

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

**EFFECTO DE DIETAS MICROALGALES SOBRE EL CRECIMIENTO,
PRODUCCIÓN DE HUEVOS Y SUPERVIVENCIA DE UNA
CEPA DE COPÉPODO CALANOIDE NATIVO**

TESIS

Presentada por:

Bach. Sandra Turpo Mamani

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
TESIS

**"EFECTO DE DIETAS MICROALGALES SOBRE EL CRECIMIENTO,
PRODUCCIÓN DE HUEVOS Y SUPERVIVENCIA
DE UNA CEPA DE COPÉPODO
CALANOIDE NATIVO"**

Tesis sustentada y aprobada el 31 de diciembre del 2025 estando el jurado calificador y asesor integrado por:

Presidente

:

Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos



Secretario

:

Dr. Luis Alberto Bernardo Rivera Chipamna



Vocal

:

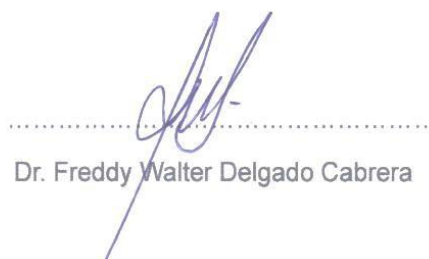
MSc. Calixto Quispe Pilco



Asesor

:

Dr. Freddy Walter Delgado Cabrera

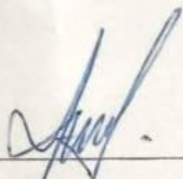


CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Freddy Walter Delgado Cabrera, en mi condición de **ASESOR** acredito con resolución de facultad y/o posgrado N° 8452-2024-FCAG del 12 de marzo del 2024, del trabajo de tesis titulada **"EFECTOS DE DIETAS MICROALGALES SOBRE EL CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN DE HUEVO Y SUPERVIVENCIA DE UN CEPA DE COPÉPODO CALANOIDE NATIVO"**; presentado por la bachiller Sandra Turpo Mamani, para optar el título profesional de ingeniero pesquero.

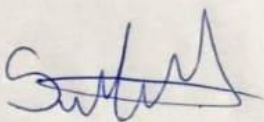
Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento original que, según revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 6% por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y/o trabajo enunciado líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los tramites para optar el título profesional de ingeniería pesquera, según corresponda para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 13 de enero del 2026



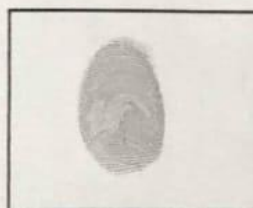
FIRMA DEL ASESOR

Dr. Freddy Walter Delgado Cabrera



FIRMA AUTOR

Bach. Sandra Turpo Mamani



DEDICATORIA

A Dios.

A Dios, Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis familiares.

A mi madre, por todo el apoyo infinito por demostrarme que todo es posible si a todo lo que uno hace le pone empeño. A mi hermana Guadalupe, porque a pesar de la distancia supo ser comprensible conmigo y guiarme. A mi hermano Yasser por ser mi motor y motivo para evitar rendirme. A mi padre que a pesar todo estuvo ahí para darme su apoyo.

Y todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón al Dr. Freddy Walter Delgado Cabrera, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera y asesor de la presente tesis por su asesoramiento, paciencia y apoyo incondicional durante la realización y finalización del presente trabajo de investigación.

A la Ingeniera Fressia Geosselin Torres Tapia y la Ingeniera Rosa Isabel Flores Turpo, especialista en producción de alimento vivo para la acuicultura del Proyecto: "Producción experimental de copépodos calanoides nativos con alto contenido nutricional para la acuicultura marina", y co-asesoras de la presente tesis por guiarme en el desarrollo del trabajo de investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, por su entrega en tiempo, dado con esmero y pasión según su especialidad para formar grandes profesionales.

Al centro de laboratorio especializado de maricultura y pesca de Vila Vila, que forma parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, a todos los ingenieros por su apoyo y guiarme en el manejo de las instalaciones del Centro que a la fecha laboran.

A todas las personas que me brindaron su apoyo directa e indirectamente.

ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Índice	vi
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	1
 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	 3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema	6
1.2.1. Interrogante general	6
1.2.2. Interrogantes secundarias	6
1.3. Justificación	6
1.4. Formulación de objetivos	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Formulación de hipótesis	8
1.5.1. Hipótesis general.....	8
1.5.2. Hipótesis específicas	8
1.6. Delimitación de la investigación	9

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes del estudio.....	11
2.1.1. Antecedentes internacionales	11
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	14
2.1.3. Antecedentes locales.....	16
2.2. Base teórica	18
2.2.1. Acuicultura.....	18
2.2.2. Alimento Vivo.....	19
2.2.3. Copépodos	19
2.2.4. Las microalgas	34
2.2.5. Microalgas utilizadas en la acuicultura	35
2.2.5.1. <i>Isochrysis galbana</i>	35
2.2.5.2. <i>Chaetoceros muelleri</i>	36
2.3. Definición de términos	37
 CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	 39
3.1. Tipo y diseño	39
3.2. Nivel de investigación	41
3.3. Operacionalización de variables	41
3.4. Población y muestra	42
3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	42
3.6. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos	42
3.6.1. Ubicación geográfica y temporal.....	42
3.6.2. Unidad de estudio.....	43
3.6.3. Método	44

