacillus spp.* isolated from the digestive tract of freshwater fish *Labeo calbasu* (Hamilton, 1822). *Aquaculture Reports*, 11, 59–69. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2018.07.001>
- Kline, D., & Laidley, C. (2015). Development of intensive copepod culture technology for *Parvocalanus crassirostris*: Optimizing adult density. *Aquaculture*, 435, 128–136. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2014.09.022>
- Lagos, A., Angulo, A., Daza, A., Toro, D., Gonzalez, J., León, V., López, M., Naar, O., Polanco, P., Londoño, R., & Quiroga, S. (2014). *ZOOPLANKTON*.

https://www.unimagdalena.edu.co/Content/Public/Docs/Entrada_Facultad3/adjunto_1029-20181004104749_622.pdf

López, R., & Mojica, L. (2016). Especies de Oithona (Crustacea: Copepoda) en el Pacífico Colombiano en el Segundo Periodo Lluvioso de 2001. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 38. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1298>

López Raúl. (2012). *DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE COPÉPODOS PELÁGICOS EN EL PACÍFICO COLOMBIANO* [UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA]. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/2100/1632&ved=2ahUKEwj86Z3dy4KJAXYRDABHR28Bro4ChAWegQIBhAB&usg=AOvVaw1y0Vq83AwxNN_OH7bF9lb

Luna, J., Arce, E., & Figueroa, J. (2018). Ventajas e inconvenientes del uso de alimento vivo en la nutrición de peces. *Inventio*, 33(6), 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.aquiliv.2003.06.001>

Martínez, L., Martínez, M., López, J., Campaña, A., Miranda, A., Ballester, E., & Porchas, M. (2010). Alimento Natural en Acuicultura: una revisión actualizada. *ResearchGate*, 1–33. https://www.researchgate.net/publication/237377591_Alimento_natural_en_acuicultura_una_revision_actualizada

Medina, E. (2018). *Caracterización fisiológica y metabólica de la tilapia tetra híbrida Pargo UNAM a diferentes temperaturas y salinidades de aclimatación* [Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2080/1/tesis_Medina_Romo_Evrika_Zarina_07_mayo_2018.pdf

- Merino, N. (2017). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES GRISES MEDIANTE UN SISTEMA BASADO EN MICROALGAS*. 1–152.
<https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8177/1/UDLA-EC-TIB-2017-47.pdf>
- Miracle, M. R. (2015). Manual de la CLASE MAXILLOPODA: SUBCLASE COPEPODA: Orden Cyclopoida. *Revista IDE@-SEA*, No, 95, 1–19. www.sea-entomologia.org/IDE@
- Morales, E., Luna, V., Navarro, L., Santana, V., Gordillo, A., & Arévalo, A. (2013). *Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a una colección de cultivos*.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6537243.pdf>
- Muñoz, M. E. (2011, July 11). *Biotecnología aplicada en la reproducción de peces*.
https://www.researchgate.net/publication/317122114_Biotecnologia_aplicada_en_la_reproduccion_de_peces/link/5927e7420f7e9b99799f97b6/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Noguez, J., Álvarez Brenda, Martínez, E., Rodríguez, N., Vargas, J., & Sifuentes, D. (2021). *Características físico-químicas del agua para la producción de tilapia (oreochromis niloticus) en condiciones de presa en el rancho UMA “Agua Bendita”* (Vol. 1).
<https://www.researchgate.net/publication/369199723>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura*. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Pérez, E., Puello, A., & Gómez, S. (2006, June). Efecto de diferentes dietas de microalgas sobre la supervivencia y crecimiento de *Apocyclops aff. panamensis*. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, 1–11. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612753012.pdf>

