

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera**

**ADAPTACIÓN DE UN COPEPODO CALANOIDE**

**MARINO A CONDICIONES DE CULTIVO**

**EN LA REGIÓN TACNA**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. DANIEL EDDY CORONADO QUISPE**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO PESQUERO**

**TACNA - PERÚ**

**2026**

# UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

## “ADAPTACIÓN DE UN COPEPODO CALANOIDE MARINO A CONDICIONES DE CULTIVO EN LA REGION TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el 22 de agosto del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE

:



.....  
Dr. Luis Alberto Bernardo Rivera Chipana

SECRETARIO

:



.....  
Dr. Ederson Juan Montalico Pongo

VOCAL

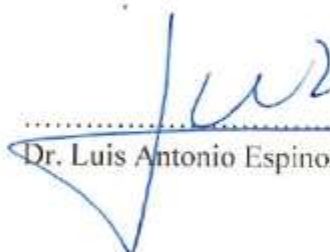
:



.....  
Dr. Calixto Quispe Pilco

ASESOR

:



.....  
Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **LUIS ANTONIO ESPINOZA RAMOS** en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°7964-2023-FCAG de la tesis de investigación titulada: **“ADAPTACIÓN DE UN COPEPODO CALANOIDE MARINO A CONDICIONES DE CULTIVO EN LA REGION TACNA”** Presentado por el Bachiller **DANIEL EDDY CORONADO QUISPE** para optar el grado de **INGENIERO PESQUERO**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual **TURNITIN** cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es de 6%.

Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional. Se emite el presente certificado con fines de continuar con los tramites respectivos para su obtención del título profesional

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos  
DNI: 00418110  
Asesor



  
\_\_\_\_\_  
Bach. Daniel Eddy Coronado Quispe  
DNI: 71465274  
Tesisista



## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mí mismo, porque nadie más que yo conozco el esfuerzo, la disciplina y el sacrificio que implicó llegar hasta aquí. A las horas robadas al descanso, a las madrugadas de trabajo y a los momentos en que la motivación parecía agotarse, pero la voluntad se mantuvo firme. Este logro es el resultado de mi perseverancia, de mi capacidad para superar desafíos y de mi compromiso inquebrantable con mis metas.

Dedico también este logro a mi madre, por ser el pilar que me sostuvo en los momentos más difíciles, por su amor incondicional, sus palabras de aliento y la fuerza que me transmitió para no rendirme.

Hoy, más que un documento, esta tesis representa una victoria personal y familiar, fruto de mi empeño y de la inspiración que siempre encontré en ella.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial al Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos, asesor de la presente tesis y docente de la Escuela de Ingeniería Pesquera, por su constante guía, sus valiosos consejos y su compromiso durante todo el desarrollo de este trabajo de investigación.

Extiendo mi gratitud al Blgo. Jordan Ismael Huanacuni Pilco, coasesor de esta tesis, por su apoyo incondicional, su orientación técnica y su disposición para compartir sus conocimientos de manera generosa.

De igual forma, agradezco a la Ing. Fressia Geosselin Torres Taipe y a la Ing. Rosa Isabel Flores Turpo, por sus aportes, recomendaciones y acompañamiento durante el proceso de investigación.

Mi reconocimiento se extiende a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Pesquera, quienes con su enseñanza, dedicación y exigencia académica han contribuido significativamente a mi formación profesional.

Agradezco también al proyecto *Producción experimental de copépodos calanoide nativos de alto contenido nutricional con valor en la acuicultura marina*, por brindar el soporte técnico, los recursos y el espacio necesarios para la realización de este trabajo.

A mi madre y familia, quienes han sido mi motor y fuente de fortaleza, gracias por su amor incondicional, su comprensión y su aliento en cada etapa de este camino.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo, sus palabras de motivación y su confianza, les expreso mi más sincero agradecimiento.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1 Contexto Problemático Actual .....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general .....	3
1.2.2 Problemas específicos .....	3
1.3 Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.4 Objetivos de la investigación .....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Hipótesis de la investigación.....	4
1.5.1 Hipótesis general.....	4
1.5.2 Hipótesis específica.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Antecedentes de la investigación .....	5
2.2 Bases teóricas .....	7
2.2.1 La acuicultura .....	7
2.2.2 El alimento vivo en la acuicultura.....	8
2.2.3 Los Copépodos .....	9
2.2.4 Copépodos calanoides.....	13
2.2.5 Cultivo de copépodos.....	18
2.2.6 Parámetros físico químicos del cultivo de copépodos.....	19

2.2.7	Alimentación en el cultivo de copépodo.....	21
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		23
3.1	Área de trabajo.....	23
3.2	Tipo, diseño y nivel de investigación .....	24
3.2.1	Tipo de investigación.....	24
3.2.2	Diseño de investigación .....	24
3.2.3	Nivel de investigación.....	24
3.3	Operacionalización de variables .....	25
3.3.1	Variable dependiente: indicadores .....	25
3.3.2	Variable independiente: indicadores .....	25
3.4	Población y muestra.....	26
3.4.1	Población .....	26
3.4.2	Muestra:.....	26
3.5	Materiales y equipos de laboratorio.....	26
3.5.1	Maquinaria de laboratorio.....	26
3.5.2	Implementos .....	26
3.5.3	Materiales de origen biológico .....	26
3.5.4	Elementos de cristal .....	27
3.5.5	Suministros plásticos.....	27
3.5.6	Elementos de protección personal.....	27
3.5.7	Productos de limpieza .....	27
3.5.8	Artículos de papelería .....	28
3.5.9	Sustancias químicas.....	28
3.6	Metodología experimental.....	28
3.6.1	Procedimiento para separar e identificar una especie de copépodo Calanoida.....	28
3.6.2	Cuidado y manejo de cepas.....	30
3.6.3	Identificación de la especie .....	30
3.6.4	Experimentación.....	31
3.6.5	Programa estadístico .....	33
3.6.6	Diseño experimental.....	34

CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	35
4.1 Parámetros físico-químico de zonas de colecta.....	35
4.2 Identificación de la especie .....	36
4.3 Experimentación.....	37
4.3.1 Prueba 1: Tasa de ingestión por estadio de desarrollo y tipo de dieta de microalgas. ....	37
4.3.2 Prueba 2: Crecimiento poblacional total con distintas dietas microalgas. ....	41
4.4 Protocolo para el cultivo y mantenimiento de una cepa del <i>paracalanus</i> <i>spp.</i> .....	47
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	49
5.1 Prueba 1: Tasa de ingestión por estadio de desarrollo y tipo de dieta de microalgas. ....	49
5.2 Prueba 2: Crecimiento poblacional total con distintas dietas microalgas.	50
CONCLUSIONES .....	52
RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXOS .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b>	CUADRO DE OPERACIÓN DE VARIABLES. ....	25
<b>TABLA 2.</b>	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN ZONAS COSTERAS MAR ADENTRO DE TACNA DURANTE EL MES DE SEPTIEMBRE. ....	35
<b>TABLA 3.</b>	ANOVA DE TASA DE INGESTIÓN CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> EN ESTADIO ADULTO. .... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
<b>TABLA 4.</b>	ANOVA DE TASA DE INGESTIÓN CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> EN ESTADIO COPEPODITO. ....	39
<b>TABLA 5.</b>	ANOVA DE TASA DE INGESTIÓN CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> EN ESTADIO NAUPLIAR. ....	40
<b>TABLA 6.</b>	ANOVA DE LA POBLACIÓN TOTAL EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> ....	42
<b>TABLA 7.</b>	ANOVA DE LA POBLACIÓN DE ADULTOS EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL, CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> .....	43
<b>TABLA 8.</b>	ANOVA DE LA POBLACIÓN DE COPEPODITO EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL, CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> .....	44
<b>TABLA 9.</b>	ANOVA DE LA POBLACIÓN DE NAUPLIOS EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL, CON DIFERENTES DIETAS EN <i>PARACALANUS SPP.</i> .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS 1. VISTA DORSAL DE UN COPÉPODO. ....	10
FIGURAS 2. VISTA DE TRES TIPOS DE COPÉPODOS CALANOIDA .....	12
FIGURAS 3. MORFOLOGÍA EXTERNA DE UN COPÉPODO CALANOIDE .....	16
FIGURAS 4. CICLO DE VIDA DE UN COPÉPODO CALANOIDE. ....	17
FIGURAS 5. VISTA SATELITAL DEL LABORATORIO MARINO COSTERO DE VILA VILA. ....	23
FIGURAS 6. DIAGRAMA DEL MÉTODO EXPERIMENTAL APLICADO EN EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN. ....	34
FIGURAS 7. COPÉPODO CALANOIDE PARACALANUS SP. ....	36
FIGURAS 8. TASA DE INGESTA EN LA ETAPA ADULTO DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	38
FIGURAS 9. TASA DE INGESTA EN LA ETAPA COPEPODITO DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	40
FIGURAS 10. DATOS DE LA TASA DE INGESTA EN LA ETAPA NAUPLIOS DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	41
FIGURAS 11. CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	42
FIGURAS 12. ADULTOS EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	44
FIGURAS 13. COPEPODITOS EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	45
FIGURAS 14. NAUPLIOS EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL COPÉPODO PARACALANUS SPP. ....	47
FIGURAS 15. MUESTREO REALIZADO EN EL MES DE SEPTIEMBRE EN MAR ADENTRO. .	64
FIGURAS 16. PROCESO DE ADAPTACIÓN DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS. ....	64
FIGURAS 17. PROCESO DE SELECCIÓN DE COPEPODOS CALANOIDES .....	65
FIGURAS 18. PROCEDIMIENTO DE CUIDADO DE CEPAS CON CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE UN COPEPODO DE ORDEN CALANOIDE .....	65
FIGURAS 19. PROCEDIMIENTO PARA EL ENVIO DE LAS MUESTRAS. ....	66
FIGURAS 20. PARACALANUS SPP. EN ESTADIO ADULTO. ....	66
FIGURAS 21. MATERIALES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO DE TASA DE INGESTA. ....	67

FIGURAS 22. MATERIALES UTILIZADOS PARA EL EXPERIMENTO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL .....	67
FIGURAS 23. DISTRIBUCIÓN DEL EXPERIMENTO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL. ....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA. ....	56
ANEXO 2. FASE MUESTREO REALIZADO PARA LA CAPTURA DE LOS COPÉPODOS.....	64
ANEXO 3. FASE DE ADAPTACIÓN DE MUESTRAS. ....	64
ANEXO 4. FASE DE SELECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE COPEPODOS .....	65
ANEXO 5. FASE DE CUIDADO Y MANEJO DE CEPAS. ....	65
ANEXO 6. FASE DE IDENTIFICACIÓN DEL COPÉPODO. ....	66
ANEXO 7. COPÉPODO ADULTO, PARACALANUS SPP. ....	66
ANEXO 8. FASE DE EXPERIMENTACIÓN DE TASA DE INGESTA CON DISTINTAS DIETAS Y EN DIFERENTE ESTADIO. ....	67
ANEXO 9. FASE DE EXPERIMENTACIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL EN BASE A DISTINTAS DIETAS DE MICROALGAS. ....	67
ANEXO 10. DISTRIBUCIÓN DEL EXPERIMENTO DE CRECIMIENTO POBLACIONAL .....	68

## RESUMEN

La búsqueda de alternativas nutricionales para la larvicultura marina ha llevado a un creciente interés en el cultivo de copépodos calanoide, debido a su perfil lipídico óptimo y su potencial para mejorar la supervivencia larvaria. En este contexto, se realizó el aislamiento e identificación de un copépodo calanoide marino del género *Paracalanus spp.*, con el objetivo de evaluar el efecto de tres dietas, *Isochrysis galbana* (Iso), *Chaetoceros sp.* (Ch) y una dieta mixta (Iso + Ch) sobre la tasa de ingestión y el crecimiento poblacional en distintas etapas de desarrollo en condiciones controladas. En cuanto a la tasa de ingestión, no se registraron diferencias significativas en adultos entre las dietas, aunque la dieta mixta presentó valores ligeramente superiores ( $1542 \pm 186,3$  cel/ind·h). En copepoditos, sí se encontraron diferencias, siendo la dieta mixta la de mayor consumo ( $875 \pm 157,9$  cel/ind·h), mientras que en nauplios no se detectaron variaciones significativas. En el crecimiento poblacional total, los mayores valores correspondieron a *Chaetoceros sp.* ( $543 \pm 54$  ind.) y la dieta mixta ( $521 \pm 57$  ind.). Por estadios, los adultos no mostraron diferencias significativas, aunque la mayor abundancia se obtuvo con *Chaetoceros sp.* ( $14 \pm 2$  ind.); en copepoditos, destacó la dieta mixta ( $18 \pm 8$  ind.), y en nauplios, *Chaetoceros sp.* ( $516 \pm 55$  ind.) y la dieta mixta ( $490 \pm 57$  ind.) mostraron resultados superiores. Finalmente, se establecieron parámetros óptimos para el mantenimiento de la cepa, recomendándose recipientes de vidrio de hasta 2 L, agua marina filtrada por luz UV ( $5 \mu\text{m}$ ) salinidad de  $35 \pm 1$  ups, temperatura de  $18 \pm 1$  °C, aireación constante (3 burbujas/s), oxígeno disuelto  $>7$  mg/L, fotoperiodo de 12L:12O e intensidad lumínica  $\leq 400$  lux  $\pm 100$ , constituyendo un protocolo base para su cultivo.

**Palabras clave:** copépodos calanoideos; *Paracalanus spp.*; dietas microalgales

## ABSTRACT

The search for nutritional alternatives in marine larviculture has led to increasing interest in the culture of calanoid copepods, due to their optimal lipid profile and potential to improve larval survival. In this context, the isolation and identification of a marine calanoid copepod of the genus *Paracalanus* spp. was carried out, with the objective of evaluating the effect of three diets *Isochrysis galbana* (*Iso*), *Chaetoceros* sp. (*Ch*), and a mixed diet (*Iso* + *Ch*) on ingestion rate and population growth at different developmental stages under controlled conditions. Regarding ingestion rate, no significant differences were observed among adults across diets, although the mixed diet showed slightly higher values ( $1542 \pm 186,3$  cells/ind·h). In copepodites, significant differences were found, with the mixed diet resulting in the highest ingestion rate ( $875 \pm 157,9$  cells/ind·h), while nauplii showed no significant variation. In terms of total population growth, the highest values were recorded for *Chaetoceros* sp. ( $543 \pm 54$  ind.) and the mixed diet ( $521 \pm 57$  ind.). By developmental stage, adults showed no significant differences, although the greatest abundance was observed in *Chaetoceros* sp. ( $14 \pm 2$  ind.); in copepodites, the mixed diet yielded the highest abundance ( $18 \pm 8$  ind.); and in nauplii, *Chaetoceros* sp. ( $516 \pm 55$  ind.) and the mixed diet ( $490 \pm 57$  ind.) had superior results. Finally, optimal parameters for maintaining the culture were established, recommending the use of glass containers up to 2 L capacity, UV-filtered seawater (5  $\mu$ m) with salinity of  $35 \pm 1$  PSU, temperature of  $18 \pm 1$  °C, constant aeration (3 bubbles/s), dissolved oxygen  $>7$  mg/L, a 12L:12D photoperiod, and light intensity  $\leq 400 \pm 100$  lux, thus constituting a baseline protocol for its culture.