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	50
4.1. Resultados	50
4.1.1. Crecimiento	50
4.1.2. Producción de huevos	56
4.1.3. Supervivencia	64
4.2. Comprobación de hipótesis.....	67
 CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	 73
 CONCLUSIONES	 81
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estadios de los copépodos	27
Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables.....	41
Tabla 3. Evolución del crecimiento (desarrollo por estadios) de cepa de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales	51
Tabla 4. Tiempo de transición entre estadios por tratamiento.....	54
Tabla 5. Evolución de la producción de huevos de cepas de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales	56
Tabla 6. Evolución de la supervivencia de cepa de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) adultos según tipos de tratamientos de dieta microalgales	60
Tabla 7. Evaluación de la supervivencia de cepas de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales	64
Tabla 8. Análisis comparativo de la producción total de huevos de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de dieta microalgal.....	68
Tabla 9. Pruebas estadísticas de comparación entre tratamientos de dieta microalgal en la producción de huevos.....	69
Tabla 10. Pruebas post-hoc de comparación por pares (Mann-Whitney con ajuste de Bonferroni)	69
Tabla 11. Comparación de tratamientos con el grupo control (Mann- Whitney)	70
Tabla 12. Resumen de comprobación de hipótesis general sobre la inclusión de dietas microalgales	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura típica de copépodo femenino Calanoida	23
Figura 2. Ciclo de vida del copéodo	27
Figura 3. Calanus chilensis	33
Figura 4. Vista satelital del Laboratorio Especializado De Maricultura Y Pesca De Vila Vila	43
Figura 5. Diseño experimental con tres dietas microalgales	39
Figura 6. Diagrama del método experimental que se aplicara en el trabajo de investigación	40
Figura 7. Evolución del crecimiento (desarrollo por estadios) según tipos de tratamientos de dieta microalgales	52
Figura 8. Evolución de la producción de huevos de cepas de calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales	57
Figura 9. Evolución de la supervivencia de cepa de calanus chilensis (calanoida: calanidae) adultos según tipos de tratamientos de dieta microalgales	61
Figura 10. Evolución de la supervivencia de cepas de calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales	65

RESUMEN

La investigación titulada “Efecto de dietas microalgales sobre el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de *copépodo calanoide* nativo”, tuvo como objetivo evaluar la influencia de tres dietas microalgales: *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri* y una dieta mixta (Is + Ch), en los parámetros biológicos de una cepa nativa de *copépodo calanoide* cultivada en condiciones controladas de laboratorio. Se aplicó un diseño experimental con tres tratamientos y un grupo control, registrándose los valores de crecimiento, producción de huevos y supervivencia durante veinte y treinta días, según el parámetro evaluado. Los resultados demostraron diferencias entre las dietas, siendo *Chaetoceros muelleri* la que generó la mayor producción de huevos con 364,8 unidades acumuladas, mientras que la dieta mixta alcanzó la mayor supervivencia con una reducción poblacional de -57 % (43% de supervivencia) al día treinta y un desarrollo completo hasta la fase adulta con 8,6 individuos. En contraste, el grupo control no presentó ovoposición ni continuidad poblacional. El análisis estadístico mediante ANOVA ($F = 9,58$; $p = 0,005$) y la prueba de Kruskal-Wallis ($H = 7,99$; $p = 0,018$) confirmaron diferencias significativas entre tratamientos, demostrando que la inclusión de dietas microalgales influye directamente en el crecimiento, la reproducción y la supervivencia del *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae). En conclusión, las dietas con *Chaetoceros muelleri* y su combinación con *Isochrysis galbana* representan la alternativa más eficiente para optimizar los cultivos de copépodos en la región sur del Perú.

Palabras clave: copépodo calanoide, microalgas, crecimiento, reproducción, supervivencia.

ABSTRACT

The research entitled "Effect of microalgal diets on the growth, egg production and survival of a native calanoid copepod strain" aimed to evaluate the influence of three microalgal diets: *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri* and a mixed diet (Is + Ch), on the biological parameters of a native calanoid copepod strain grown under controlled laboratory conditions. An experimental design with three treatments and a control group was applied, recording growth, egg production and survival values for twenty and thirty days, depending on the parameter evaluated. The results showed differences between the diets, with *Chaetoceros muelleri* generating the highest egg production with 364,8 accumulated units, while the mixed diet achieved the highest survival with a population reduction of -57 % (43 % survival) at day thirty and complete development to the adult stage with 8.6 individuals. In contrast, the control group did not present oviposition or population continuity. Statistical analysis using ANOVA ($F = 9,58$; $p = 0,005$) and the Kruskal-Wallis test ($H = 7,99$; $p = 0,018$) confirmed significant differences between treatments, demonstrating that the inclusion of microalgal diets directly influences the growth, reproduction, and survival of the native calanoid copepod. In conclusion, diets containing *Chaetoceros muelleri* and its combination with *Isochrysis galbana* represent the most efficient alternative for optimizing copepod cultures in southern Peru.

Keywords: calanoid copepod, microalgae, growth, reproduction, survival.