- Pérez, M., Alvarez, Y., Soriano, J., & Pérez, M. (2020). Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión. *Hidrobiológica*, 30(1), 93–105. <https://doi.org/10.24275/UAM/IZT/DCBS/HIDRO/2020V30N1/PEREZ>
- Pindo, B. (2022). *Eficacia de la aplicación de un consorcio bacteriano elaborado a base de Bacillus subtilis y Bacillus licheniformis para la reducción de materia orgánica en sedimentos de piscinas camaroneras*. [Universidad Técnica de Machala]. https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/21039/1/Trabajo_Titulacion_1554.pdf
- Prieto, M., Castaño, F., Sierra, J., Logato, P., & Botero, J. (2006). ALIMENTO VIVO EN LA LARVICULTURA DE PECES MARINOS: COPÉPODOS Y MESOCOSMOS. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 30–36. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69309904>
- Puello, A., Gonzáles, B., & García, A. (2008). Investigación en Producción y Uso de Copépodos en Larvicultura Marina. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/publication/236159356_Investigacion_en_Produccion_y_Uso_de_Copepodos_en_Larvicultura_Marina
- Qi, X., Xue, M., Cui, H., Yang, K., Song, K., Zha, J., Wang, G., & Ling, F. (2020). Antimicrobial activity of *Pseudomonas monteillii* JK-1 isolated from fish gut and its major metabolite, 1-hydroxyphenazine, against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*, 526, 735366. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735366>
- Recinto El Bolo, El Esfuerzo, Santo Domingo - Google Maps*. (n.d.). Retrieved October 17, 2024, from <https://www.google.com/maps/place/Recinto+El+Bolo,+El+Esfuerzo,+Santo+Domingo/@-0.4637029,-79.2807518,3064m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x91d52fa543b00643:0xd16c61763442>

37d9!8m2!3d-0.4664494!4d-

79.2758595!16s%2Fg%2F11tc209_y8?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAxNS4wIKXM

DSOASAFQAw%3D%3D

Reyes, L., Monroy, M. del C., Torres, E., Cortés, A. D. J., & Espinosa, L. (2023). Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: revisión. *La Granja*, 38(2), 124–137. <https://doi.org/10.17163/LGR.N38.2023.09>

Saavedra, M. (2006). *MANEJO DEL CULTIVO DE TILAPIA*. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>

Salazar, L., Chacón, A., & Herrera, J. (2023). Crecimiento, eficiencia y composición de tilapia (*Oreochromis aureus*) alimentada con lombriz roja (*Eisenia fetida*). *Nutrición Animal Tropical*, 17(1), 1–35. <https://doi.org/10.15517/nat.v17i1.54085>

Sánchez, L. (2011). Alimento nutritivo, colorido y en movimiento: Los cultivos de apoyo en Acuicultura. *ResearchGate*, 1–7. https://www.researchgate.net/publication/260978052_Alimento_nutritivo_colorido_y_en_movimiento_Los_cultivos_de_apoyo_en_Acuicultura

Suárez, A. (2015). *CULTIVO EXPERIMENTAL DE COPÉPODOS MARINOS BAJO CONDICIONES CONTROLADAS, CON MIRAS A SU POTENCIAL USO COMO ALIMENTO VIVO EN EL SECTOR ACUÍCOLA DEL PAÍS, EN PUNTA CARNERO-SALINAS-SANTA ELENA, ECUADOR* [UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2138>

Torres, J., & Vázquez, M. (2015). Copépodos (Crustacea: Copepoda) como agentes de control biológico de larvas de mosquitos *Aedes* (Diptera: Culicidae) en Chiapas, México. *Scielo*,

25(1), 1–6. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972015000100001&script=sci_arttext

Urdiales, V. (2015). *EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE HORMONA 17 ALFA METIL TESTOSTERONA PARA LA REVERSIÓN SEXUAL EN TRES DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE Oreochromis sp TILAPIA ROJA EN ESTADO INICIAL*. 1–88. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3928/1/17T1263.pdf>

Velasco, G., Puella, A., Álvarez, L., Gonzáles, B., Abdo, M., Rodríguez, L., & García, A. (2011). *Alimento vivo-Copepodos*. <https://www.researchgate.net/publication/253244359>

Velázquez, K., Suárez, E., & Ayón, M. (2021). *Catálogo de los copépodos (Crustacea: Copepoda: Calanoida y Cyclopoida) de cuerpos de agua temporales de Jalisco, México. Taxonomía y distribución*. https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2203/1/61265_Documento.pdf

Yang, Y., Xia, J., Liu, Y., Dong, J., Xu, N., Yang, Q., Zhou, S., & Ai, X. (2021). Safety evaluation for the use of *Bacillus amyloliquefaciens* in freshwater fish cultures. *ElSevier*, 21, 100822. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100822>