**Keywords:** calanoid copepods; *Paracalanus* spp.; microalgal diets

## INTRODUCCIÓN

La larvicultura marina atraviesa actualmente una etapa crítica marcada por una profunda crisis nutricional, donde el uso casi exclusivo de presas vivas tradicionales como rotíferos (*Brachionus plicatilis*) y *Artemia franciscana* ha revelado limitaciones severas en su perfil nutricional, particularmente en el balance de ácidos grasos esenciales (DHA, EPA, ARA), vitaminas hidrosolubles y fosfolípidos, generando como consecuencia elevadas tasas de mortalidad larvaria, anomalías esqueléticas y deficiencias inmunológicas en especies de alto valor comercial como *Lutjanus guttatus* y *Seriola lalandi* (Escalante et al., 2020; Hilton et al., 2008). En este contexto, los copépodos calanoide emergen como una opción biotecnológica de gran promesa, al ofrecer un perfil lipídico óptimo, altos niveles de carotenoides y enzimas digestivas capaces de potenciar la eficiencia alimentaria y la viabilidad de las larvas (Yang y Hur, 2014); sin embargo, su cultivo a escala intensiva enfrenta serios desafíos, como el estrés oxidativo en altas densidades, la extrema sensibilidad a fluctuaciones de la calidad del agua y la asincronía en la producción de estadios naupliares (Von et al., 2022; Takayama, 2023; Drillet et al., 2011). La situación se agrava en el Perú, donde no existen protocolos validados para especies nativas como *Centropages furcatus* (IMARPE, 2020), a pesar de la evidencia internacional que demuestra incrementos de entre el 30 y 70 % en supervivencia larvaria y reducciones de hasta un 40 % en malformaciones cuando se sustituye más de la mitad de las presas convencionales por copépodos (Avila et al., 2024; Santhanam et al., 2018). Esta realidad justifica la necesidad de emprender investigaciones orientadas a la adaptación de un copépodo calanoide marino a las condiciones particulares de la región de Tacna, con el propósito de aislarlo, identificarlo y desarrollar un protocolo de mantenimiento en condiciones controladas, lo que no solo permitiría diversificar y enriquecer la oferta de alimento vivo, sino también reducir la dependencia de insumos importados, cerrar ciclos tróficos con especies locales, optimizar la eficiencia productiva y generar conocimiento técnico-científico aplicable a otros sistemas costeros, contribuyendo así a consolidar una acuicultura más resiliente, sostenible y competitiva que impulse el desarrollo regional y nacional.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Contexto Problemático Actual

La larvicultura marina enfrenta una crisis nutricional documentada debido a que presas tradicionales (rotíferos y *Artemia*) presentan perfiles desbalanceados en ácidos grasos esenciales (DHA, EPA, ARA), vitaminas hidrosolubles y fosfolípidos, generando alta mortalidad larvaria, malformaciones esqueléticas y disfunciones inmunológicas en especies comerciales como *Lutjanus guttatus* y *Seriola lalandi* (Escalante et al., 2020; Hilton et al., 2008). Los copépodos calanoides emergen como solución biológica al poseer perfiles lipídicos óptimos (DHA y EPA), elevados niveles de carotenoides y enzimas digestivas que potencian la supervivencia y desarrollo de larvas marinas, Yang y Hur (2014). No obstante, su escalamiento industrial podría ser inviable por la inadaptación de especies silvestres a cultivos intensivos, evidenciando el estrés oxidativo en altas densidades (Von et al., 2022), colapso reproductivo por fluctuaciones de amonio >0,5 mg/L (Takayama, 2023), y asincronía en la producción de estadios naupliares requeridos por larvas (Drillet et al., 2011). Esta limitación técnica bloquea la transferencia de sus ventajas nutricionales a sistemas productivos. En el Perú, los estudios son escasos y fragmentarios, sin protocolos validados para especies nativas como *Centropages furcatus* (IMARPE, 2020). Pese a ello, la acuicultura peruana busca incorporarlos como alternativa alimenticia, sustentada en evidencia internacional que demuestra incrementos del 30-70 % en supervivencia larvaria y reducción del 40 % en malformaciones cuando sustituyen >50 % de presas convencionales (Avila et al., 2024; Santhanam et al., 2018), planteando la urgencia de desarrollar sistemas de producción locales que superen las barreras fisiológicas de domesticación.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la viabilidad de adaptar un copépodo calanoide marino a condiciones de cultivo en la región de Tacna?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es la posibilidad de aislar un copépodo calanoide marino?
- ¿Cómo se podría identificar un copépodo calanoide marino?
- ¿Cuáles serán los pasos necesarios para implementar un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodos marinos (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio?

## **1.3 Justificación e importancia de la investigación**

Esta investigación se justifica por la crisis nutricional crítica en la larvicultura marina peruana, donde el uso de presas tradicionales (*Artemia* y rotíferos) genera deficiencias en la alimentación de larvas con respecto a los ácidos grasos esenciales (DHA y EPA), provocando alta mortalidad larval, malformaciones y lentitud en la metamorfosis de especies comerciales como *Cilius gilberti* (corvina), *Anisotremus scapularis* (sargo) y *Paralichthys adspersus* (lenguado). La implementación exitosa de esta adaptación a cultivo de un copépodo calanoide a las condiciones específicas (temperatura, salinidad, calidad de agua ) no solo mitigaría la dependencia externa y los riesgos asociados, sino que también potenciaría la producción acuícola regional, haciéndola más resiliente, competitiva y ecológicamente responsable, al cerrar ciclos tróficos con una especie nativa, minimizar el transporte y promueve el uso eficiente de recursos endógenos; además, generaría conocimiento científico-técnico valioso y transferible para el desarrollo de la acuicultura en ecosistemas costeros similares a lo largo de la costa peruana, fomentaría la diversificación productiva y crearía oportunidades para emprendedores locales especializados en la producción de

alimento vivo, constituyendo así un pilar fundamental para el desarrollo acuícola endógeno, sostenible y de alto valor agregado en la Región Tacna.

#### **1.4 Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1 Objetivo general**

Adaptar un copépodo calanoide marino a condiciones de cultivo en la región de Tacna.

##### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Aislar un copépodo calanoide marino.
- Identificar un copépodo calanoide marino
- Implementar un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodo marino (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio.

#### **1.5 Hipótesis de la investigación**

##### **1.5.1 Hipótesis general**

Es posible adaptar un copépodo calanoide marino a condiciones de cultivo en la región de Tacna.

##### **1.5.2 Hipótesis específica**

- Es posible aislar un copépodo calanoide marino.
- Es probable identificar un copépodo calanoide marino.
- Es posible Implementar un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodos marino (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Alajmi & Zeng (2013), en su estudio sobre la evaluación de dietas microalgales para el cultivo intensivo del copépodo tropical *Parvocalanus crassirostris*, analizaron cómo diferentes dietas algales afectan parámetros clave de la productividad, tales como la producción de huevos, éxito de eclosión, supervivencia de nauplios y copepoditos, tiempo de desarrollo post-embionario, crecimiento poblacional y razón de sexos. Las dietas utilizadas incluyeron tres dietas de algas vivas: *Isochrysis sp.* (T-Iso), *Parvola* (Pav) y la diatomea *Chaetoceros muelleri* (Cht); dos dietas en pasta de algas: *Isochrysis sp.* (P-Iso) y *Thalassiosira weissflogii* (P-TW); además de cuatro mezclas de algas: tres dietas binarias (T-Iso + Pav, T-Iso + Cht y Pav + Cht) y una tri-algal (T-Iso + Pav + Cht). Los resultados mostraron que todas las variables analizadas fueron significativamente influenciadas por el tipo de dieta. La dieta binaria T-Iso + Cht produjo la mayor producción total de huevos a lo largo de la vida de las hembras, con un promedio de  $121,0 \pm 5,9$  huevos, superando a los demás tratamientos ( $P < 0,05$ ). La supervivencia en las etapas de nauplio y copepodito fue significativamente mayor para *P. crassirostris* alimentado con la dieta mixta T-Iso + Cht o con dietas monoalgales de Cht, T-Iso ( $P < 0,05$ ) en comparación con las otras dietas. Estos tres tratamientos permitieron un desarrollo más rápido a la etapa adulta, entre 6,2 y 6,7 días. Con una población inicial de 100 adultos, la dieta T-Iso + Cht generó el mayor crecimiento poblacional durante 15 días de cultivo, significativamente mayor que las demás dietas ( $P < 0,001$ ). Por el contrario, las dietas en pasta de algas mostraron en general los peores resultados para los parámetros evaluados. En conclusión, la dieta recomendada para el cultivo intensivo de *P. crassirostris* fue la mezcla T-Iso + Cht.

**Anzueto (2014)**, en su tesis titulada *Efecto de la dieta y la temperatura en los parámetros poblacionales y en el valor nutricional del copépodo *Pseudodiaptomus euryhalinus* cultivado en laboratorio*, llevó a cabo un experimento, cuyo objetivo fue evaluar la producción poblacional de nauplios de *Pseudodiaptomus euryhalinus* al suministrarles distintas dietas basadas en microalgas. Para ello, seleccionó tres especies: *Isochrysis galbana* (I), *Chaetoceros* sp. (C) y *Tetraselmis suecica* (T), las cuales mezcló en proporciones 50:50, asegurando una biomasa seca total de 8 µg por tratamiento. El diseño experimental consistió en tres tratamientos (T1: I + C; T2: T + I; T3: C + T) con cuatro réplicas cada uno, empleando botellones de 2,5 litros con una densidad inicial de 2 copépodos/ml, aireación constante y un fotoperiodo de 8-16 horas luz/oscuridad, sumando un total de 12 unidades experimentales. Durante el cultivo, Anzueto Sánchez supervisó diariamente parámetros ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH; además, cada dos días evaluó la densidad y composición poblacional. En cuanto a los resultados, el investigador determinó los parámetros poblacionales de tiempo de duplicación (TD), tasa de crecimiento (TCE) y rendimiento (R). Observó que el tratamiento T1 (I + C) alcanzó la mayor densidad de nauplios, con una TCE de  $0,317693 \pm 0,05 \text{ días}^{-1}$ , un rendimiento de  $0,51 \pm 0,07 \text{ organismos ml}^{-1} \text{ día}^{-1}$  y un TD de  $2,36 \pm 0,34 \text{ días}$ , valores que se diferenciaron significativamente ( $p < 0,05$ ) de los otros tratamientos.

**Ochoa et al. (2019)**, en su estudio titulado *Population growth of the calanoid copepod Paracalanidae *Parvocalanus crassirostris* fed with different species of microalgae*, diseñaron un experimento para evaluar el efecto de distintas dietas microalgales sobre la eficiencia productiva de *Parvocalanus crassirostris*. El experimento se desarrolló en dos fases, siguiendo un diseño completamente aleatorizado con triplicados. En la primera fase, el equipo probó tres tratamientos dietéticos con combinaciones binarias de las microalgas *Isochrysis galbana* (I), *Chaetoceros* sp. (C) y *Tetraselmis suecica* (T), mezcladas en proporción 50:50: T1 (I + C), T2 (T + I) y T3 (C + T). Posteriormente,

en la segunda fase, evaluaron el tratamiento que mostró mejor desempeño en la fase I (T1) en distintas proporciones: T1 (70:30), T2 (50:50) y T3 (30:70). Para ambos experimentos, emplearon botellas con 2,5 litros de agua de mar, una densidad inicial de 2 copépodos/mL, aireación constante y un fotoperiodo de 8-16 horas luz/oscuridad, manteniendo una biomasa seca de 8 µg/mL. Durante el periodo de cultivo, registraron diariamente variables ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y cada dos días midieron la densidad y composición poblacional. Los parámetros poblacionales que analizaron fueron tiempo de duplicación (TD), tasa instantánea de crecimiento (K) y producción diaria (PD). El grupo observó que los nauplios alcanzaron una longitud total promedio de  $117,4 \pm 7,1$  µm y un ancho corporal de  $55,8 \pm 2,5$  µm. Dentro de los tratamientos evaluados, la mezcla de *I. galbana* y *Chaetoceros* sp. en proporción 70:30 presentó la mayor densidad de nauplios ( $6,44 \pm 0,29$  organismos/mL), además de registrar valores de  $K = 0,9 \pm 0,1$  días<sup>-1</sup>,  $PD = 2,7 \pm 0,1$  organismos/mL/día y  $TD = 0,8 \pm 0,1$  días, diferencias que fueron significativas ( $p < 0,05$ ) en comparación con las demás dietas. Finalmente, concluyeron que la dieta mixta de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros* sp. favorece una mayor eficiencia productiva en el cultivo intensivo de *Parvocalanus crassirostris* bajo las condiciones experimentales establecidas.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 La acuicultura**

La acuicultura, definida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como "el cultivo de organismos acuáticos (peces, moluscos, crustáceos, plantas acuáticas) en ambientes controlados o semicontrolados con intervención humana para aumentar la producción" (FAO, 2022), constituye una actividad fundamental para la seguridad alimentaria global al proveer más del 52 % del pescado consumido por humanos, aportando proteína animal de alta calidad, ácidos grasos esenciales y micronutrientes que combaten la desnutrición (Naylor et al., 2021). Asimismo, impulsa el desarrollo económico

mediante la generación de empleo en zonas rurales y costeras, fortaleciendo cadenas de valor como producción de alevines, alimentos balanceados y procesamiento, además de representar una fuente vital de divisas para países exportadores como Ecuador, Vietnam y Noruega (Banco Mundial, 2017).

Adicionalmente, contribuye a la conservación de especies amenazadas mediante programas de repoblación que reducen la presión sobre poblaciones silvestres (Southward & Fuiman, 2005), y sirve como plataforma para investigación en biotecnología, nutrición animal y genética aplicada (Gjedrem & Robinson, 2014). Su relevancia se refleja en su crecimiento anual del 5,3 %, con un valor económico estimado de USD 281 mil millones y una producción dominada por Asia (89 % del volumen global), liderada por China con el 57 % (FAO, 2022).

### **2.2.2 El alimento vivo en la acuicultura**

Lavens & Sorgeloos (1996) mencionan que el alimento vivo en la acuicultura desempeña un papel fundamental en las etapas tempranas del ciclo de vida de muchas especies cultivadas, especialmente en peces e invertebrados de alto valor comercial. Durante las primeras fases larvarias, muchos organismos marinos presentan requerimientos nutricionales específicos y aún no son capaces de consumir alimentos inertes, por lo que dependen del suministro de presas vivas como rotíferos, microalgas, nauplios de *Artemia* y copépodos.

**Las microalgas**, además de ser utilizadas directamente como alimento, también cumplen un rol clave en el enriquecimiento nutricional de otros organismos, mejorando su contenido de ácidos grasos esenciales como DHA y EPA, necesarios para un desarrollo larval óptimo (Muller-Feuga, 2000).

**Los rotíferos** son ampliamente empleados debido a su pequeño tamaño, facilidad de cultivo masivo y su aceptabilidad por una gran variedad de larvas marinas. Sin embargo, su perfil nutricional básico suele ser deficiente, por lo que comúnmente se enriquecen con emulsiones ricas en ácidos grasos poliinsaturados para cubrir las necesidades de las especies cultivadas (Dhert, et al., 2001).

**La Artemia**, por su parte, ha sido durante décadas uno de los principales alimentos vivos en acuicultura marina debido a su alto valor nutricional, disponibilidad comercial y facilidad de uso. Sin embargo, su uso excesivo puede presentar limitaciones en términos de calidad nutricional inconsistente, especialmente si no es enriquecida adecuadamente (Sorgeloos et al., 2001).

**los copépodos** han ganado interés como una alternativa superior en alimentación larval, ya que ofrecen un perfil lipídico más cercano al de las presas naturales de muchas especies marinas, además de tener un tamaño y movilidad que estimulan el comportamiento de caza de las larvas (Støttrup & Norsker, 1997). No obstante, el cultivo a gran escala de copépodos sigue enfrentando desafíos técnicos y económicos.

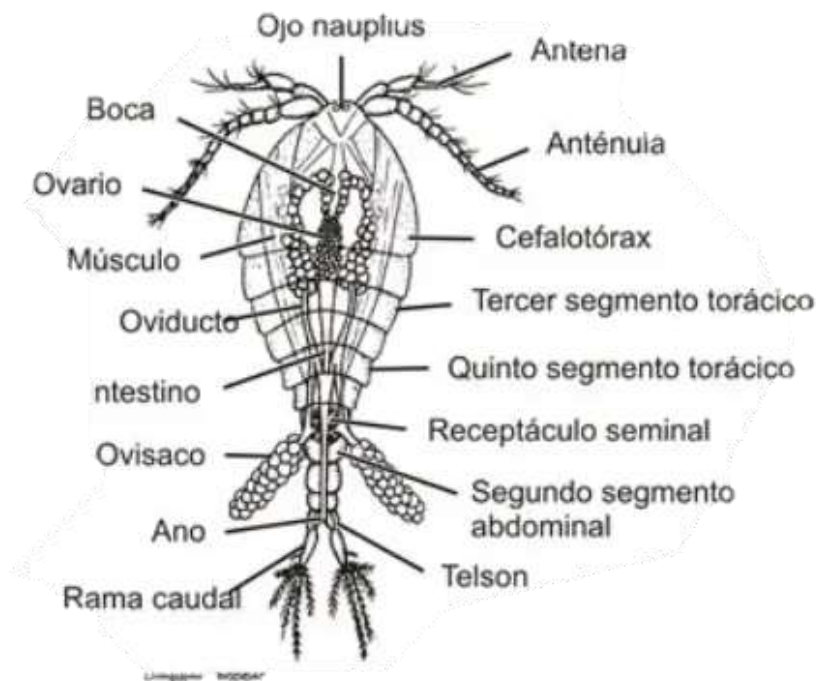
### **2.2.3 Los Copépodos**

Los copépodos son pequeños crustáceos planctónicos que "constituyen uno de los grupos más abundantes y ampliamente distribuidos en ambientes marinos, desempeñando un papel clave en las redes tróficas acuáticas" (Støttrup & Norsker, 1997). Estos organismos se destacan por su valor nutricional, ya que presentan altos niveles de ácidos grasos esenciales como DHA y EPA, fundamentales para el desarrollo óptimo de larvas de peces marinos existen distintos tipos de copépodos utilizados en acuicultura, principalmente los calanoides, harpacticoides y ciclopoideos, cada uno con características ecológicas y morfológicas particulares; en este contexto, los calanoides, al ser pelágicos y de mayor movilidad, son especialmente apropiados para el consumo larval en especies marinas.