INTRODUCCIÓN

La investigación titulada “Efecto de dietas microalgales sobre el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae)” se desarrolló en respuesta a la limitada información existente en la región de Tacna sobre el cultivo controlado de copépodos nativos y su alimentación óptima con microalgas locales. En el contexto internacional, los copépodos han sido reconocidos como una de las fuentes de alimento vivo más valiosas en acuicultura por su alto contenido de ácidos grasos esenciales, impulsando múltiples estudios enfocados en mejorar sus dietas y condiciones de cultivo. A nivel nacional, el interés por sustituir progresivamente el uso exclusivo de rotíferos y artemias ha llevado a promover la producción de microalgas como *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros sp.* para la alimentación de zooplancton en criaderos, mientras que en Tacna los avances han sido principalmente experimentales. Investigaciones previas evidenciaron la viabilidad del cultivo de copépodos locales bajo condiciones de salinidad controlada, pero aún existía la necesidad de determinar qué dietas favorecen su crecimiento, supervivencia y fecundidad, de manera que su uso se extienda como recurso acuícola regional.

El trabajo se estructuró en cinco capítulos. En el Capítulo I, se presentó el problema de investigación, su formulación, justificación y objetivos. El Capítulo II desarrolló el marco teórico con antecedentes y fundamentos sobre acuicultura, copépodos y microalgas. En el Capítulo III, se describió la metodología experimental aplicada, utilizando tres tratamientos dietéticos (*Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri* y una dieta mixta) y un grupo control. En el Capítulo IV, se mostraron los resultados, el análisis estadístico y la comprobación de hipótesis,

concluyéndose que las dietas basadas en *Chaetoceros muelleri* y su combinación con *Isochrysis galbana* mejoraron de forma evidente la supervivencia, la producción de huevos y el desarrollo del *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) cultivado en laboratorio. Finalmente, en el Capítulo V la discusión con otros trabajos de investigación que tienen gran similitud con nuestra investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel internacional, los copépodos han cobrado creciente importancia como alimento vivo en acuicultura por su alto valor nutricional. Según Huanacuni et al. (2021), desde la década de 1960 se han logrado cultivar alrededor de 60 especies de copépodos para uso como alimento vivo, demostrando mejoras significativas en la supervivencia, crecimiento, salud y resistencia de larvas de peces alimentadas con copépodos frente a dietas tradicionales. Estudios recientes como el de Dayras et al. (2021), se enfocan en optimizar las dietas microalgales para maximizar la fecundidad y calidad nutricional de los copépodos, dado que su cultivo masivo aún presenta desafíos. Por ejemplo, una investigación realizada por Bwaraniko et al. (2023), con el copépodo *Pseudodiaptomus ishigakiensis* identificó condiciones óptimas de cultivo: a 30 °C y alimentado con ciertas microalgas, se logró la mayor tasa de crecimiento poblacional (~60 - 74 ind/día) y una fecundidad cercana a 13 -14 huevos por hembra. Asimismo, se ha comprobado que dietas mixtas de microalgas suelen incrementar la producción de huevos y el contenido de ácidos grasos esenciales en los copépodos en mayor medida que dietas monoalgales, lo cual es necesario para mejorar su valor alimenticio en cadenas acuícolas.

A nivel nacional, la acuicultura marina reconoce la necesidad de incorporar alimento vivo de alta calidad para optimizar la crianza de larvas de peces. En el país tradicionalmente se emplean rotíferos y artemias como

alimento inicial; sin embargo, investigaciones peruanas recientes están evaluando el uso de copépodos nativos como alternativa. El Ministerio de la Producción (2024) menciona estudios con especies locales de microalgas para alimentación de zooplancton: *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros* sp. son producidas en laboratorios nacionales para enriquecer cultivos larvarios. Y es que, se ha reportado que los copépodos presentan un perfil de ácidos grasos altamente insaturados (omega-3 HUFA) superior al de *Artemia*, lo que mejora el desarrollo de larvas de peces y reduce la necesidad de enriquecimientos adicionales. El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) (2021) inició ensayos experimentales con copépodos calanoides nativos: logró cultivar *Apocyclops spartinus* durante 16 días bajo condiciones controladas, alimentándolo con una combinación de *Isochrysis*, *Pavlova* y *Nannochloropsis*, sentando las bases para su producción masiva en el país. Aunque el uso de copépodos en criaderos comerciales peruanos aún es incipiente, estos esfuerzos investigativos dan cuenta de su potencial para mejorar la supervivencia y crecimiento de larvas, particularmente de especies marinas de alto valor, afrontando retos como la estandarización de cultivos y la consistencia en calidad nutricional.

A nivel local, la investigación acuícola ha dado pasos importantes pero insuficientes en el cultivo de copépodos nativos y sus dietas microalgales. Tacna, ubicada en la costa sur peruana, posee especies planctónicas nativas de interés, pero hasta la fecha los estudios han sido escasos. Torres (2019), realizó en la región uno de los primeros trabajos para evaluar dietas microalgales en copépodos locales: se aislaron cepas nativas (*Hemicyclops* sp. y *Oithona nana*) y se experimentó con *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros* sp. como alimentos, registrándose tasas de ingestión elevadas (por ejemplo, $\sim 2,8 \times 10^5$ células/ind/h en *Hemicyclops*

con *Isochrysis*) y evidencias de reproducción viable bajo dichas dietas. Sin embargo, la adopción de estos organismos en la zona es aún experimental. Recién en los últimos años (2021-2022) la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna ha intensificado investigaciones en su Laboratorio de Alimento Vivo, cultivando copépodos en condiciones controladas y evaluando factores como la salinidad y la calidad de las microalgas locales. Por ejemplo, un estudio realizado por Aldea (2023) encontró que *Oithona nana* alcanza densidades poblacionales mayores a $\sim 3,6 \times 10^3$ ind/L en salinidades óptimas (15 – 25 ups), produciendo en promedio 27-30 huevos por hembra, mientras que salinidades más altas reducen su tasa reproductiva y alargan su tiempo de desarrollo.