ANEXOS

Anexo 1 Convenio específico

CARTA DE AUSPICIO Y AUTORIZACIÓN PUBLICACIÓN TRABAJO EXPERIMENTAL

Quito, 11 de junio del 2024

Señora:

PhD. María Elena Maldonado

DIRECTORA DE CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Presente.-

De mi consideración:

Yo, Titulo Jorge David Irazábal Alarcón, en mi calidad de Responsable Técnico del Laboratorio de Microbiología de La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario, nos comprometemos a otorgar auspicio al señorita Daniela Belén Alarcón Rosero y Señor Ángel Marcelo Piedra Sánchez con C.I: 1725143349 y 1725280745, para que realice/n su trabajo experimental, titulado: "Elaboración de una proteína biológica a base de copépodos de agua dulce, cultivados, bajo condiciones controladas, para uso como alimento vivo en tilapia".

Adicionalmente, al firmar el presente documento, AUTORIZO la posterior publicación del documento escrito final del trabajo experimental (según formato de la universidad) en el repositorio digital DSpace de la Universidad Politécnica Salesiana, y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación e investigación.

Atentamente:



Jorge Irazábal

Anexo 2 Permiso de Pesca Deportiva para la colección de material biológico



Quito, 15 de Junio del 2024

SOLICITUD DE PESCA AL PARQUE NACIONAL ANTISANA-LAGUNA LA MICA

Yo, Jorge David Irazábal Alarcón identificado con (CI o Pasaporte) N°.1002122479, en calidad de Responsable de Grupo, solicito el ingreso Parque Nacional Antisana-Laguna La Mica, para lo cual adjunto los siguientes datos:

RESPONSABLE DEL GRUPO (Group responsible)				
DATOS PERSONALES (Personal Data)				
Empresa - Institucion (Bussines - Institute)			No. dias (No. days)	1
Apellidos (Surname)	Irazábal Alarcón	Nombres (First Name)	Jorge David	
Nacionalidad (Nationality)	Ecuatoriano	Pasaporte (Passport number)		
Teléfono (telephone)	0996138753	Correo electrónico (E-mail)	Jorge.irazabal@agrocalidad.gob.ec	
Fecha de Ingreso (Date of admission)	15-06-2024	Fecha de salida (Departure date)	15-06-2024	
Destino (Destination)	Laguna La Mica	Placa Vehiculo (Vehicle plate)	PCJ-3528	
Objetivo (Objective)	PESCA DEPORTIVA			
ACOMPANANTES (Companions)				
No.	NOMBRES (Names)	NACIONALIDAD (Nationality)	EDAD (Age)	No. CEDULA (passport number)
1	Daniela Belén Alarcón Rosero	Ecuatoriana	25	1725143349
2	Ángelo Marcelo Piedra Sánchez	Ecuatoriano	27	1725280745
3				
4				
5				
6				
7				



Comprometiéndome a:

1. Presentar la autorización ante el personal del Área Protegida que lo solicite.
2. Presentar las cédulas de identidad de todos los visitantes
3. No extraer especímenes de flora y/o fauna silvestre.
4. Acatar las normas del Área Protegida y las disposiciones que emita la Administración y el personal.
5. La actividad de pesca se realizará mediante caña, no se utilizará otros mecanismos como atarraya o barbasco.
6. Se extraerán un máximo de 5 especímenes de trucha por visitante.
7. Se colaborará con el personal del área protegida en la apertura para la verificación de los medios de pesca a ser utilizados, como sebos o cañas.
8. El horario de ingreso a la actividad de pesca será entre las 8h00 hasta las 12h00.
9. Los visitantes traerán de vuelta consigo todos los residuos generados por la actividad de pesca durante su visita.
10. Se entregará al personal del área protegida la cédula de identidad en condición de prenda al momento del ingreso al área protegida, la misma que será retirada a la salida, después de la actividad de pesca.

De no cumplir fielmente los numerales arriba estipulados o de causar cualquier daño al patrimonio natural, asumo el compromiso de someterme a los dispositivos legales vigentes y a la denegación de futuras autorizaciones, así como de las sanciones a que hubiere lugar.

Por lo expuesto, agradeceré a usted acceder a lo solicitado.

Atentamente,

Nombre: Jorge David Irazábal Alarcón