La importancia de los copépodos en la acuicultura ha ido en aumento, ya que "su utilización ha demostrado mejorar significativamente la supervivencia, el crecimiento y la calidad morfológica de las larvas en comparación con otros alimentos vivos tradicionales como rotíferos y Artemia" (Karlsen et al., 2015). Así, su implementación en criaderos marinos representa una alternativa cada vez más valorada en la producción sostenible de peces e invertebrados marinos de alto valor comerci

## Figuras 1

*Vista dorsal de un copépodo*



*Nota.* Vista dorsal de un copépodo. Tomado de: Asturnatura, Crustaceos copepodos (2025)

### 2.2.3.1 Alimentación

La alimentación de los copépodos es sumamente diversa y depende tanto de la especie como de las condiciones ambientales; pero, en general, los copépodos tienen una gran variedad de hábitos alimenticios, los calanoides son filtradores selectivos y pueden alimentarse en forma preferente de una o varias especies de microalgas, aunque también hay especies que consumen una variedad de organismos zoopláctónicos incluyendo huevos de copépodos (Puello-Cruz et al., 2011). Por su parte, los harpacticoides son principalmente

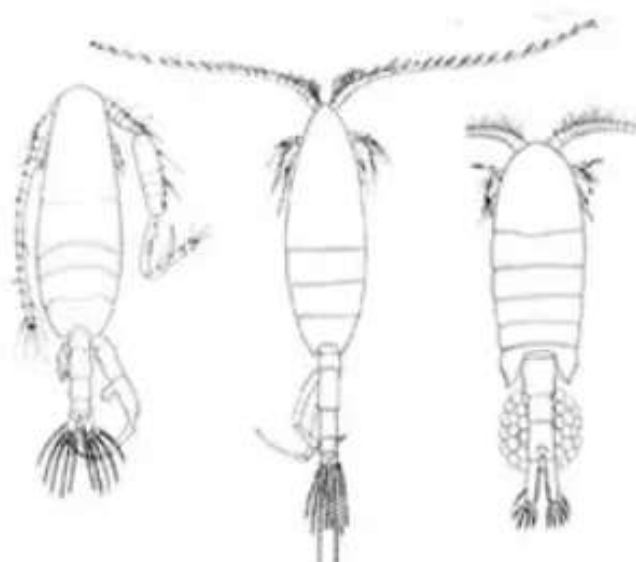
detritívoros y ramoneadores, alimentándose de bacterias, macroalgas, biofilm y microalgas, mientras que los ciclopoideos se consideran omnívoros y pueden alimentarse de organismos planctónicos y bentónicos, e incluso presentar canibalismo al consumir sus propios nauplios y copepoditos (Puello-Cruz et al., 2011). En el ámbito del cultivo, la calidad y cantidad de alimento disponible, así como la composición de la dieta, tienen un efecto directo sobre la productividad, el éxito reproductivo y la supervivencia de los copépodos, ya que el tipo de alimento, la calidad y cantidad de alimento disponible mejoran la productividad de los copépodos, en cuanto a la producción de huevos, el éxito de eclosión, el desarrollo (nauplio, copepodito, adulto) y la supervivencia (Gómez et al., 2011). Las dietas monoalgales pueden mostrar carencias de ciertos nutrientes esenciales, como ácidos grasos insaturados, esteroides o aminoácidos, mientras que las dietas plurialgales han mostrado un efecto positivo en las tasas de producción de huevos debido a la complementación de sus perfiles nutricionales, destacando la importancia del contenido de ácidos grasos de cadenas largas insaturadas (HUFA) y la relación DHA:EPA en la dieta suministrada (Santoyo, 2018).

A nivel experimental, numerosos estudios han evaluado los efectos de distintas microalgas sobre la alimentación. Por ejemplo, Martino et al. (2023) demostraron que *Acartia tonsa* alimentada con *Rhodomonas baltica* y *Isochrysis galbana* presentó tasas de ingestión y producción de huevos significativamente superiores a aquellas alimentadas con otras especies de algas menos nutritivas. De manera similar, Drillet et al. (2011) encontraron que “la calidad del alimento influye notablemente en la viabilidad de los huevos y el tiempo de desarrollo embrionario en cultivos de *Acartia tonsa*”, indicando una estrecha relación entre nutrición y éxito reproductivo. Además, se ha observado que la combinación de diferentes tipos de microalgas puede mejorar la eficiencia alimenticia. Según Klein Breteler et al. (1999), “las dietas mixtas ofrecen un mejor perfil de ácidos grasos esenciales y promueven un mayor rendimiento fisiológico en copépodos cultivados en condiciones controladas”.

Por otro lado, estudios como el de Blake y Marshall (2023), resaltan la importancia de los compuestos bioactivos presentes en ciertas microalgas, señalando que los niveles de EPA y DHA en la dieta afectan directamente la fecundidad y la viabilidad de los huevos en copépodos, lo cual es fundamental en contextos acuícolas. En este sentido, *Tetraselmis suecica*, *Chaetoceros muelleri* y *Nannochloropsis oculata* han sido empleadas en múltiples ensayos como fuentes nutricionales ricas en lípidos esenciales para el cultivo de copépodos marinos (Lee et al., 2005). La selección de microalgas con altos niveles de proteínas, pigmentos y ácidos grasos poliinsaturados se ha convertido en una estrategia clave para maximizar la productividad en cultivos intensivos de especies como *Temora longicornis* o *Pseudodiaptomus annandalei*.

## Figuras 2

Vista de tres tipos de copépodos calanoida



*Nota.* En la figura se muestra tres tipos de copépodos calanoida (*Calanus*, *Calocalanus*, *Acartia*). Tomado de: Asturnatura, Crustaceos copepodos (2025)

#### **2.2.4 Copépodos calanoides**

Los copépodos calanoides son crustáceos planctónicos que se distinguen por su cuerpo alargado y segmentado, así como por la clara separación entre el prosoma y el segmento genital. Presentan anténulas unirrámeas multisegmentadas que pueden alcanzar hasta 27 segmentos, las cuales utilizan activamente para nadar en la columna de agua y desplazarse de manera eficiente en ambientes pelágicos. Además, muestran una morfología externa diversa, con dimorfismo sexual evidente, y las hembras suelen portar sacos ovígeros en algunos casos. El cefalosoma, o parte anterior del cuerpo, integra el primer segmento del tronco y porta los maxilípedos, mientras que el urosoma constituye el segmento anal llevando las ramas caudales (Fernández, 2015).

Desde los primeros estudios sobre alimentación larval en peces marinos, los investigadores observaron que estos organismos “constituyen una de las presas naturales más comunes y eficaces para el desarrollo de larvas por su tamaño, movilidad y perfil nutricional (Herstoff et al., 2023). Su uso en acuicultura se remonta a experimentos realizados en las décadas de 1970 y 1980, donde se demostró que “los copépodos de orden calanoide mejoraban la supervivencia y el crecimiento larval frente a alimentos como los rotíferos y *Artemia* (Mauchline, 1998). Estos son esenciales por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como DHA y EPA, ya que contribuyen significativamente al desarrollo neural, visual e inmunológico de las larvas marinas (Tocher, 2010). Existen numerosos géneros de calanoides utilizados en acuicultura, entre los más comunes se encuentran *Acartia*, *Paracalanus*, *Pseudodiaptomus* y *Temora*, cada uno con propiedades particulares de reproducción, movilidad y tolerancia ambiental (Lee et al., 2005). Su creciente adopción en la acuicultura moderna se debe a que los calanoides permiten obtener larvas más saludables, con menor incidencia de deformidades y mayor resistencia al estrés post-larval. Sin embargo, su producción a gran escala aún presenta desafíos, dado que mantener cultivos estables y de alta densidad exige condiciones controladas de alimentación, salinidad y temperatura (Drillet et al., 2011). A pesar de ello, se consolidan como

un recurso clave para mejorar la calidad en los cultivos de especies marinas de alto valor.

#### **2.2.4.1 Ciclo de vida.**

El ciclo de vida de los copépodos calanoides se dividen en tres fases principales: nauplios, copepoditos y adultos, cada una con características morfológicas y funcionales distintas. Durante la fase naupliar, los individuos emergen del huevo con forma ovalada y un aparato locomotor simple basado en las antenas, y aunque las primeras etapas no se alimentan, a partir del nauplio III ya poseen estructuras bucales funcionales para ingerir microalgas (Støttrup y Norsker, 1997). Esta etapa representa el inicio del desarrollo, donde predominan funciones de movilidad básica y alimentación inicial. Al pasar a la fase copepodítica, los organismos desarrollan una morfología segmentada con apéndices torácicos y una forma más cercana al adulto, lo que les permite nadar con mayor precisión y aumentar su eficiencia alimenticia.

Según Drillet et al. (2011), “los copepoditos muestran diferencias claras entre sexos desde el estadio IV, y en el estadio V ya están próximos a la madurez sexual”. Finalmente, en la fase adulta, los copépodos presentan estructuras sexuales diferenciadas; en el caso de las hembras, pueden producir sacos ovígeros o liberar huevos directamente al agua, dependiendo de la especie (Lee et al., 2005). Por ejemplo, *Acartia tonsa* es una especie de desove libre, mientras que *Pseudodiaptomus annandalei* es ovígera, lo que influye en sus estrategias de cultivo (Hansen et al., 2010). Además, Mauchline (1998), señala que cada estadio está regulado por factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de alimento, lo que afecta la duración del ciclo completo, que puede ir de una a tres semanas.

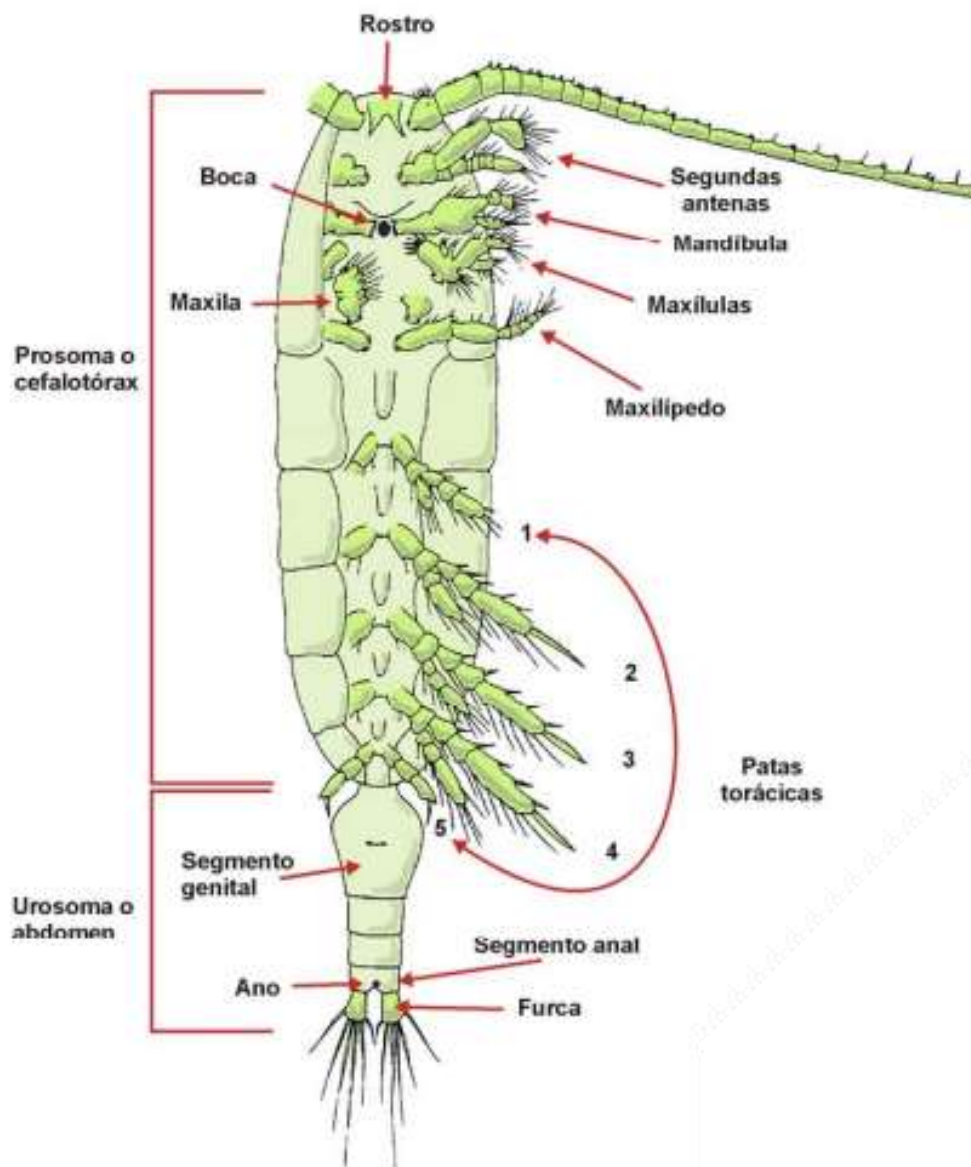
#### **2.2.4.2 Desplazamiento.**

El desplazamiento de los copépodos calanoides es fundamental para su supervivencia, ya que les permite encontrar alimento y evitar a los depredadores. De manera general, los copépodos calanoides ajustan su posición en la columna de agua en respuesta a la disponibilidad de alimento y a las condiciones

ambientales (Suárez & Gasca, 1989). Un comportamiento muy común es la migración vertical diaria, donde “los copépodos calanoides suben hacia la superficie durante la noche para alimentarse y descienden a aguas más profundas durante el día para protegerse de los depredadores (Olivar et al., 2014). Además, su forma de nadar cambia según la turbulencia del agua; por ejemplo, en condiciones de turbulencia moderada, algunos copépodos incrementan su actividad natatoria, aunque en turbulencias muy intensas esta estrategia deja de ser efectiva (Michalec et al., 2015). También, ciertas especies pueden “modificar el movimiento de sus antenas para mantenerse estables y facilitar la captura de alimento, incluso en aguas agitadas (Giuffre et al., 2019). Por último, tienen patrones de nado muy particulares, como trayectorias en espiral, que les ayudan a explorar mejor su entorno y encontrar alimento de manera eficiente (Bianco et al., 2013).

### Figuras 3

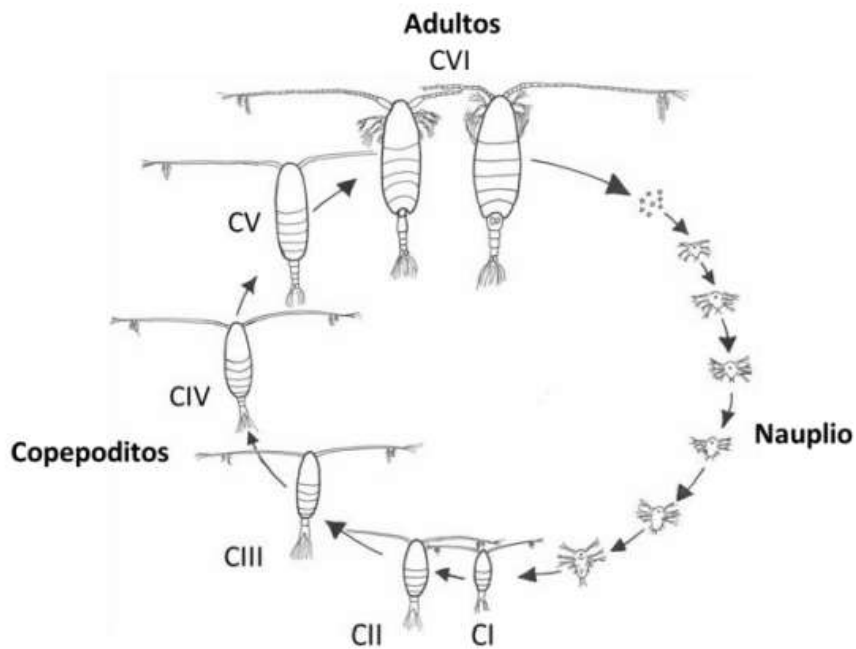
*Morfología externa de un copépodo calanoide*



*Nota.* En la figura, se muestra las partes morfológicas externas de manera general de un copépodo de orden calanoide (Gaona, 2019).

## Figuras 4

### Ciclo de vida de un copépodo calanoide



*Nota.* En la imagen, se observa el ciclo de vida que de los copépodos calanoides atraviesan una serie de transformaciones que incluyen seis etapas naupliarias seguidas de seis estadios post naupliarios denominados copepoditos, siendo el sexto estadio copepodito el que corresponde al individuo adulto (Fernández, 2015).

#### 2.2.4.3 Reproducción.

La reproducción de los copépodos calanoides involucra estructuras anatómicas especializadas y procesos biológicos precisos. Las hembras presentan un genital doble-somite que contiene los oviductos y glándulas secretoras responsables de la formación y protección de los huevos; como se describe, “la glándula ovígera secreta una membrana quitinosa que protege los huevos durante su desarrollo” (Drillet et al., 2011). Una vez formados, los huevos pueden ser liberados directamente al agua o adheridos temporalmente al cuerpo

de la hembra antes de su dispersión. Los machos, por su parte, poseen anténulas geniculadas modificadas que les permiten sujetar firmemente a la hembra durante la cópula, y utilizan sus patas nadadoras para transferir los espermátóforos a la abertura genital femenina, asegurando así la fecundación (Suárez-Morales & Palomares-García, 2012). En estudios realizados con *Parvocalanus crassirostris*, se ha observado que la glándula ovígera puede producir hasta 28 huevos por día en condiciones óptimas, con tasas de eclosión superiores al 90 % (Alajmi et al., 2015), lo que demuestra la alta eficiencia reproductiva de algunas especies. Además, el sistema endocrino juega un papel central en la regulación de la maduración gonadal, ya que coordina la liberación de hormonas necesarias para la producción de gametos; por ejemplo, la vitelogénesis en *Calanus finmarchicus* depende de la movilización de lípidos almacenados en el tejido adiposo (Mayor et al., 2009).