Pese a estos avances, en la ciudad de Tacna no se han realizado estudios aplicados a escala piloto o industrial con copépodos, y se observan deficiencias en infraestructura y continuidad investigativa. Todo ello conduce a la necesidad de realizar el presente estudio, ya que en la región persiste un rezago en el uso de dietas microalgales óptimas para copépodos y su aprovechamiento en acuicultura. La ausencia de experiencias locales exitosas y la evidencia de que variables como la dieta pueden mejorar significativamente el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de copépodos nativos, justifican emprender esta investigación para llenar esos vacíos de conocimiento y potenciar el desarrollo acuícola regional.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Interrogante general

¿Cuál será el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae)?

1.2.2. Interrogantes secundarias

- ¿Cuál será el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento de los copépodo calanoide?
- ¿Será posible evaluar el efecto de las dietas microalgales sobre la producción de huevos de los copépodo calanoide?
- ¿Será probable determinar el efecto de las dietas microalgales sobre la supervivencia de una cepa de copépodo calanoide?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El uso de copépodos en la acuicultura representa una alternativa estratégica frente a otros organismos de alimento vivo, debido a sus características únicas: su diminuto tamaño, elevado contenido nutricional, alta digestibilidad y patrones natatorios que estimulan eficazmente la conducta alimentaria de las larvas de peces. Estas cualidades explican por qué constituyen un recurso esencial en la alimentación larvaria dentro de la cadena trófica natural. No obstante, uno de los principales retos para su aprovechamiento a escala productiva radica en la dificultad de establecer cultivos con densidades poblacionales suficientemente altas que permitan asegurar una producción estable de nauplios capaces de satisfacer la demanda de los criaderos de peces marinos (Santoyo, 2020).

En los ecosistemas marinos, los copépodos cumplen un rol central al ser el grupo más abundante del zooplancton y al actuar como el principal eslabón que conecta a los productores primarios con los niveles tróficos superiores. De esta manera, constituyen la principal fuente de alimento natural para larvas de peces y crustáceos marinos, aportando nutrientes esenciales para su desarrollo y supervivencia (Zillioux & Wilson, 1966). Su importancia se extiende a casi todas las especies de peces marinos, puesto que, independientemente de su dieta en estado adulto, atraviesan un período larvario en el que dependen fundamentalmente de los copépodos para cubrir sus necesidades nutricionales críticas (Bone et al., 1994).

Desde una perspectiva ecológica, los copépodos destacan como los consumidores primarios más abundantes tanto en ambientes marinos como dulceacuícolas, desempeñando una función importante en la transferencia de energía en las redes tróficas. Además, constituyen la fuente principal de alimento para numerosas especies de peces herbívoros y para diversos estadios larvarios de invertebrados planctónicos y bentónicos (Suárez, 2015) (Bjørnberg, 1981). Por tanto, el conocimiento y optimización de su cultivo mediante dietas microalgales adecuadas, como *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri*, no solo refuerza la comprensión científica de su ecología, sino que también abre oportunidades prácticas para la mejora de la acuicultura en el contexto local, regional y nacional.

1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de dietas microalgales sobre el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae).

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de dietas microalgales sobre el crecimiento del copépodo calanoide.
- Determinar el efecto de dietas microalgales sobre la producción de huevos del copépodo calanoide.
- Determinar el efecto de dietas microalgales sobre la supervivencia de una cepa de copépodo calanoide.

1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

La inclusión de dietas microalgales en la alimentación de cepas de copépodos calanoides nativos resulte un aumento significativo en el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de copépodos calanoide nativo.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Es probable determinar el efecto de dietas microalgales sobre el crecimiento del copépodo calanoide.

- Es viable determinar el efecto de dietas microalgales sobre la producción de huevos del copépodo calanoide.
- Es factible determinar el efecto de dietas microalgales sobre la supervivencia de una cepa de copépodo calanoide.

1.6. Delimitación de la investigación

El estudio presenta la siguiente delimitación:

Área de investigación: Biotecnología aplicada a la acuicultura, con énfasis en la nutrición de organismos planctónicos y su uso como alimento vivo en etapas larvarias de peces marinos.

Delimitación Espacial: La investigación se llevó a cabo en la Provincia de Tacna, Perú, específicamente en el laboratorio especializado de maricultura y pesca de Vila Vila, que forma parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, ubicado en el Km 58 de la carretera Costanera, en el distrito de Sama, provincia y región de Tacna. Esta región costera se caracteriza por contar con condiciones adecuadas para el cultivo de especies marinas nativas y cuenta con recursos microalgales locales que serán utilizados para la alimentación del copépodo calanoide estudiado.