### **2.2.5 Cultivo de copépodos**

Los copépodos calanoides son considerados una de las mejores fuentes naturales de alimento debido a su contenido en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga como EPA y DHA (Støttrup y Norsker, 1997). Su cultivo permite suplir las limitaciones de otros alimentos vivos como la *Artemia*, especialmente en especies marinas con requerimientos nutricionales estrictos durante sus primeras etapas larvales. Según Lee et al. (2005), la producción controlada de copépodos representa una alternativa viable y cada vez más adoptada para mejorar la supervivencia y el crecimiento de larvas marinas en sistemas acuícolas.

En ambientes controlados, el cultivo de calanoides implica la regulación de factores clave como densidad, tipo de alimento, temperatura, salinidad y fotoperíodo. Drillet et al. (2011) indican que “es posible mantener cultivos estables de *Acartia tonsa* durante largos periodos, siempre que se controle la relación entre adultos y juveniles y se suministre una dieta adecuada de microalgas”. En los experimentos realizados, Peck & Holste (2006) mencionan que la densidad inicial y el manejo de la aireación son determinantes para evitar el colapso del cultivo.

En sus ensayos, encontraron que “una aireación suave reduce el estrés mecánico sobre los nauplios y aumenta el rendimiento reproductivo de los adultos en sistemas semicontinuos”.

El sistema de cultivo también puede influir significativamente en la productividad. Milione & Zeng (2008) compararon sistemas discontinuos, semicontinuos y continuos para el cultivo de *Parvocalanus crassirostris*, concluyendo que “el sistema semicontinuo permite un mejor control de la biomasa y una producción constante de nauplios sin afectar la tasa de reproducción”. Asimismo, Rayner et al. (2017), lograron establecer cultivos eficientes de *Pseudodiaptomus annandalei* utilizando tanques de 500 litros con recambio parcial diario y alimentación basada en *Isochrysis galbana*, evidenciando una mejora significativa en la producción de huevos y nauplios viables.

Factores ambientales también han sido objeto de estudio detallado. Shayegan et al., observaron que “la temperatura afecta directamente el desarrollo embrionario y la tasa de eclosión en *Acartia tonsa*, siendo óptimas las condiciones entre 22 y 26 °C” (2016). A su vez, Santhanam et al. (2018), señalan que la salinidad ideal varía según la especie, pero en general “los calanoides toleran un rango entre 20 y 35 %, con mejores resultados en condiciones estables”.

### **2.2.6 Parámetros físico químicos del cultivo de copépodos**

El cultivo exitoso de copépodos calanoides en condiciones controladas requiere la regulación cuidadosa de parámetros físico-químicos del agua, ya que estos influyen directamente sobre la supervivencia, el crecimiento, la reproducción y la calidad nutricional de estos organismos. Como señalan Støttrup & Norsker(1997), “la salinidad, la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH son factores críticos que afectan los procesos fisiológicos de los copépodos, especialmente en las etapas larvarias más sensibles”. En cultivos marinos, estos parámetros deben mantenerse estables y dentro de rangos óptimos, evitando fluctuaciones que puedan inducir estrés o mortalidad.

**La temperatura** es uno de los factores físico-químicos más relevantes en el cultivo de copépodos calanoides, ya que afecta directamente el metabolismo, el crecimiento y la reproducción. “El rango óptimo de temperatura para el desarrollo de *Acartia tonsa* se encuentra entre 20 y 24 °C, donde se obtienen las mayores tasas de eclosión y desarrollo naupliar” (Shayegan et al., 2016). A temperaturas más altas, cercanas a los 28 °C, la tasa reproductiva disminuye y la mortalidad aumenta, mientras que, a temperaturas inferiores a 15 °C, el desarrollo se vuelve significativamente más lento. Esta sensibilidad térmica obliga a mantener un control constante, especialmente en cultivos intensivos.

**La salinidad** es otro parámetro crucial que debe ajustarse según la especie de copépodo cultivada. En el caso de *Acartia tonsa*, una especie ampliamente utilizada, “los niveles óptimos de salinidad se encuentran entre 25 y 35 ‰, donde se alcanzan mayores tasas de reproducción y supervivencia” (Drillet et al., 2011). Salinidades más bajas (por debajo de 20 ‰) afectan negativamente la fecundidad, ya que influyen en la osmorregulación y el equilibrio iónico de los organismos. La capacidad de tolerancia varía entre especies e incluso entre cepas de una misma especie.

**El pH** del medio de cultivo debe mantenerse dentro de rangos ligeramente alcalinos para favorecer los procesos fisiológicos de los copépodos. “Los valores óptimos de pH para cultivos de copépodos calanoides se encuentran entre 7,8 y 8,2; fuera de este rango, se pueden presentar alteraciones en el metabolismo y la reproducción” (Støttrup et al., 1986). Desviaciones sostenidas pueden generar estrés o incluso mortalidad, especialmente en los estadios juveniles más sensibles. El control del pH también está relacionado con la gestión del sistema de aireación y la producción de dióxido de carbono.

**El oxígeno disuelto** es vital para el metabolismo aeróbico de los copépodos. Según Williamson et al., los niveles de oxígeno deben mantenerse por encima de los 5 mg/L para evitar hipoxia, especialmente en sistemas de alta densidad (2020). La insuficiencia de oxígeno puede provocar letargo, reducción en la ingesta alimentaria y mortalidad masiva. Es común utilizar sistemas de

aireación con difusores de burbuja fina o recirculación forzada para asegurar una adecuada oxigenación en el cultivo.

**El Amoniaco** es un problema frecuente en cultivos intensivos. Este compuesto, producto del metabolismo nitrogenado, puede alcanzar niveles tóxicos si no se controla. “El amoníaco no ionizado ( $\text{NH}_3$ ) es altamente tóxico para los copépodos, y su concentración debe mantenerse por debajo de 0,02 mg/L” (Han et al., 2022). La toxicidad aumenta con el incremento de temperatura y pH, por lo que estos parámetros deben controlarse conjuntamente. La renovación parcial del agua, el uso de biofiltros y la baja densidad son estrategias comunes para evitar su acumulación.

**El fotoperiodo y la iluminación** influye en su comportamiento reproductivo y en la producción de microalgas en cultivos combinados. “Un fotoperiodo de 16:8 h (luz:oscuridad) ha demostrado favorecer la sincronización de la oviposición en *Acartia tonsa*” (Kjørboe, 2008). Además, una iluminación indirecta puede estimular el crecimiento de microalgas si se mantiene una baja intensidad (1000–3000 lux), mejorando la oferta de alimento in situ.

### **2.2.7 Alimentación en el cultivo de copépodo**

En el cultivo de copépodos calanoides, la elección de la dieta es uno de los factores más importantes para garantizar una producción eficiente y sostenible. De manera general, “los copépodos calanoides se alimentan principalmente de microalgas, y su rendimiento en cultivo depende en gran medida de la calidad y composición nutricional del alimento proporcionado” (Støttrup & Norsker, 1997). Las microalgas no solo constituyen la fuente de energía y nutrientes esenciales para su crecimiento, sino que también afectan su reproducción, longevidad y valor nutricional como alimento vivo. Según Mauchline (1998), “las especies fitoplanctónicas utilizadas deben tener tamaños adecuados, alto contenido proteico, buena digestibilidad y una proporción equilibrada de ácidos grasos esenciales”.

Numerosos estudios experimentales han evaluado el impacto de diferentes microalgas sobre el desarrollo y la fecundidad de los copépodos calanoides. Por ejemplo, Klein et al. (1999) demostraron que *Temora longicornis* alimentada con una combinación de *Rhodomonas sp.* y *Thalassiosira weissflogii* mostró un incremento en la tasa de crecimiento y una mayor producción de huevos que con dietas monoespecíficas. De manera similar, Martino et al. (2023) encontraron que “la ingestión y producción de huevos en *Acartia tonsa* fueron significativamente mayores cuando se utilizó *Rhodomonas baltica* como alimento comparado con otras microalgas como *Dunaliella tertiolecta*”. Esto se atribuye a que las microalgas criptofíceas y algunas diatomeas presentan altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados como EPA y DHA, esenciales para la reproducción.

Además, se ha demostrado que las dietas mixtas tienden a mejorar la eficiencia alimentaria. Según Blake & Marshall (2023), la diversidad dietética puede compensar deficiencias nutricionales individuales de cada microalga, promoviendo una mayor eficiencia reproductiva y mejores tasas de supervivencia. Esta estrategia ha sido adoptada en cultivos comerciales donde se combinan especies como *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis suecica* y *Chaetoceros muelleri*, obteniendo resultados positivos en el cultivo de especies como *Pseudodiaptomus annandalei* (Rayner et al., 2017).

Algunos investigadores han evaluado también dietas alternativas y de bajo costo, como el uso de microalgas concentradas o alimentos secos. Shayegan et al. (2016) mencionan que “aunque las dietas artificiales pueden mantener ciertos parámetros básicos de supervivencia, no logran igualar la eficiencia reproductiva alcanzada con microalgas frescas vivas”. Por esta razón, la tendencia en sistemas intensivos continúa siendo el uso de cultivos algales in situ, aunque se investiga cada vez más la suplementación con lípidos, proteínas y emulsiones enriquecidas para mejorar el valor nutricional final de los copépodos.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Área de trabajo

La presente investigación se llevó a cabo en el marco del proyecto *Producción experimental de copépodos calanoides nativos de alto contenido nutricional con valor en la acuicultura marina*, desarrollado por la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG). El trabajo se realizó en el Laboratorio Marino Costero de Vila Vila, perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, ubicado en el kilómetro 1304 de la Panamericana Sur, en el distrito de Sama, provincia y región de Tacna.

#### Figuras 5

*Vista satelital del laboratorio marino costero de Vila Vila*



*Nota.* En la Imagen, se puede apreciar una vista satelital del laboratorio Marino costero de vilavila. Tomada de Google Earth (2024).

## **3.2 Tipo, diseño y nivel de investigación**

### **3.2.1 Tipo de investigación**

Debido a que la finalidad de este trabajo es evaluar el impacto de la variable independiente sobre la variable dependiente, se considera una investigación de tipo aplicada (Hernández et al., 2014). El propósito es desarrollar y poner en práctica un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodos marinos (orden: calanoide) en un ambiente de laboratorio controlado.

### **3.2.2 Diseño de investigación**

Una investigación con diseño experimental implica la manipulación deliberada de una o más variables independientes para observar cómo afectan a una o varias variables dependientes (Hernández et al., 2014). En este caso, el estudio se clasifica como experimental porque se llevan a cabo diversas pruebas para establecer un protocolo de mantenimiento de una cepa de copépodos marinos (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio.

### **3.2.3 Nivel de investigación**

Una investigación de nivel explicativo busca identificar las causas o factores que originan un fenómeno, mediante el análisis riguroso de la relación entre variables (Hernández et al., 2014). En este caso, el estudio se clasifica como explicativo porque se pretende determinar el efecto de distintos tipos de dietas de microalgas sobre la tasa de crecimiento poblacional y tasa de ingesta en una especie de copépodo calanoide, bajo condiciones controladas de laboratorio. Para ello, se manipula deliberadamente la variable alimento (variable independiente) y se evalúan los cambios en las variables dependientes, como el número de individuos producidos o su tasa de consumo, con el fin de establecer relaciones de causa y efecto.

### 3.3 Operacionalización de variables

#### 3.3.1 Variable dependiente: indicadores

Mantenimiento de copépodos marinos nativos (orden: calanoide)

- Conteo de individuos tales como: # nauplios # copepoditos #Adultos (ind/ml)

#### 3.3.2 Variable independiente: indicadores

Dietas microalgales

- Densidad celular de *Isochysis galbana* y *Chaetoceros sp.* (cel/ml)

**Tabla 1**

*Cuadro de operación de variables*

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA
VARIABLE DEPENDIENTE	Mantenimiento de copépodos marinos nativos (orden: calanoide)	# Nauplios # copepoditos #Adultos	# de Individuos	Organismos del orden Calanoida presentes en el cultivo	Conteo directo bajo microscopio
VARIABLE INDEPENDIENTE	Dietas microalgales	Densidad celular de <i>Isochysis galbana</i> y <i>Chaetoceros sp.</i>	# Cel/mL	Cantidad de microalgas suministradas como alimento	Recuento celular con cámara de Neubauer

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población en este estudio correspondió a todos los copépodos (orden: calanoide) marinos nativos capturados y aislados en el laboratorio marino costero de vila vila en la región de Tacna.

#### **3.4.2 Muestra:**

Se utilizó de muestra a una especie de copépodo (orden: calanoide) marino nativo aislado y adaptado a condiciones de laboratorio.

### **3.5 Materiales y equipos de laboratorio**

#### **3.5.1 Maquinaria de laboratorio**

- Microscopio
- Estereoscopio
- Fotómetro
- Pipeta automática
- Termómetro digital
- Refractómetro
- Estufa
- Climatizador
- Cámara digital de microscopía

#### **3.5.2 Implementos**

- Malla para zooplancton de 50 micras
- Tamiz de malla (20, 55, 105, 150, 200, 300 y 500  $\mu\text{m}$ )

#### **3.5.3 Materiales de origen biológico**

- Microalgas: *Isochrysis galbana* y *chaetoceros sp.*
- Copépodos de una especie de orden calanoide.

#### **3.5.4 Elementos de cristal**

- Beaker de vidrio de borosilicato de 100ml / 500mL / 1000 mL
- Placa Petri vítrea
- Placa portaobjetos
- Cubreobjetos de vidrio
- Cámara de conteo celular (Neubauer)
- Lámina cubreobjetos para cámara de Neubauer

#### **3.5.5 Suministros plásticos**

- Conducto plástico para acuario
- Placa Petri con 6 divisiones
- Uniones para tubos de acuario
- Llaves de paso para tubos de acuario
- Cubetas de 20 y 10 litros
- Beaker plástico de 500 y 1000 mL

#### **3.5.6 Elementos de protección personal**

- Mandil impermeable
- Guante de goma
- Guante médico
- Cubrebocas
- Gorro desechable
- Botines impermeables

#### **3.5.7 Productos de limpieza**

- Hipoclorito de sodio al 4 %
- Escobillón para frascos
- Jabón líquido
- Cepillo de laboratorio

### **3.5.8 Artículos de papelería**

- Computador portátil
- Agenda
- Lapiceros
- Máquina de impresión

### **3.5.9 Sustancias químicas**

- Solución yodada
- Alcohol sanitario al 70 % y 96 %
- Agua salada esterilizada por UV.
- Agua desionizada ( esterilizada )
- Agua no salada

## **3.6 Metodología experimental**

### **3.6.1 Procedimiento para separar e identificar una especie de copépodo Calanoida**

#### **3.6.1.1 Área de muestreo.**

Para el muestreo, se utilizó una embarcación que nos trasladó a 450 metros de la orilla en las playas de Tacna. Una vez en la zona de colecta, se emplearon mallas de zooplancton de 50 micras para realizar un barrido en la superficie del agua durante 10 minutos. Posteriormente, la muestra retenida en la malla se recolectó en frascos de vidrio de 1 litro de capacidad. Para llenar cada frasco, fue necesario realizar dos barridos, obteniendo un total de tres frascos por zona.

Con el fin de mantener las muestras a una temperatura estable, se almacenaron en hieleras con gel packs. Además, en la zona de colecta, se midieron parámetros ambientales como la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH del agua.

### **3.6.1.2 Adaptación de las muestras.**

Una vez finalizada la recolección, las muestras fueron transportadas al laboratorio y depositadas en un tanque de 500 litros, previamente acondicionado con agua de mar filtrada por luz ultravioleta (UV), a una temperatura controlada de  $18 \pm 1^\circ\text{C}$  y una salinidad de  $35 \pm 1$  UPS, además de contar con un sistema de aireación leve para asegurar la oxigenación adecuada del medio. Para minimizar el estrés térmico en los copépodos, las botellas de vidrio que contenían las muestras se introdujeron en el tanque sin verter su contenido, permitiendo que permanecieran allí durante 10 minutos. Este procedimiento facilitó la igualación de la temperatura entre el interior de los frascos y el agua del tanque, evitando así un posible shock térmico que podría afectar negativamente la supervivencia y el comportamiento de los copépodos capturados.

Transcurrido este periodo de aclimatación, la muestra fue tamizada cuidadosamente utilizando un colador de 500 micras, con el objetivo de separar y eliminar posibles depredadores, como larvas de peces y medusas, que podrían alimentarse de los copépodos y alterar la composición de la muestra. Este paso es fundamental para asegurar la integridad de la población de copépodos y garantizar la validez de los análisis posteriores. Además, se les suministro alimento a saciedad con una dieta mixta de *Isochrysis galbana* y *chaetoceros sp.*

### **3.6.1.3 Selección y reconocimiento de copépodos.**

Transcurridas 24 horas de adaptación de las muestras en el tanque, se procedió a extraer pequeñas cantidades de agua, aproximadamente 5 litros, utilizando baldes. El objetivo de este procedimiento fue seleccionar copépodos adultos que presenten las características morfológicas típicas del orden Calanoida, reconocibles principalmente por su “comportamiento planctónico y la presencia de anténulas largas y multisegmentadas” (Mauchline, 1998).

Para la selección, se tomaron alícuotas de 50 ml del agua recolectada y se depositaron en placas Petri. Estas muestras fueron observadas bajo un estereoscopio, y mediante el uso de una pipeta Pasteur se capturaron cuidadosamente los copépodos identificados. Posteriormente, los ejemplares

seleccionados se colocaron en portaobjetos para ser fotografiados bajo el microscopio, documentando detalles morfológicos relevantes.

Las imágenes obtenidas se compararon con claves taxonómicas especializadas, lo que permitió confirmar el reconocimiento de los copépodos como pertenecientes al orden Calanoida. Los individuos con características similares a la orden calanoide se transfirieron a beakers de 500 a 1000 ml, los cuales fueron llevados a la sala de cultivo, donde permanecieron bajo condiciones controladas y parámetros establecidos.

### **3.6.2 Cuidado y manejo de cepas**

En la sala de cultivo, los beakers que contenían los copépodos seleccionados fueron cuidadosamente colocados dentro de baldes con una capacidad de entre 10 y 20 litros, los cuales ya contaban con parámetros ambientales previamente establecidos. La temperatura del agua se mantuvo constante en  $18 \pm 1$  °C, mientras que la salinidad se ajustó a  $35 \pm 1$  UPS. Además, se proporcionó una iluminación controlada de  $400 \pm 100$  lux y se estableció un fotoperiodo fijo de 12 horas de luz (de 8:00 a 20:00 horas), seguido de 12 horas de oscuridad para simular las condiciones naturales del ambiente marino.

Durante todo el proceso, los cultivos recibieron una aireación suave y continua de un aproximado de una burbuja/ segundo, para asegurar una adecuada oxigenación del agua y evitar la sedimentación de las microalgas utilizadas como alimento. La alimentación se realizó una vez al día, suministrando *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros sp.* hasta alcanzar la saciedad de los copépodos mediante el método ad libitum.

Para mantener la calidad del agua y prevenir la acumulación de desechos, se efectuaron recambios parciales de agua cada siete días.

### **3.6.3 Identificación de la especie**

Para la identificación exacta, se solicitó un servicio de secuenciación de ADN. Según Bucklin et al. (2016), el procedimiento para la secuenciación de ADN en zooplancton consiste en recolectar y filtrar las muestras, extraer el ADN,

amplificar regiones específicas mediante PCR (usualmente genes como COI o 18S rRNA), preparar las bibliotecas y realizar la secuenciación masiva, seguida de un análisis bioinformático para la identificación taxonómica.

Para el transporte de los individuos, se empleó un protocolo de fijación con glicerina específico para microcrustáceos. Inicialmente, los copépodos fueron sumergidos en formalina al 10 % durante 24 horas para su fijación. Posteriormente, las muestras se lavaron cuidadosamente con agua destilada y se sometieron a un proceso de deshidratación gradual, el cual consistió en sumergirlas sucesivamente en soluciones de alcohol de concentración creciente —30 %, 50 % y finalmente 100 %—, manteniéndolas entre 10 y 15 minutos en cada una. Una vez completada la deshidratación, las muestras se transfirieron a una solución de glicerina al 50 % y se dejaron reposar durante varias horas. Finalmente, los copépodos se colocaron en una solución de glicerina al 70 % para su conservación y transporte adecuado.

### **3.6.4 Experimentación**

#### **3.6.4.1 Prueba 1: Determinar la tasa de filtración de un cultivo de copépodo marino (orden: calanoide).**

Para la prueba 1, se determinó la tasa de filtración de los copépodos marinos del orden Calanoida, evaluando tres estadios de desarrollo: nauplio, copepodito y adulto. El objetivo fue analizar si existían diferencias en la filtración según el estadio y el tipo de dieta suministrada. Se aplicaron tres tratamientos dietéticos: T1, con *Isochrysis galbana* a una densidad de  $10^4$  células/mL; T2, con *Chaetoceros sp.* a  $10^4$  células/mL; y T3, una dieta mixta compuesta por *Isochrysis galbana* a  $3,4 \times 10^3$  células/mL y *Chaetoceros sp.* a  $6,6 \times 10^3$  células/mL.

En el caso de los adultos, estos fueron recolectados mediante tamices de 200  $\mu\text{m}$  y depositados en placas Petri de seis pocillos, con una densidad de un individuo por cada 10 mL y un volumen útil de 10 mL por pocillo. Se realizaron cinco repeticiones por tratamiento y una de control, manteniendo condiciones constantes de temperatura  $18^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , salinidad  $35 \pm 1$  UPS e iluminación  $300 \pm 100$  lux. El tiempo de exposición para la filtración fue de dos horas.

Para los copepoditos, la recolección se llevó a cabo utilizando tamices de 150  $\mu\text{m}$ , tras separar previamente los adultos con un tamiz de 200  $\mu\text{m}$ . Los copepoditos se depositaron también en placas de seis pocillos, a una densidad de dos individuos por cada 10 mL, bajo las mismas condiciones ambientales y con igual número de repeticiones y controles que en el caso de los adultos.

En cuanto a los nauplios, se emplearon tamices de 55  $\mu\text{m}$ , tras separar los copepoditos con un tamiz de 105  $\mu\text{m}$ . Los nauplios se colocaron en vasos de precipitados de 100 mL, a una densidad de cinco nauplios por mililitro y un volumen útil de 90 mL, con un aproximado de 450 nauplios en total por vaso precipitado. Se realizaron cinco repeticiones por tratamiento, manteniendo los mismos parámetros ambientales durante 24 horas, el proceso es diferente debido al tamaño de los nauplios.

La tasa de ingesta se calculó aplicando la fórmula de Frost (1972), que considera el volumen experimental, el número de individuos, la concentración inicial y final de microalgas, y el tiempo de exposición. Para garantizar la precisión de los resultados, se utilizó una cámara de Neubauer para los conteos celulares y se incluyeron controles sin copépodos, a fin de descartar la sedimentación espontánea de las algas.

#### **3.6.4.2 Prueba 2: Determinar el crecimiento poblacional de un cultivo de copépodo marino (orden: calanoide)**

Bajo un diseño experimental de tres tratamientos y tres repeticiones, se evaluaron 20 individuos de copépodos calanoide por réplica, alojados en vasos de precipitados de 1 litro con 800 ml de agua de mar UV filtrada. Las condiciones ambientales controladas fueron: temperatura constante de  $18 \pm 1^\circ\text{C}$ , salinidad de  $35 \pm 1$  UPS, iluminación de  $400 \pm 50$  lux y fotoperiodo 12:12 h luz:oscuridad. Las dietas probadas fueron: *Isochrysis galbana*  $2,5 \times 10^4$  células/mL, *Chaetoceros sp.*  $2,5 \times 10^4$  células/mL y una dieta mixta 1:2 de *Isochrysis galbana* a  $8,3 \times 10^3$  células/mL y *Chaetoceros sp.* a  $16,6 \times 10^3$  células/mL. El experimento duró 10 días, con evaluaciones cada 24 horas.

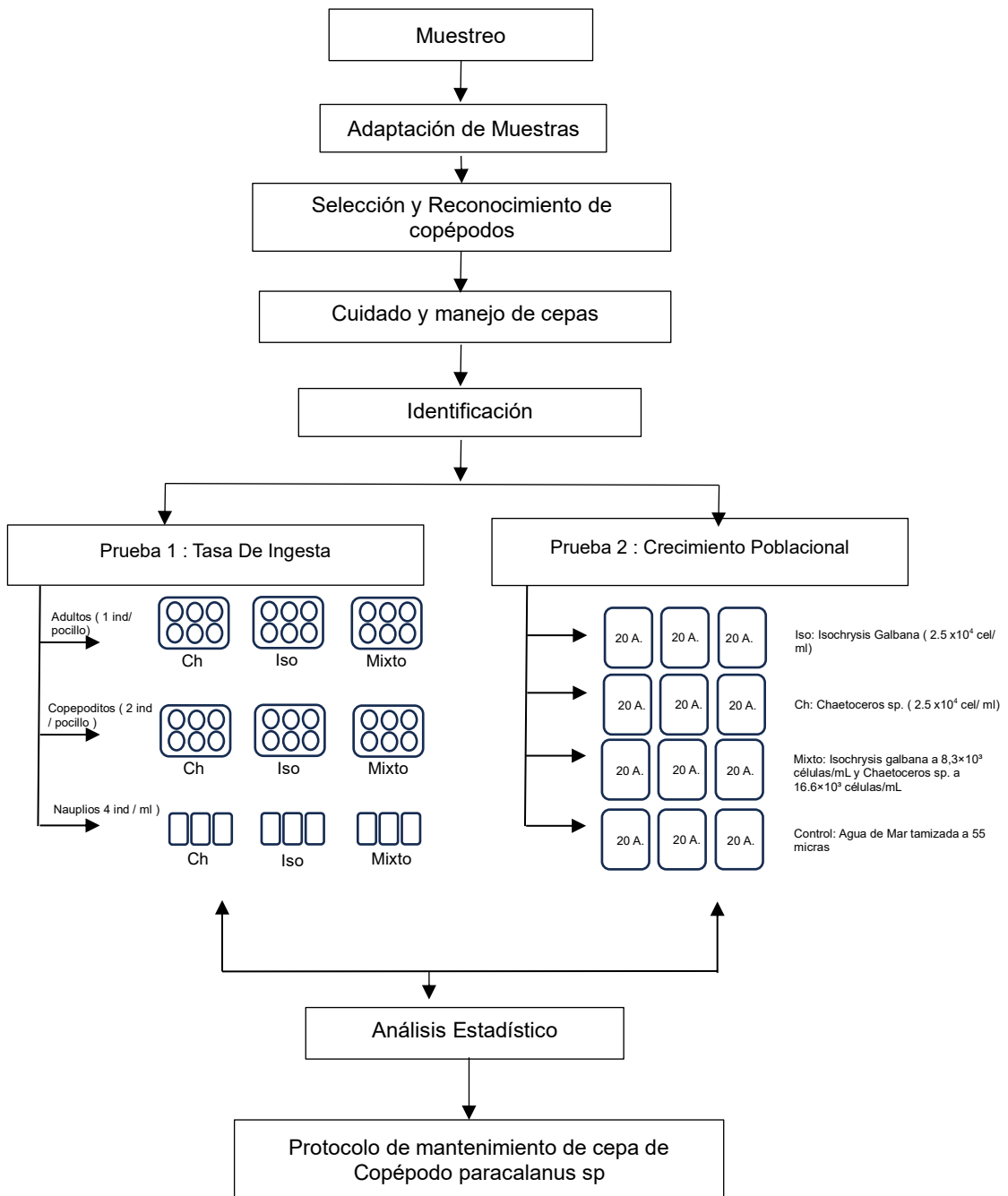
### **3.6.5 Programa estadístico**

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando la versión 2.0.0501 del software estadístico RStudio, desarrollado por RStudio, Inc. Todos los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad mediante la prueba de Shapiro y a pruebas de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Bartlett. La evaluación de los datos se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) de una vía, seguido de la prueba post-hoc de Tukey. En casos donde los supuestos no se cumplieron, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar las diferencias entre tratamientos, y la prueba de Dunnett se utilizará para determinar grupos homogéneos.

### 3.6.6 Diseño experimental

Figuras 6

Diagrama del método experimental aplicado en el trabajo de investigación



Nota. Elaboración propia (2025)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Parámetros físico-químico de zonas de colecta

En los muestreos realizados durante el mes de septiembre en las zonas costeras de Tacna, El Toro, Playita Brava, Tomoyo y Vila Vila, cuyos resultados ambientales mostraron condiciones térmicas del agua similares, con valores entre 16,2°C (Tomoyo) y 17,7°C (Playita Brava) y un promedio de 17°C, mientras que la temperatura ambiental fue ligeramente superior, oscilando entre 22°C y 23,3°C. El oxígeno disuelto presentó marcadas diferencias, desde un mínimo de 8,8 mg/L en Playita Brava hasta un máximo de 15,3 mg/L en Vila Vila (promedio 11 mg/L), variación que podría relacionarse con la dinámica local del agua. Por el contrario, el pH se mantuvo constante (7,8-7,9) y la salinidad fue homogénea en todas las estaciones (35 ppt). Finalmente, la turbidez, medida con disco Secchi, varió entre 3 m (Playita Brava) y 5 m (El Toro y Vila Vila), con un promedio de 5 m, destacando Playita Brava como la zona con menor transparencia

**Tabla 2**

*Parámetros físico-químicos en zonas costeras mar adentro de Tacna durante el mes de septiembre*

Parámetros	El toro	Playita brava	Tomoyo	Vila vila	Promedio
T° Agua (°C)	17,3	17,7	16,2	16,3	17
T° amb (°C)	23	23,3	22,5	22	23
Oxigeno mg/l	9,2	8,8	13,4	15,3	11
Ph	7,8	7,8	7,8	7,9	8
Salinidad	35	35	35	35	35
Turbidez (m)	5	3	4	5	5

*Nota.* Elaboración propia (2025)

#### 4.2 Identificación de la especie

Para la identificación en campo se emplearon claves taxonómicas (Palomares et al., 1998 y Suárez et al., 2015), que permitieron confirmar que los ejemplares recolectados pertenecían al orden Calanoide mediante la observación de características morfológicas distintivas. Posteriormente, el servicio de secuenciación de ADN aplicada a las muestras enviadas, permitió identificar con precisión la especie a *Paracalanus spp.*

#### Figuras 7

*Copépodo Calanoide Paracalanus sp.*



*Nota.* En la imagen, se aprecia un copépodo paracalanus sp.

### 4.3 Experimentación

#### 4.3.1 Prueba 1: Tasa de ingestión por estadio de desarrollo y tipo de dieta de microalgas.

**Adultos:** Los datos recolectados sobre la tasa de ingestión en adultos fueron analizados mediante un ANOVA, el cual no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $F = 2,11$ ,  $p = 0,348$ ), considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

En la figura 8, se muestra que, si bien no se detectaron diferencias significativas entre las dietas ( $p > 0,05$ ), el tratamiento 3, correspondiente a la dieta mixta, presentó la media más alta de ingestión ( $1542 \pm 186,3$  cel/ind·h), seguido por *Isochrysis galbana* en el tratamiento 1 ( $1500 \pm 93,1$  cel/ind·h) y *Chaetoceros sp.* en el tratamiento 2 ( $1333 \pm 279,5$  cel/ind·h).

**Tabla 3**

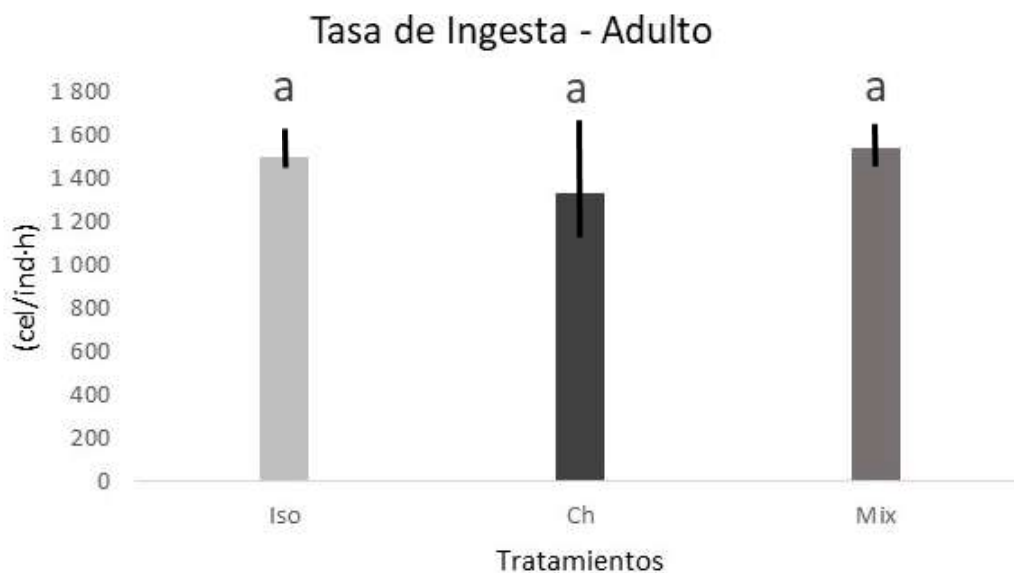
ANOVA de tasa de ingestión con diferentes dietas en *Paracalanus spp.* en estadio adulto.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	Valor F	Valor P
<b>Treat</b>	2	121 473	60 736	2,1101	0,3482
<b>Residuals</b>	12	486 307	40 526		

Nota. Elaboración propia (2025), donde: **Treat:** Tratamientos, **Residuals:** Error, **Df:** Grados de Libertad, **Sum Sq:** Suma de Cuadrados, **Mean Sq:** Cuadrados Medios.