Delimitación temporal: El estudio se desarrolló durante el periodo comprendido entre abril y diciembre de 2025, considerando las etapas de recolección de muestras, cultivos experimentales, monitoreo de variables biológicas y análisis de resultados.

Delimitación conceptual: La investigación abordó la evaluación del efecto de dietas microalgales, monoalgales o mixtas, sobre tres variables

biológicas del *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae): crecimiento poblacional, producción de huevos por hembra y supervivencia. Las dietas estuvieron compuestas por especies de microalgas previamente cultivadas (como *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri*., entre otras), y se analizaron sus efectos bajo condiciones controladas. Se entiende por crecimiento el aumento en densidad poblacional del cultivo (individuos por litro), por producción de huevos al número promedio de huevos producidos por hembra adulta, y por supervivencia al porcentaje de individuos vivos al final del experimento en relación al número inicial. La cepa de copépodo utilizada es nativa de la zona sur del Perú y pertenece al orden Calanoida, con características reproductivas y fisiológicas propias que fueron registradas en función de la dieta administrada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bwaraniko et al. (2023), publicaron la investigación “Effects of temperature and microalgal diet on the fecundity, population growth and fatty acid composition of *Pseudodiaptomus ishigakiensis* (Calanoid Copepoda)” de la Revista Aquaculture Reports, con el objetivo de analizar las condiciones óptimas de cultivo para el copépodo marino *Pseudodiaptomus ishigakiensis*, considerando tanto la temperatura como la dieta microalgal. Se empleó un diseño experimental factorial: se probaron cuatro temperaturas (20, 25, 30 y 35 °C) y cuatro dietas monoalgales – *Isochrysis galbana* (ISO), *Proteomonas sulcata* (PRO), *Chlorella sp.* (CHL) y *Tetraselmis chuii* (TET) – evaluando tasas de reproducción, crecimiento poblacional y composición de ácidos grasos en cultivos de copepódidos durante varias semanas. Con un muestreo periódico de hembras ovígeras y análisis químico de los copépodos alimentados con cada dieta, se obtuvieron resultados contundentes: a 30 °C se registró la mayor tasa de crecimiento poblacional ($\sim 60,6 \pm 4,9$ individuos/día) y una fecundidad promedio alta (≈ 14 huevos/hembra), mientras que a 35 °C prácticamente cesó la reproducción debido al estrés térmico. En cuanto a la alimentación, la microalga PRO (*Proteomonas*) produjo el incremento poblacional más elevado ($73,8 \pm 1,9$ ind/día), seguida de ISO, en contraste con *Tetraselmis* y *Chlorella*, cuyos tratamientos resultaron en un crecimiento casi nulo y ausencia de hembras ovígeras al final del experimento. Además, el perfil

lipídico de los copépodos variaba según la dieta: aquellos alimentados con ISO y PRO acumularon niveles significativamente mayores de ácidos grasos esenciales EPA y DHA ($\approx 5\%$ de su composición) comparados con los alimentados con CHL o TET. En conclusión, los autores establecieron que *P. ishigakiensis* alcanza su máximo rendimiento reproductivo a 30 °C con dietas ricas en flagelados (*Proteomonas* e *Isochrysis*), las cuales enriquecen su contenido de ácidos grasos omega-3, recomendando estas condiciones para la producción masiva del copépodo como alimento vivo de larvicultura.

Takayama et al. (2023), llevaron a cabo el artículo “Evaluation of Microalgal Diet to Culture Adult *Oithona oculata* Farran (Copepoda, Cyclopoida)”, de la Revista Aquaculture Research. Su objetivo fue evaluar cuál microalga proporciona la mayor supervivencia y producción de huevos en cultivo, comparando cuatro dietas monoalgales comercialmente disponibles – *Thalassiosira weissflogii* (diatomea), *Rhodomonas salina*, *Tetraselmis suecica* y *Isochrysis galbana* – administradas por separado a cohortes de adultos de *O. oculata* durante 15 días. Se trabajó con recipientes de cultivo en condiciones controladas de laboratorio, monitoreando diariamente la supervivencia de los copépodos y la tasa de ovipostura (huevos producidos por hembra). Los hallazgos indicaron diferencias significativas: la microalga de mayor calidad fue *Rhodomonas salina*, con la cual *O. oculata* alcanzó las tasas más altas de supervivencia y fecundidad. En concreto, las hembras alimentadas exclusivamente con *Rhodomonas* presentaron el mayor promedio de huevos producidos por hembra y una mayor supervivencia poblacional al término del experimento, en comparación con las dietas basadas en *Thalassiosira*, *Tetraselmis* o *Isochrysis*. Por su parte, *Isochrysis galbana* también sustentó una buena

producción de huevos, aunque ligeramente inferior a *Rhodomonas*, mientras que las dietas con *T. weissflogii* o *Tetraselmis* resultaron menos eficaces, asociándose a menores tasas reproductivas. En síntesis, Takayama et al. concluyen que *Oithona oculata* es un candidato promisorio para cultivo a gran escala siempre que se le provea una dieta óptima, siendo *Rhodomonas salina* la microalga que mejor maximiza su supervivencia y producción de huevos. Recomiendan, por tanto, utilizar *Rhodomonas* (sola o en combinación con otras algas complementarias) para la cría comercial de este copépodo, con miras a emplearlo como alimento vivo enriquecido en etapas larvarias de peces.