## Figuras 8

Tasa de ingesta en la etapa adulto del copépodo *paracalanus spp.*



*Nota.* Elaboración propia. Donde: Iso: ***Isochrysis galbana*** (tratamiento 1), Ch: ***Chaetoceros sp.*** (tratamiento 2), Mix: **Dieta Mixta; *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*** (tratamiento 3).

**Copepoditos:** Los datos recolectados sobre la tasa de ingestión en copepoditos fueron analizados mediante un ANOVA, el cual reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $F = 10,461$ ,  $p = 0,005$ ). Este resultado indica que al menos una de las dietas tuvo un efecto diferencial sobre la tasa de ingestión, considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

En la figura 9, se evidencia que la dieta mixta (tratamiento 3) generó los valores más altos de ingestión, con una media de  $(875 \pm 157,9 \text{ cel/ind}\cdot\text{h})$ , siendo significativamente superior a los valores registrados en el tratamiento 2 con *Chaetoceros sp.* ( $417 \pm 73,6 \text{ cel/ind}\cdot\text{h}$ ) y en el tratamiento 1 con *Isochrysis galbana* ( $458 \pm 57,1 \text{ cel/ind}\cdot\text{h}$ ).

**Tabla 4**

*ANOVA de tasa de ingestión con diferentes dietas en Paracalanus spp. en estadio copepodito*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
<b>Treat</b>	2	641 472,53	320 736,27	10,461	0,005351
<b>Residuals</b>	12	134 785,20	11 232,10		

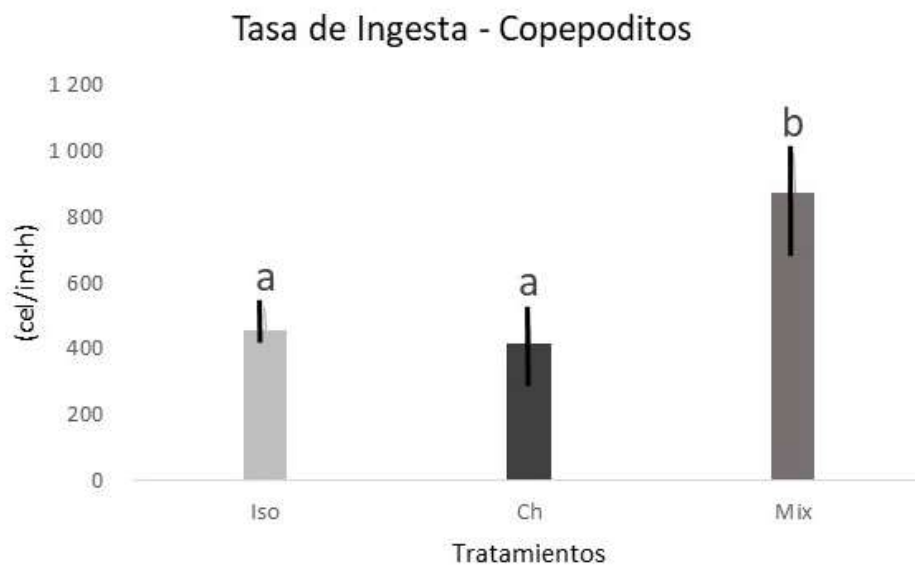
*Nota.* Elaboración propia (2025) donde: **Treat:** Tratamientos, **Residuals:** Error, **Df:** Grados de Libertad, **Sum Sq:** Suma de Cuadrados, **Mean Sq:** Cuadrados Medios.

**Nauplio:** Los datos recolectados sobre la tasa de ingestión en nauplios fueron analizados mediante un ANOVA, el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $F = 1,177$ ,  $p = 0,341$ ), considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

En la figura 10, se observa que, aunque no se detectaron diferencias significativas entre las dietas ( $p > 0,05$ ), el tratamiento 2, correspondiente a la dieta con Chaetoceros Sp, presentó la media más alta de ingestión ( $1,20 \pm 0,05$  cel/ind·h), seguido del tratamiento 3 con dieta mixta ( $1,16 \pm 0,04$  cel/ind·h) y el tratamiento 1 con Isochrysis galbana ( $1,16 \pm 0,11$  cel/ind·h).

## Figuras 9

Tasa de ingesta en la etapa copepodito del copépodo *paracalanus spp.*



Nota. Elaboración propia. Donde: Iso: *Isochrysis galbana* (tratamiento 1), Ch: *Chaetoceros sp.* (tratamiento2), Mix: *Dieta mixta; Isochrysis galbana + Chaetoceros sp.* (tratamiento 3).

## Tabla 5

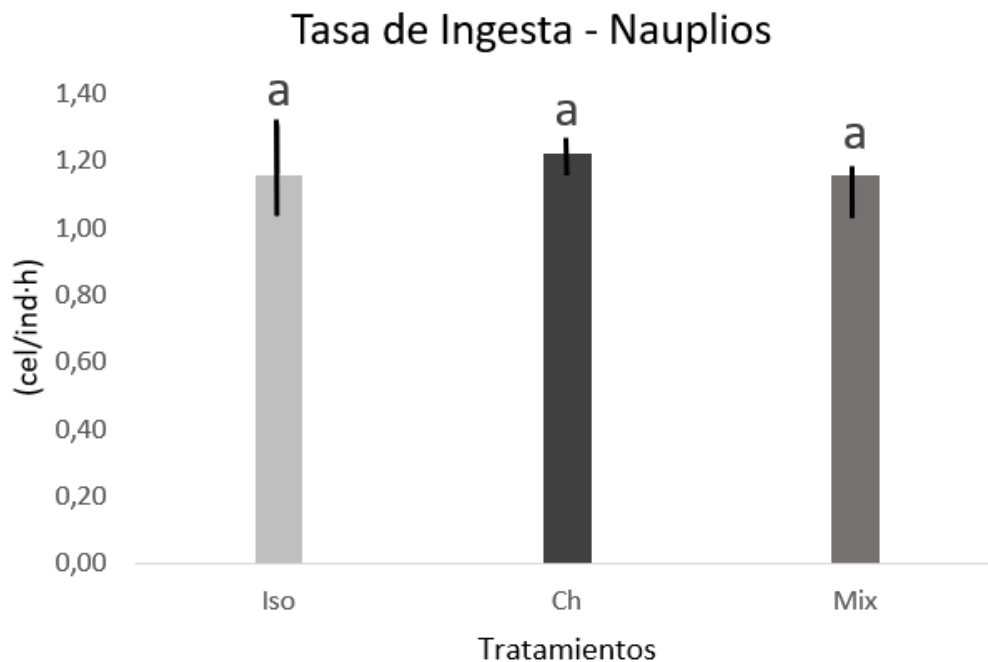
ANOVA de tasa de ingestión con diferentes dietas en *Paracalanus spp.* en estadio naupliar

	Df	Sum Sq	Mean Sq	Valor F	Valor P
Treat	2	0,01285	0,006427	1,177	0,341
Residuals	12	0,06552	0,005460		

Nota. Elaboración propia (2025), donde: **Treat**: Tratamientos, **Residuals**: Error, **Df**: Grados de Libertad, **Sum Sq**: Suma de Cuadrados, **Mean Sq**: Cuadrados Medios.

## Figuras 10

Datos de la tasa de ingesta en la etapa Nauplios del copépodo *paracalanus spp.*



Nota. Elaboración propia. Donde: Iso: ***Isochrysis galbana*** (tratamiento 1), Ch: ***Chaetoceros sp.*** (tratamiento 2), Mix: **Dieta Mixta; *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*** (tratamiento 3).

### 4.3.2 Prueba 2: Crecimiento poblacional total con distintas dietas microalgas.

Los datos de población total recolectados el día 10 fueron analizados mediante ANOVA, evidenciándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $F = 8,74$ ,  $p = 0,0329$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Como se muestra en la figura 11, los tratamientos con *Chaetoceros sp.* ( $543 \pm 54$  ind.) y la dieta mixta ( $521 \pm 57$  ind.) alcanzaron las mayores abundancias, sin diferencias significativas entre ellos. La dieta con *Isochrysis galbana* ( $454 \pm 18$  ind.) mostró valores intermedios, compartiendo grupo

estadístico con Ch y Mix. En cambio, el tratamiento control registró la menor abundancia ( $186 \pm 26$  ind.), diferenciándose significativamente del resto.

**Tabla 6**

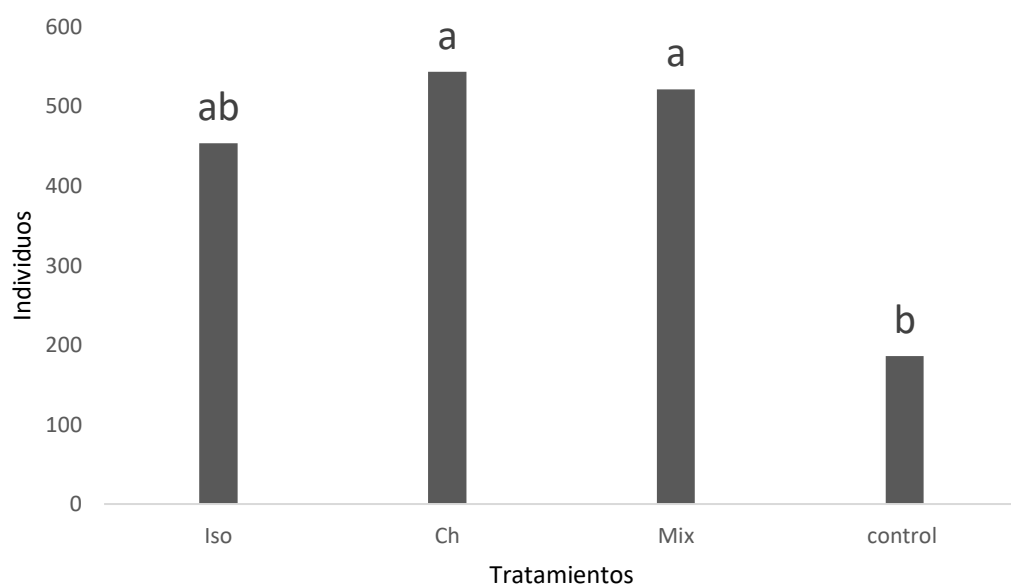
*ANOVA de la población total en el crecimiento poblacional con diferentes dietas en Paracalanus spp.*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	Valor F	Valor P
<b>Treat</b>	3	243 909	81 303	8,74	0,0329
<b>Residuals</b>	8	14 290	1786		

Nota: elaboración propia (2025), donde: **Treat**: Tratamientos, **Residuals**: Error, **Df**: Grados de Libertad, **sum Sq**: Suma de Cuadrados, **Mean Sq**: Cuadrados Medios.

**Figuras 11**

*Crecimiento poblacional del copépodo paracalanus spp.*



*Nota.* Elaboración propia. Donde: Iso: Isochrysis galbana (tratamiento 1), Ch: Chaetoceros sp. (tratamiento 2), Mix: Dieta mixta; Isochrysis galbana + Chaetoceros sp. (tratamiento 3).

**Adulto:** Los datos recolectados el día 10 fueron analizados mediante ANOVA, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $F = 1,90$ ,  $p = 0,20$ ;  $\alpha = 0,05$ ).

Como se muestra en la figura 12, la mayor abundancia poblacional se registró en el tratamiento con Chaetoceros sp. ( $14 \pm 2$  ind.), seguido por la dieta mixta ( $12 \pm 1$  ind.), Isochrysis galbana ( $11 \pm 2$  ind.) y el control, que presentó el menor valor ( $10 \pm 3$  ind.). A pesar de estas diferencias numéricas, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

**Tabla 7**

*ANOVA de la población de adultos en el crecimiento poblacional, con diferentes dietas en Paracalanus spp.*

Adulto	Df	Sum Sq	Mean Sq	Valor F	Valor P
Treat	3	35,67	11,89	1,902	0,208
Residuals	8	50,00	6,25		

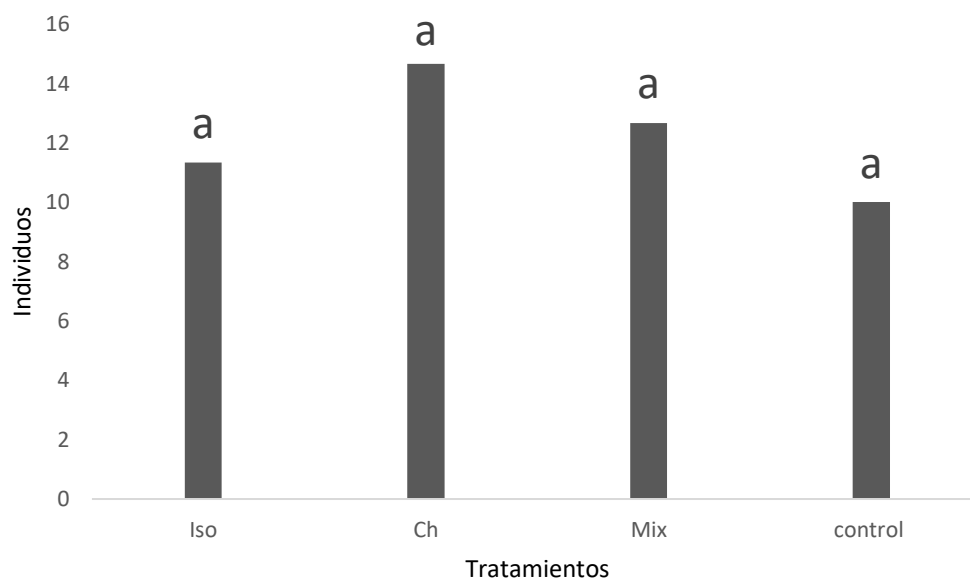
*Nota.* Elaboración propia (2025), donde: **Treat:** Tratamientos, **Residuals:** Error, **Df:** Grados de Libertad, **sum Sq:** Suma de Cuadrados, **Mean Sq:** Cuadrados Medios.

**Copepodito:** Los datos del crecimiento poblacional de adultos registrados el día 10 fueron analizados mediante ANOVA, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $\alpha = 0,05$ ).

Como se muestra en la figura 13, la dieta mixta (*Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*) presentó la mayor abundancia de individuos (media:  $18 \pm 8$ ), diferenciándose significativamente del tratamiento con Isochrysis galbana que registró el valor más bajo con 0 individuos. Los tratamientos con Chaetoceros sp. (media:  $12 \pm 3$ ) y el control (media:  $11 \pm 2$ ), mostraron valores similares entre sí.

## Figuras 12

Adultos en el crecimiento poblacional del copépedo *paracalanus* spp.



Nota. Elaboración propia. Donde: Iso (tratamiento 1): *Isochysis galbana*, Ch: (Tratamiento2): *Chaetoceros* sp., Mix (tratamiento 3): *Dieta Mixta; Isochysis galbana + Chaetoceros* sp., **Control**: agua de mar con microalgas nativas.

## Tabla 8

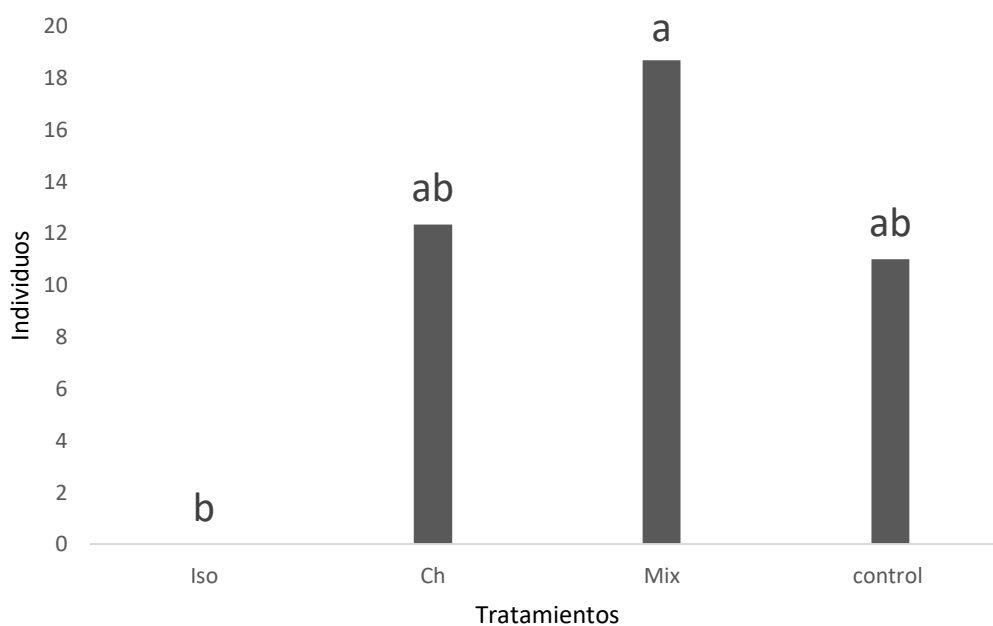
ANOVA de la población de Copepodito en el Crecimiento poblacional, con diferentes dietas en *Paracalanus* spp.

copepodito	Df	Sum Sq	Mean Sq	Valor F	Valor P
Treat	3	541,7	180,56	8,27	0,0407
Residuals	8	169,3	21,17		

Nota. Elaboración propia (2025), donde: **Treat:** Tratamientos, **Residuals:** Error, **Df:** Grados de Libertad, **sum Sq:** Suma de Cuadrados, **Mean Sq:** Cuadrados Medios.

### Figuras 13

*Copepoditos en el crecimiento poblacional del copépodo paracalanus spp.*



Nota. Elaboración propia. Donde: Iso: ***Isochrysis galbana*** (tratamiento 1), Ch: ***Chaetoceros sp.*** (tratamiento 2), Mix: **Dieta Mixta; *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*** (tratamiento 3) y **Control:** agua de mar con microalgas nativas (tratamiento 4)

**Nauplios:** Los datos de la población de nauplios registrados el día 10 fueron analizados mediante ANOVA, evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $\alpha = 0,05$ ).

Como se muestra en la figura 14, los tratamientos con *Chaetoceros sp.* (media:  $516 \pm 55$ ), y la dieta mixta (media:  $490 \pm 57$ ), alcanzaron las mayores abundancias, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. La dieta con

Isochrysis galbana (media:  $442 \pm 18$ ) presentó un valor ligeramente inferior, compartiendo grupo estadístico con los tratamientos Ch y Mix. En cambio, el tratamiento control mostró la menor abundancia de nauplios (media:  $167 \pm 27$ ), diferenciándose significativamente del resto.

**Tabla 9**

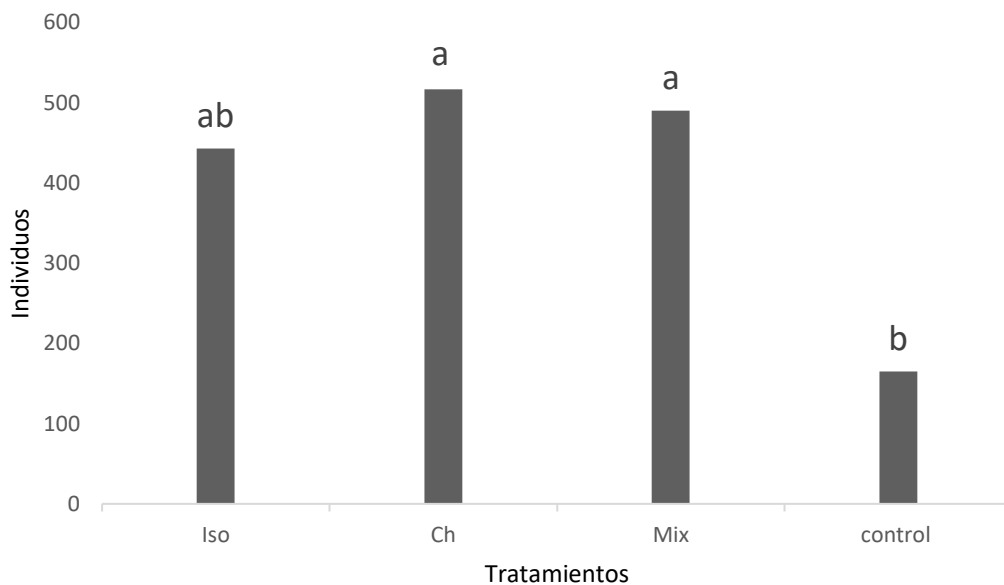
*ANOVA de la población de Nauplios en el crecimiento poblacional, con diferentes dietas en Paracalanus spp.*

<b>Nauplio</b>	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
<b>Treat</b>	3	236 063	78 688	8,19	0,04227
<b>Residuals</b>	8	14 765	1846		

*Nota.* Elaboración propia (2025), donde: **Treat**: Tratamientos, **Residuals**: Error, **Df**: Grados de Libertad, **sum Sq**: Suma de Cuadrados, **Mean Sq**: Cuadrados Medios.

## Figuras 14

*Nauplios en el crecimiento poblacional del copépodo paracalanus spp*



*Nota.* Elaboración propia. Donde: Iso: ***Isochysis galbana*** (tratamiento 1), Ch: ***Chaetoceros sp.*** (tratamiento 2), Mix: **Dieta Mixta; *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*** (tratamiento 3) y **Control:** agua de mar con microalgas nativas (tratamiento 4)

### 4.4 Protocolo para el cultivo y mantenimiento de una cepa del *paracalanus spp.*

Para el mantenimiento de una cepa de *Paracalanus spp.*, se optimizaron los siguientes parámetros. Se debe utilizar un recipiente de vidrio con capacidad máxima de 2 litros, empleando agua marina filtrada por luz ultravioleta con filtro de 5 micras y una salinidad de  $35 \pm 1$  ups. La temperatura debe mantenerse en  $18 \pm 1$  °C, con un flujo constante de aireación de 3 burbujas por segundo mediante una piedra difusora de cerámica, garantizando niveles de oxígeno disuelto superiores a 7 mg/L. El fotoperiodo debe ser de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, con una intensidad lumínica de  $400 \pm 100$ lux.

El alimento se suministra combinando dos especies de microalgas en una proporción 1:2, consistiendo en *Isochrysis galbana* a  $3,4 \times 10^3$  células/mL y *Chaetoceros sp.* a  $6,6 \times 10^3$  células/mL. Para el mantenimiento de la cepa, se realiza un desdoble cada 15 días, manteniendo una concentración de un copepodito por cada 10 mL.

En esta rutina de manejo, se utilizan tres tamices con diferentes tamaños de malla: 200 micras para retener los adultos, 105 micras para los copepoditos y 55 micras para los nauplios. Este proceso se realiza con cuidado para mantener siempre los copépodos en el agua. Además, se efectúan recambios de agua cada 5 días para eliminar sustancias tóxicas, utilizando un tamiz de 40 micras para retener los huevos producidos por los adultos durante el cambio de agua

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1 Prueba 1: Tasa de ingestión por estadio de desarrollo y tipo de dieta de microalgas.

En los experimentos realizados con la especie *Paracalanus spp.*, sobre la tasa de ingestión según el estadio de desarrollo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en adultos entre las distintas dietas evaluadas. Sin embargo, la dieta mixta ( $1542 \pm 186,3$  cel/ind·h) mostró una tendencia a promedios ligeramente superiores. Por el contrario, en copepoditos sí se encontraron diferencias significativas, siendo la dieta mixta ( $875 \pm 157,9$  cel/ind·h) la que generó la mayor tasa de ingestión. Finalmente, en nauplios, tampoco se registraron diferencias significativas. Los hallazgos obtenidos concuerdan con investigaciones previas en otros copépodos marinos, las cuales demuestran que la eficiencia alimenticia y las tasas de ingestión presentan variaciones marcadas tanto en función del estadio de desarrollo como del tipo de dieta (Anzueto Sánchez, 2014). Por ejemplo, se ha evidenciado que en especies como *Parvocalanus crassirostris* y *Pseudodiaptomus euryhalinus*, la administración de dietas mixtas favorece significativamente parámetros productivos tales como mayor densidad de nauplios, tasa de crecimiento instantáneo, rendimiento reproductivo, fertilidad y éxito de eclosión, en comparación con dietas monoalgales (Ochoa et al., 2019). La superioridad atribuida a las dietas mixtas se fundamenta en su diversidad nutricional, que incluye ácidos grasos esenciales, microelementos y la presencia de diferentes tamaños celulares óptimos para los diversos estadios de desarrollo, lo cual optimiza tanto la ingestión como el rendimiento fisiológico, especialmente en la fase de copepoditos. En adultos, pese a una mayor demanda metabólica, la flexibilidad trófica permite la adaptación a dietas más limitadas sin detrimento sustancial en su desempeño fisiológico. Adicionalmente, aunque los nauplios exhiben requerimientos tróficos más

específicos y restrictivos, son capaces de mantener niveles adecuados de crecimiento y supervivencia bajo condiciones alimenticias básicas. De este modo, la ausencia de diferencias significativas en los estadios adultos y nauplios puede explicarse por la plasticidad trófica mostrada en adultos de *Paracalanus* spp. y por la baja demanda nutricional inherente a los estadios iniciales de desarrollo. Por contraste, la marcada respuesta positiva observada en copepoditos ante dietas mixtas evidencia su elevada necesidad nutricional durante la transición de desarrollo (Alimi y Zeng, 2013 ).

Estos resultados enfatizan la importancia de considerar simultáneamente el estadio ontogenético y la combinación específica de fuentes microalgales en el diseño y optimización de cultivos de copépodos destinados a la acuicultura. En términos aplicados, la utilización de dietas mixtas representa una estrategia nutricional eficiente para incrementar la tasa de ingestión en estadios juveniles, mientras que la capacidad adaptativa de adultos y nauplios permite una tolerancia mayor a dietas monoalgales.

## **5.2 Prueba 2: Crecimiento poblacional total con distintas dietas microalgas.**

En los experimentos de crecimiento poblacional total de *Paracalanus* spp., fue significativamente mayor en los grupos alimentados con *Chaetoceros* sp. ( $543 \pm 54$  ind.) y la dieta mixta ( $521 \pm 57$  ind.). En los adultos, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre dietas, aunque la mayor abundancia de individuos correspondió a los alimentados con *Chaetoceros* sp. ( $14 \pm 2$  ind.) Por el contrario, en copepoditos, la dieta mixta tuvo mayor cantidad de individuos (media:  $18 \pm 8$ ). En nauplios, tanto *Chaetoceros* sp. (media:  $516 \pm 55$ ), y la dieta mixta (media:  $490 \pm 57$ ), ejercieron un efecto superior. Estos resultados replican patrones detectados en estudios con copépodos de orden calanoide como los estudiados por Ochoa et al. (2019) con la especie *Parvocalanus crassirostris*, donde una dieta combinada de *I. galbana* + *Chaetoceros* sp. (70:30) produjo la mayor densidad de nauplios ( $6,44 \pm 0,29$  ind/mL), con una tasa de

crecimiento instantáneo  $K = 0,9 \pm 0,1 \text{ d}^{-1}$ , producción diaria  $PD = 2,7 \pm 0,1 \text{ org/mL} \cdot \text{día}$ , y tiempo de duplicación  $TD = 0,8 \pm 0,1 \text{ días}$ , superando significativamente otros tratamientos monoalgales. Así mismo, Alimi y Zeng (2013), con la misma especie, obtuvieron resultados similares con una población inicial de 100 adultos, el tratamiento *Isochrysis sp.* + *Chaetoceros muelleri* produjo el mayor crecimiento poblacional durante un período de cultivo de 15 días, significativamente superior a los demás tratamientos, compuestos por dietas monoalgales. También, Anzueto (2014) experimentó con *Pseudodiaptomus euryhalinus*. Obtuvo los siguientes resultados como mayor densidad de nauplios en el cultivo se registró en la dieta a base de (*Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*), en proporciones de 50;50 con valores de tasa de crecimiento =  $0,317693 \pm 0,05 \text{ días}^{-1}$ ; rendimiento =  $0,51 \pm 0,07 \text{ org ml}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , tiempo de duplicidad =  $2,36 \pm 0,34$ .

La ventaja de las dietas mixtas y del uso de *Chaetoceros sp.* puede explicarse por una mayor abundancia de ácidos grasos de cadena larga (HUFA) y mejor biodisponibilidad de micronutrientes, elementos críticos para la fecundidad, supervivencia y eficiencia alimenticia. En contraste, dietas monoalgales que dependan únicamente de *Isochrysis galbana* pueden presentar limitaciones nutricionales en algunos estadios, no cubriendo completamente los requerimientos de copepoditos y nauplios.

En términos de aplicación práctica, estos hallazgos sugieren que en cultivos de *Paracalanus spp.*, es recomendable priorizar dietas mixtas, especialmente combinaciones como *I. galbana* + *Chaetoceros sp.*, para completar los requerimientos nutricionales de cada etapa del copépodo y maximizar el crecimiento poblacional.

## CONCLUSIONES

1. Fue posible aislar un copépodo del orden calanoide mediante una serie de pasos realizados, tales como muestreos en el litoral de Tacna, además de la selección y reconocimiento de los ejemplares, así como un adecuado acondicionamiento y manejo en laboratorio marino costero de Vila Vila de la universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
2. Se logró identificar, mediante un servicio de secuenciación de ADN, a la especie denominada *Paracalanus spp.*
3. Fue posible elaborar un protocolo de mantenimiento para una cepa del copépodo calanoide *Paracalanus spp.*, basándose en los resultados obtenidos en los experimentos, que evidencian una clara preferencia por la dieta mixta (*Isochrysis galbana* + *Chaetoceros sp.*). Según los datos, en cuanto a la tasa de ingesta, los copepoditos mostraron una preferencia significativa por esta dieta mixta; aunque en adultos no se observaron diferencias significativas entre las distintas dietas evaluadas, la dieta mixta presentó una ligera tendencia hacia valores promedio superiores. En relación al crecimiento poblacional total, este fue significativamente mayor en los grupos alimentados con *Chaetoceros sp.* y con la dieta mixta, destacándose que, específicamente en los copepoditos, la dieta mixta favoreció un mayor número de individuos.

## RECOMENDACIONES

1. A los investigadores, profesionales del sector y estudiantes de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, se recomienda continuar con experimentos de cultivo en escalas progresivas, iniciando con volúmenes reducidos, avanzando posteriormente a una escala intermedia y culminando en una escala mayor.
2. También se recomienda evaluar parámetros como la **producción de nauplios**, la **producción de huevos** y la **viabilidad de huevos** en diferentes condiciones, como salinidad, temperatura y fotoperiodo.
3. De manera adicional, recomiendo la evaluación de **dietas alternativas** compuestas por microalgas como *Tetraselmis suecica*, *Nannochloropsis* sp., *Rhodomonas lens*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* y *Nannochloris oculata*, que podrían tener un resultado interesante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alajmi, Fahad & Zeng, Chaoshu. (2013).** Evaluation of microalgal diets for the intensive cultivation of the tropical calanoid copepod, *Parvocalanus crassirostris*. <https://lc.cx/cfPq2i>
- Alajmi, F., Zeng, C., & Jerry, D. (2015).** Domestication as a novel approach for improving the cultivation of calanoid copepods: A case study with *Parvocalanus crassirostris*. *PLoS ONE*, 10(7), e0133269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133269>
- Anzueto, M. A. (2014).** *Efecto de la dieta y la temperatura en los parámetros poblacionales y en el valor nutricional del copépodo Pseudodiaptomus euryhalinus cultivado en laboratorio* [Tesis de doctorado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/67/1/238131.pdf>
- Asturnatura.(2025)** ,Crustaceos copepodos <https://www.asturnatura.com/temarios/biologia/crustaceos/copepodos>
- Avila, L., Martinez-Silva, M., Sirois, P., & Winkler, G. (2024).** Eurytemora unmasked: The trophic role of a cryptic copepod complex in larval rainbow smelt. *Marine Ecology Progress Series*, 751, Article 14744. <https://doi.org/10.3354/meps14744>
- Banco Mundial; Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2017).** *El potencial de la economía azul: Aumento de los beneficios a largo plazo del uso sostenible de los recursos marinos para los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países costeros menos adelantados.* © Banco Mundial . <http://hdl.handle.net/10986/26843>
- Bianco, G., Botte, V., Dubroca, L., Ribera d'Alcalà, M., & Mazzocchi, M. G. (2013).** Unexpected Regularity in Swimming Behavior of *Clausocalanus furcatus* Revealed by a Telecentric 3D Computer Vision