Dayras et al. (2021), publicaron el estudio titulado “Microalgal Diet Influences the Nutritive Quality and Reproductive Investment of the Cyclopoid Copepod *Paracyclopina nana*”, de la Revista Frontiers in Marine Science. Su objetivo fue examinar el efecto de siete dietas microalgales en la calidad nutritiva y esfuerzo reproductivo del copépodo ciclopoide *Paracyclopina nana*. Se cultivaron poblaciones de *P. nana* durante 15 días en condiciones controladas (10 L por réplica), alimentándolas con distintas combinaciones algales: tres dietas monoalgales – *Rhodomonas salina* (R), *Tisochrysis lutea* (T) y *Pavlova lutheri* (P) – además de tres dietas bialgales (R+T, T+P, R+P) y una trialgial (R+T+P). Se midieron indicadores bioquímicos (contenido de ácidos grasos DHA y EPA, y monosacáridos en tejidos de copépodos) junto con parámetros morfológicos relacionados a la reproducción (volumen corporal y volumen del saco ovígero en hembras). Los resultados mostraron diferencias marcadas según la dieta: las hembras alimentadas con *R. salina* en combinación con *T. lutea* presentaron los mayores contenidos de ácidos grasos totales, destacando un aumento significativo de EPA, y al mismo tiempo produjeron huevos de mayor

volumen en cada puesta. En específico, la dieta mixta R+T propició el mayor volumen prosomal en hembras y las mayores camadas de huevos, correlacionándose esto con el alto aporte de EPA por parte de *Rhodomonas*. Por el contrario, la microalga *Pavlova* (dieta P) no mejoró la fecundidad ni el perfil nutricional de *P. nana*, incluso cuando se combinó con otras. En conclusión, este antecedente indicó que las dietas que incluyen *R. salina* (particularmente en conjunto con *T. lutea*) optimizan la productividad y calidad nutricional de *P. nana*, recomendando R + T como la mejor combinación algal para cultivos masivos de este copépodo. El estudio evidencia la importancia de seleccionar adecuadamente la dieta microalgal para maximizar la fecundidad y el contenido de ácidos grasos esenciales en copépodos utilizados como alimento vivo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Sánchez et al. (2025), publicaron el artículo titulado “Comportamiento alimentario de *apocyclops spartinus* (copepoda: cyclopoida) sobre *pavlova lutheri* (haptophyta) en condiciones de laboratorio”, de la Revista Ecología Aplicada, en Lima. Tuvo como objetivo describir la tasa de ingestión y filtración de *A. spartinus* según sus distintas etapas de desarrollo. Para ello, se cultivaron lotes del copépodo con abundancia controlada de *P. lutheri* y se registró cuánta biomasa algal consumían por unidad de tiempo hembras, machos y juveniles. El estudio determinó que las hembras adultas son las más voraces, con una tasa de ingestión notablemente mayor (aproximadamente 60,7 % del total de algas consumidas) en comparación con los machos (36,1 %). Los estadios jóvenes contribuyeron muy poco al consumo total (copepoditos ~2,5 % y nauplios apenas 0,6 %), lo que indica que la capacidad alimentaria aumenta

drásticamente con la madurez del copépodo. Además, se observó que la tasa de filtración (algas filtradas del medio por individuo) siguió tendencias similares, correlacionada con la morfología del borde oral de cada sexo/etapa. En conclusión, Sánchez-Dávila y colegas infieren que las hembras adultas de *A. Spartinus* son las principales responsables del consumo de microalgas en el cultivo, dato importante para ajustar raciones y densidades algales en crías controladas de este copépodo. Este antecedente nacional proporciona lineamientos sobre cómo optimizar la alimentación de copépodos nativos en base a su biología, contribuyendo al desarrollo de técnicas de cultivo localmente adaptadas.

Figueroa (2024), realizó la tesis “Efecto en los cultivos del copépodo *apocyclops* aff. *spartinus* alimentados con la microalga *Diacronema lutheri*, y los hongos *schizochytrium* sp y *saccharomyces cerevisiae*”, de la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Lima. El objetivo fue investigar el efecto de diferentes dietas en el cultivo del copépodo *Apocyclops* aff. *spartinus*, un ciclopoide bentónico de interés acuícola. Comparó tres fuentes alimenticias: la microalga *Diacronema lutheri* (sin. Pavlova), y dos tipos de microorganismos no algales – la cepa de hongo marino *Schizochytrium* sp. (productor de DHA) y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Se cultivaron poblaciones de *Apocyclops* bajo condiciones estandarizadas, suministrando cada dieta por separado, y se evaluó el rendimiento del cultivo durante varias semanas. Se tomaron datos de crecimiento poblacional (incremento en densidad), así como análisis de la composición bioquímica de los copépodos (perfil de ácidos grasos) para cada tratamiento. Los resultados mostraron que la dieta microalgal (*D. lutheri*) fue claramente superior en términos de calidad nutricional transferida y productividad del copépodo. Los individuos alimentados con

Diacronema acumularon en promedio 565,37 µg/g de DHA y 116,51 µg/g de EPA en su biomasa – concentraciones muy por encima de las obtenidas con las dietas de levadura, que prácticamente no aportaron HUFAs. Asimismo, la mayor densidad de copépodos se alcanzó alimentando con *D. lutheri*, observándose un crecimiento poblacional sostenido, mientras que las dietas con *Saccharomyces* o *Schizochytrium* produjeron densidades menores y copépodos de menor calidad nutricional (con déficit de ácidos grasos esenciales). Se concluyó que las dietas mixtas (combinando microalgas con otros suplementos) podrían mejorar aún más el rendimiento, pero enfatizó que una microalga de alto perfil lipídico como *D. lutheri* es indispensable para obtener copépodos nutricionalmente enriquecidos. Este antecedente nacional evidencia que, en el Perú, la selección de dietas adecuadas (priorizando microalgas ricas en HUFA) resulta importante para optimizar el cultivo de copépodos y su valor como alimento vivo.

2.1.3. Antecedentes locales

Aldea (2023), presentó el estudio “Efecto de la salinidad en el cultivo de *Oithona Nana* (Copepoda: Cyclopoida) en condiciones de laboratorio”, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, en Tacna. Se planteó como objetivo determinar el efecto de la salinidad en el crecimiento poblacional, desarrollo y reproducción de *O. nana*, bajo la hipótesis de que niveles salinos intermedios optimizarían su ciclo de vida. Se llevaron a cabo cultivos experimentales del copépodo con cinco tratamientos de salinidad: 15, 20, 25, 30 y 35 ups, manteniendo constantes los demás factores (temperatura ~28 °C, iluminación 125 lux, dieta fija de *Isochrysis galbana* a 100,000 cél/mL). Los hallazgos evidenciaron un efecto significativo de la

salinidad sobre la población de *O. nana*: la densidad poblacional más alta se obtuvo a 25 ups, alcanzando en promedio $\sim 3,634 \pm 869$ individuos/L (con ~ 67 % de copepoditos en la estructura poblacional). En cambio, a la salinidad más elevada (35 ups) la densidad final fue mucho menor ($\sim 1,305 \pm 397$ ind/L), indicando que salinidades excesivas limitan la reproducción o supervivencia. Asimismo, el tiempo de desarrollo de *O. nana* desde nauplio hasta adulto disminuyó notablemente en salinidades bajas: a 15 ups, las hembras alcanzaron la madurez en $\sim 6,88 \pm 0,23$ días, frente a $\sim 9,71 \pm 0,41$ días a 35 ups. Se registró además la relación sexual más favorable en 15 ups (aprox. 1,33 macho:1 hembra) y la mayor tasa de puesta: las hembras en 15 ups depositaron huevos más frecuentemente, logrando intervalos inter-desove de apenas $\sim 13,1 \pm 1,7$ horas, significativamente menores que en medios más salinos. En conclusión, se determinó que la salinidad óptima para cultivar *Oithona nana* oscila entre 15 y 25 ups, rango en el cual se observó un desarrollo más rápido, mayor producción de huevos por hembra y crecimiento poblacional superior. El estudio subrayó la importancia de controlar la salinidad del medio de cultivo para maximizar el rendimiento de copépodos en la región Tacna, proporcionando lineamientos específicos para futuros criadores locales.

Torres (2019), elaboró la tesis titulada “Efecto de las microalgas *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros* sp. en la producción de copépodos marinos nativos cultivados en condiciones de laboratorio”, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, en Tacna. Tuvo como objetivo general evaluar cómo influían dos dietas microalgales – *Isochrysis* (Iso) y *Chaetoceros* (Ch), solas y mezcladas – sobre parámetros poblacionales y reproductivos de copépodos marinos nativos de Tacna. Para ello, Torres aisló dos especies locales del plancton: *Hemicyclops* sp. y *Oithona nana*,

cultivándolas bajo condiciones controladas ($28 \pm 0,5$ °C, 35 % salinidad, fotoperiodo 12:12) con tres tratamientos alimenticios: dieta monoalgas Iso, dieta monoalgas Ch (ambas a 200 000 cél/mL) y dieta mixta (100 000 cél de Iso + 100 000 cél de Ch/mL). Tras un periodo de cultivo, los resultados mostraron que *Hemicyclops sp.* presentó su mayor tasa de ingestión con la dieta Isochrysis ($28,83 \times 10^4$ células/individuo/hora), mientras que *Oithona nana* mostró la mayor tasa de ingestión con la dieta *Chaetoceros* ($15,42 \times 10^4$ cél/ind/h). En cuanto a la reproducción, *O. nana* registró un número ligeramente superior de desoves acumulados por hembra al alimentarse con *Chaetoceros* puro o con la dieta mixta (8-9 desoves en 15 días) frente a ~ 7 desoves con Isochrysis. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas en la fecundidad total (población total de copépodos obtenida) ni en la duración del desarrollo de estadios entre las distintas dietas para ninguna de las dos especies estudiadas. La conclusión principal fue que ambas microalgas evaluadas – *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros sp.* – resultan adecuadas como alimento, ya sea suministradas individualmente o en combinación, para el cultivo de *Hemicyclops sp.* y *Oithona nana*.

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. Acuicultura

La acuicultura constituye una actividad que abarca múltiples prácticas, una gran diversidad de especies y distintos sistemas de producción. Se entiende como el proceso de crianza y obtención de organismos acuáticos mediante el uso de técnicas y herramientas orientadas a optimizar su rendimiento (APROMAR, 2015).