- System. PloS one*, 8(6), e67640.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067640>
- Blake, A., & Marshall, D. (2023).** Copepod life history evolution under high- and low-food regimes. *Evolutionary Applications*, 16(2), e13563.  
<https://doi.org/10.1111/eva.13563>
- Bucklin, A., Lindeque, P., Rodriguez-Ezpeleta, N., Albaina, A., & Lehtiniemi, M. (2016).** Metabarcoding of marine zooplankton: prospects, progress and pitfalls. *Journal of Plankton Research*.  
<https://academic.oup.com/plankt/article/38/3/393/2224126>
- Dhert, P., Rombaut, G., Suantika, G., & Sorgeloos, P. (2001).** Advancement of rotifer culture and manipulation techniques in Europe. *Aquaculture*, 200(1–2), 129–146. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00697-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00697-4)
- Drillet, G., Frouël, S., Winding, M. S., Jepsen, P. M., Højgaard, J. K., Joarder, A. K., & Hansen, B. W. (2011).** Status and recommendations on marine copepod cultivation for use as live feed. *Aquaculture*, 315(1–2), 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.027>
- Drillet, G., Hansen, B. W., & Kiørboe, T. (2011).** Resting egg production induced by food limitation in the calanoid copepod *Acartia tonsa*. *Limnology and Oceanography*, 56(6), 2064–2070.  
<https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2064>
- Escalante, M., Martínez Brown, J., Ibarra, L., Llera-Herrera, R., & García-Gasca, A. (2020).** Effects of feed restriction on growth performance, lipid mobilization, and gene expression in rose spotted snapper (*Lutjanus guttatus*). *Journal of Comparative Physiology B*, 190, 499–511. <https://doi.org/10.1007/s00360-020-01268-3>
- FAO. (2022).** El estado mundial de la pesca y la acuicultura (SOFIA) 2022. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/05dd1625-23c4-4030-a733-247b5a48b496/content>
- Fernández, M. L. (2015).** *Orden Calanoïda*. Ibero Diversidad Entomológica @ccesible, (89), 1-27. [http://sea-entomologia.org/IDE@/revista\\_89.pdf](http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_89.pdf)

- Frost, B. W. (1972).** Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnology and Oceanography*, 17(6), 805–815. <https://doi.org/10.4319/lo.1972.17.6.0805>
- Gaona, A. (2019).** *Estructura de la comunidad de copépodos calanoides en dos zonas contrastantes del golfo de México, en función de condiciones oceanográficas* [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2802/1/Tesis\\_Gaona%20Hern%C3%A1ndez%20%20Aurora%2007\\_junio\\_2019.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2802/1/Tesis_Gaona%20Hern%C3%A1ndez%20%20Aurora%2007_junio_2019.pdf)
- Giuffre, C., Hinow, P., Jiang, H., & Strickler, J. R. (2019).** Oscillations in the near-field feeding current of a calanoid copepod are useful for particle sensing. *Scientific reports*, 9(1), 17742. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54264-1>
- Gjedrem, T., & Robinson, N. (2014).** Advances by selective breeding for aquatic species: A review. *Agricultural Sciences*, 5(12), 1152–1158. <https://doi.org/10.4236/as.2014.512125>
- Gómez, A. (2011).** Evaluación de diferentes factores productivos en el crecimiento poblacional y coloración de copépodos. *Revista de Investigación, Producción y Acuicultura*, 6(2), 1-12. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1546/1886>
- Han, C., Shimotsu, K., Kim, H.-J., Sakakura, Y., Lee, J.-S., Souissi, S., & Hagiwara, A. (2022).** Comparison of ammonia thresholds for survival and reproduction between two copepods: The planktonic calanoid *Eurytemora affinis* and the benthic harpacticoid *Tigriopus japonicus*. *Aquaculture*, 560, 738534. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738534>
- Hansen, B. W., Drillet, G., Pedersen, M. F., & Sørensen, T. F. (2010).** Temperature effects on egg hatching rate and naupliar development in *Pseudodiaptomus annandalei*. *Journal of Experimental Marine Biology*

- and *Ecology*, 381(1), 9–16. [https://www.researchgate.net/publication/230690260\\_Temperature\\_effects\\_on\\_copepod\\_egg\\_hatching\\_Does\\_acclimatization\\_matter](https://www.researchgate.net/publication/230690260_Temperature_effects_on_copepod_egg_hatching_Does_acclimatization_matter)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014).** Metodología de la investigación (6.<sup>a</sup> ed.). México: McGraw-Hill Education. <https://www.esup.edu.pe/wpcontent/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptistametodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Herstoff, E., Meunier, C. L., Boersma, M., & Baines, S. B. (2023).** Are all copepods the same? Variation in copepod stoichiometry with taxonomy, ontogeny, latitude, and habitat. *Ecosphere*, 14(2), e4705. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4705>
- Hilton, Z., Poortenaar, C. W., & Sewell, M. A. (2008).** Lipid and protein utilisation during early development of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Marine Biology*, 154(5), 855–865. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-0978-z>
- IMARPE. (2020).** *Potencial de copépodos peruanos en acuicultura* [Reporte técnico, Instituto del Mar del Perú]. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/6589/1/Anuario%202021%20completo.pdf>
- Karlsen, Ø., van der Meeren, T., Rønnestad, I., Mangor-Jensen, A., Galloway, T. F., Kjørsvik, E., & Hamre, K. (2015).** Copepods enhance nutritional status, growth and development in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) larvae - can we identify the underlying factors?. *PeerJ*, 3, e902. <https://doi.org/10.7717/peerj.902>
- Kjørboe, T. (2008).** Optimal development time in pelagic copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 367, 15–22. <https://doi.org/10.3354/meps07572>
- Klein Breteler, W. C. M., Schogt, N., Baas, M., Schouten, S., & Kraay, G. W. (1999).** Trophic upgrading of food quality by protozoans enhancing

copepod growth: Role of essential lipids. *Marine Biology*, 135, 191–198.  
<https://doi.org/10.1007/s002270050616>

**Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1996).** Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper No. 361. Rome: FAO.

<http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Manual%20on%20the%20Production%20and%20Use%20of%20Live%20Food%20for%20Aquaculture.pdf>

**Lee, C. S., O’Byrne, P. J., & Marcus, N. H. (2005).** Copepods in Aquaculture. Oxford: Blackwell,

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470277522.fmatter>

**Martino, A., Montero, D., Roo, J., Holt, W. V., Lavorano, S., Narizzano, R., & Otero-Ferrer, F. (2023).** Live microalgae-based diets as enrichment to improve the nutritional profile of the calanoid copepod *Acartia tonsa* (Dana, 1849) nauplii. *Aquaculture Research*, 2023, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2023/6622009>

**Mauchline, J. (1998).** The Biology of Calanoid Copepods. Academic Press.  
<https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-marine-biology/vol/33>

**Mayor Daniel J., Thomas R. Anderson, David W. Pond, Xabier Irigoien, (2009).** Egg production and associated losses of carbon and nitrogen from maternal and egg metabolism in *Calanus finmarchicus*. *Marine Ecology Progress Series*, 377, 137-149.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.019>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796309000992>)

**Michalec, F. G., Souissi, S., & Holzner, M. (2015).** Turbulence triggers vigorous swimming but hinders motion strategy in planktonic copepods. 112(18), 5763-5768. <https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0158>

**Milione, M., & Zeng, C. (2008).** The effects of temperature and salinity on population growth and egg hatching success of the tropical calanoid

copepod, *Acartia sinjiensis*, *Aquaculture*, 275(1–4), 116-123,  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.010>

**Muller-Feuga, A. (2000).** The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology*, 12(3-5), 527–534.  
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008106304417>

**Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H. et al. (2021).** A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591, 551-563  
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>

**Ochoa Tovar, M., Pabón-Correa, S., Jiménez-Velásquez, C., Torres-Valencia, G., & Prieto-Guevara, M. (2019).** Population growth of the calanoid copepod *Parvocalanus crassirostris* fed with different species of microalgae: mixed diet of *I. galbana* + *Chaetoceros* sp. yields highest efficiency.  
<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/2945/3486>

**Olivar, M. P., Bernal, A., & Sabatés, A. (2014).** Feeding ecology and community structure of mesopelagic fishes in the Western Mediterranean. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 1-215.  
<http://hdl.handle.net/2117/95532>

**Palomares, R., & Hernández-Trujillo, S. (1998).** Catálogo de los copépodos (Crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano. CICIMAR-IPN.

**Peck, M. A., & Holste, L. (2006).** Effects of salinity, photoperiod and adult stocking density on egg production and egg hatching success in *Acartia tonsa* (Calanoida: Copepoda): Optimizing intensive cultures, *Aquaculture*, Volume 255, Issues 1–4, 341–350.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.055>

**Puello-Cruz, A., González-Rodríguez, B., & García-Ortega, A. (2011).** *Compilación sobre el uso y producción de copépodos como alimento vivo para larvicultura marina en el CIAD-Mazatlán* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.]. Repositorio Institucional CIAD.

[https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/191/1/Mon-es%20Saucedo\\_2011\\_MC.pdf](https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/191/1/Mon-es%20Saucedo_2011_MC.pdf)

- Rayner, T. A., Hwang, J.-S., & Hansen, B. W. (2017).** Minimizing the use of fish oil enrichment in live feed by use of a self-enriching calanoid copepod *Pseudodiaptomus annandalei*. *Journal of Plankton Research*, 39(6), 1004–1011. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbx021>
- Santhanam, P., Jeyaraj, N., Jothiraj, K., Selvaraju, A., Dinesh Kumar, S., & Perumal, P. (2018).** Evaluation of suitability of marine copepods as an alternative live feed in high health fish larval production. En P. Santhanam, N. Perumal, S. Thirunavukkarasu & A. Pugazhendy (Eds.), *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture* (pp. 161–176). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7953-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7953-5_11)
- Santoyo-Flores, F. J. (2018).** *Efecto de las dietas microalgales en la alimentación y producción de huevos de parvocalanus crassirostris (copépoda, calanoidea)*. Instituto politécnico nacional. <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26262/1/santoyoflo1.pdf>
- Shayegan, M., Esmaeili Fereidouni, A., Agh, N., & Jani-Khalili, K. (2016).** Effects of salinity on egg and fecal pellet production, development and survival, adult sex ratio and total life span in the calanoid copepod, *Acartia tonsa*: A laboratory study. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34, 503–514. <https://doi.org/10.1007/s00343-016-5030-4>
- Sorgeloos, P., Dhert, P., & Candreva, P. (2001).** Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 200(1-2), 147–159. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00698-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00698-6).
- Southward, A. J., & Fuiman, L. A. (Eds.). (2005).** Restocking and stock enhancement of marine invertebrate fisheries (Vol. 49). In *Advances in Marine Biology* (pp. 1–370). Academic Press. [https://www.researchgate.net/publication/319256838\\_Advances\\_in\\_Marine\\_Biology\\_Volume\\_49\\_Restocking\\_and\\_Stock\\_Enhancement\\_of\\_Marine\\_Invertebrate\\_Fisheries](https://www.researchgate.net/publication/319256838_Advances_in_Marine_Biology_Volume_49_Restocking_and_Stock_Enhancement_of_Marine_Invertebrate_Fisheries)

- Støttrup, J. G., & Norsker, N. H. (1997).** Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155(1-4), 231–247. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00120-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00120-8)
- Støttrup, J. G., Richardson, K., Kirkegaard, E., & Pihl, N. J. (1986).** The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae. *Aquaculture*, 52(2), 87–96. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90028-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90028-1)
- Suárez, E., & Gasca, R. (1989).** Copépodos calanoides epiplanctónicos del domo de Costa Rica. *Ciencias Marinas*, 15(1), 89-107. <https://cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/download/624/559/2873>
- Suárez-Morales, E., & Palomares-García, R. (2012).** Redescription of the poorly known planktonic copepod *Pontellopsis lubbockii*. <http://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/1274>
- Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A., & Elías-Gutiérrez, M. (2015).** Catálogo de los copépodos (Crustacea: Copepoda) de México. ECOSUR. [https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2203/1/61265\\_Documento.pdf](https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2203/1/61265_Documento.pdf)
- Takayama, Y. (2023).** Mass cultivation of marine planktonic copepods. *Bulletin of Plankton Eco-Engineering Research*, 3, 1–19. [https://wwwstorage.soka.ac.jp/4817/1325/0468/20230914\\_125629.pdf](https://wwwstorage.soka.ac.jp/4817/1325/0468/20230914_125629.pdf)
- Tocher, D. R. (2010).** Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 41(5), 717–732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x>
- Von Weissenberg, E., Jansson, A., Vuori, K. A., & Engström-Öst, J. (2022).** Copepod reproductive effort and oxidative status as responses to warming in the marine environment. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8594. <https://doi.org/10.1002/ece3.8594>

- Williamson, A., Blandon, I., Scarpa, J., Vega, R., & Siccardi, A. (2020).** Copepod propagation and use as a live food for fish larviculture. [Informe técnico]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12668.87684>
- Yang, S., & Hur, S. (2014).** Selection of copepods as live food for marine fish larvae based on their size, fecundity, and nutritional value. *Ocean and Polar Research*, 36(2), 199–208. <https://doi.org/10.4217/OPR.2014.36.2.199>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

#### ADAPTACIÓN DE UN COPEPODO CALANOIDE MARINO A CONDICIONES DE CULTIVO EN LA REGIÓN TACNA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p style="text-align: center;"><u>PROBLEMA GENERAL</u></p> <p>¿Cuál es la viabilidad de aislar, identificarla y mantener cultivos de una cepa de copépodos calanoidea?</p>	<p style="text-align: center;"><u>OBJETIVO GENERAL</u></p> <p>Adaptar un copépodo calanoide marino a condiciones de cultivo en la región de Tacna.</p>	<p style="text-align: center;"><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></p> <p>Es posible Adaptar un copépodo calanoide marino a condiciones de cultivo en la región de Tacna.</p>	<p style="text-align: center;"><u>V. DEPENDIENTE</u></p> <p>Mantenimiento de copépodos</p>	<p># Nauplios</p> <p># copepoditos</p> <p>#Adulto ( hembra y macho )</p>
<p style="text-align: center;"><u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•¿Cuál es la posibilidad de aislar un copépodo calanoide marino?</li> <li>•¿Cómo se podría identificar un copépodo calanoide marino?</li> </ul> <p>¿Cuáles serán los pasos necesarios para implementar un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodos marinos (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio?</p>	<p style="text-align: center;"><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Aislar un copépodo calanoide marino.</li> <li>•Identificar un copépodo calanoide marino</li> <li>•Implementar un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodos marino (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Es posible aislar un copépodo calanoide marino.</li> <li>•Es probable identificar un copépodo calanoide marino.</li> <li>• Es posible Implementar un protocolo para el mantenimiento de una cepa de copépodos marino (orden: calanoide) bajo condiciones controladas de laboratorio.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>V. INDEPENDIENTE</u></p> <p>Dietas Microalgales:</p> <p><i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros sp.</i></p>	<p>Densidad celular</p>

Nota. Elaboración propia (2025)

## Anexo 2. Fase muestreo realizado para la captura de los copépodos

### Figuras 15

*Muestreo realizado en el mes de septiembre en mar adentro.*



Nota: En las Figuras se muestra el muestreo que se realizó a 400 metros de la orilla, en una embarcación con una malla zooplanctónicas se retuvieron a todos los copépodos posibles. Fuente propia ( 2025)

## Anexo 3. Fase de adaptación de muestras

*Figuras 16 Proceso de adaptación de las muestras recolectadas.*



Nota: En estas imágenes se observan que las muestras recolectadas están siendo tamizadas para luego ser introducidos en los tanques de 500 litros. Fuente propia 2025.

#### **Anexo 4. Fase de selección y reconocimiento de copépodos** **Figuras 17**

*Proceso de selección de copepodos calanoides.*



Nota: En las imágenes se observa en procedimiento que se realizó para la selección de copépodos con características similares a la orden calanoide.

#### **Anexo 5. Fase de cuidado y manejo de cepas**

##### **Figuras 18**

*Procedimiento de cuidado de cepas con características morfológicas de un copépodo de orden calanoide.*



Nota: En las imágenes se aprecian el acondicionamiento de la sala donde estaba ubicadas las cepas de copépodos con características muy similares a los de una copépodo de orden calanoide. Elaboración propia 2025

## Anexo 6. Fase de identificación del copépodo

### Figuras 19

*Procedimiento para el envío de las muestras.*



Nota: En la imagen se muestra la forma en la que se enviaron las muestras de copépodos para realizar una identificación certera, llegando a obtener como resultado una especie denominada *paracalanus spp*, elaboración propia 2025

## Anexo 7. Copépodo adulto, *paracalanus spp*.

### Figuras 20

*Paracalanus spp. en estadio adulto*



Nota. En la imagen, se puede observar un copépodo de la especie *paracalanus spp*, vista de un estereoscopio. Elaboración propia (2025)

## Anexo 8. Fase de experimentación de tasa de ingesta con distintas dietas y en diferente estadio

### Figuras 21

*Materiales Utilizados en el Experimento de Tasa de Ingesta.*



*Nota.* En las imágenes, se aprecia los materiales que fueron utilizados para la separación por estadio, y los recipientes donde se introdujeron cada, adulto, copepodito y nauplio. Para realizar la tasa de ingesta. Elaboración propia (2025)

## Anexo 9. Fase de experimentación de crecimiento poblacional en base a distintas dietas de microalgas

### Figuras 22

*Materiales utilizados para el experimento de crecimiento poblacional*



*Nota.* En la imagen, se puede apreciar los materiales que se utilizaron en el experimento de crecimiento poblacional, llaves reguladoras de aire, agujas, y vasos precipitados de un litro. Elaboración propia (2025).

## Anexo 10. Distribución del experimento de crecimiento poblacional

### Figuras 23

*Distribución del experimento de crecimiento poblacional*



*Nota.* En la imagen, se aprecia los vasos precipitados ya ubicados de tal forma que estén al azar, además de un sistema de oxigenación por goteo, y un sistema de agua maría para regular la temperatura. Elaboración propia (2025)