La acuicultura es la producción de animales y plantas en agua utilizando técnicas diseñadas para mejorar su rendimiento. Es una actividad similar a la ganadería y la agricultura en el campo. Abarca una variedad de prácticas y una gama muy amplia de especies y sistemas de producción (APROMAR, 2016).

2.2.2. Alimento Vivo

Uno de los aspectos más trabajados de la acuicultura es la producción y extracción de alimentos que cubran los requerimientos nutricionales de cada especie de cultivo. El suministro de alimento vivo, compuesto por fitoplancton y zooplancton, resulta fundamental para el crecimiento y desarrollo de las fases larvarias de peces, crustáceos y moluscos. Los estudios se orientan hacia el uso de microorganismos como fuente alimenticia, siendo un campo que continúa en proceso de expansión y perfeccionamiento (Ariza et al., 2010).

Los alimentos vivos son un grupo de organismos que componen plancton (fitoplancton y zooplancton), que forman la unidad básica de producción de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos. Los copépodos son importantes para la red alimentaria marina, ya que brindan una fuente de nutrientes y desempeñan un rol significativo en el ciclo de alimentación en el océano (Coppock et al., 2019).

2.2.3. Copépodos

Los copépodos son pequeños crustáceos acuáticos y constituyen uno de los grupos de metazoos más numerosos en las comunidades acuáticas. Los copépodos poseen una notable capacidad de adaptación,

pues habitan en un rango muy amplio de salinidades que va desde ambientes de agua dulce hasta zonas hipersalinas. Estos organismos se encuentran prácticamente en cualquier entorno acuático: desde cuevas subterráneas y pequeños reservorios en hojas de bromelias o en hojarasca húmeda, hasta riachuelos, ríos, lagos, mar abierto e incluso en los sedimentos del fondo. En cuanto a sus formas de vida, pueden presentarse como parásitos internos o externos, establecer relaciones simbióticas o desarrollarse de manera libre en casi todos los principales filos de metazoos. Respecto a su tamaño, los adultos suelen medir entre 1 y 2 mm de longitud, aunque existen especies de vida libre que alcanzan dimensiones tan reducidas como 0,2 mm o tan extensas como 17 mm.

Desde el punto de vista ecológico, los copépodos planctónicos cumplen una función importante como eslabones en las redes tróficas acuáticas. Estos organismos se alimentan de células de fitoplancton microscópico y, a su vez, constituyen una fuente primaria de energía para peces juveniles, otros animales planctívoros e incluso para especies de gran tamaño como algunas ballenas. En ambientes de agua dulce, además, se les reconoce un valor adicional como agentes de control biológico, dado que son capaces de reducir poblaciones de mosquitos al consumir sus larvas, contribuyendo así al control natural de enfermedades como la malaria. Sin embargo, también sirven como huéspedes intermediarios de muchos parásitos animales e incluso de parásitos humanos, incluidas la tenia del pez y el gusano de guinea (Walter & Boxshall, 1983).

La mayor parte de las especies de copépodos se encuentran en ambientes marinos, aunque también existen variedades que habitan en agua dulce. Además, se han identificado formas que prosperan en suelos

húmedos, en sedimentos o en estrecha relación con otros organismos, ya sea como parásitos, simbioses o asociados a comunidades de algas. Esta diversidad de hábitats muestra su alta capacidad de adaptación y su función ecológica en distintos ecosistemas acuáticos y terrestres (Bjørnberg, 1981). Con aproximadamente 11.500 especies descritas, forman el grupo de metazoos más numeroso de la biosfera (Jaume et al., 2004).

Existen 10 órdenes taxonómicos de oxópodos, 9 de los cuales tienen representantes marinos (*Calanoida*, *Cyclopoida*, *Harpacticoida*, *Platycopoida*, *Misophrioida*, *Poecilostomatoida*, *Siphonostomatoida*, *Mormonilloida*, *Monstrilloida*). Los órdenes marinos más importantes son *Calanoida*, *Cyclopoida* y *Harpacticoida* (Boxshall & Jaume, 2000).

2.2.3.1. Orden *Calanoida*.

La familia de los calanoides incluye principalmente especies pelágicas o planctónicas, y los representantes de aguas dulces, costeras, estuarinas y marinas son en su mayoría especies marinas. Las 18 especies que viven en los humedales de la red de seguimiento pertenecen a la familia *Diaptomidae*, que normalmente incluye especies de plancton (Junta de Andalucía, 2010).

Un calanoide tiene una vida útil relativamente larga, que llega hasta un año y más que los ciclopoideos y los harpacticoideos. Son gimnopleones, lo que significa que sus cuerpos están articulados entre la somita, que lleva el quinto par de patas, y el segmento genital (Junta de Andalucía, 2010).

El cuerpo es alargado, cilíndrico, fusiforme y claramente segmentado. La longitud total del cuerpo, incluidos pies caudales, es de 1,00 a 2,75 mm. (Balcer et al., 1984). El cuerpo tiene dos divisiones; parte anterior que consta de metasomas de seis segmentos y una parte posterior estrecha de urosomas de cinco segmentos en los machos y dos o tres urosomas segmentados en las hembras (Niehoff, 2007).

2.2.3.2. Taxonomía

Reino: *Animalia*

Filo: *Arthropoda*

Subfilo: *Crustacea*

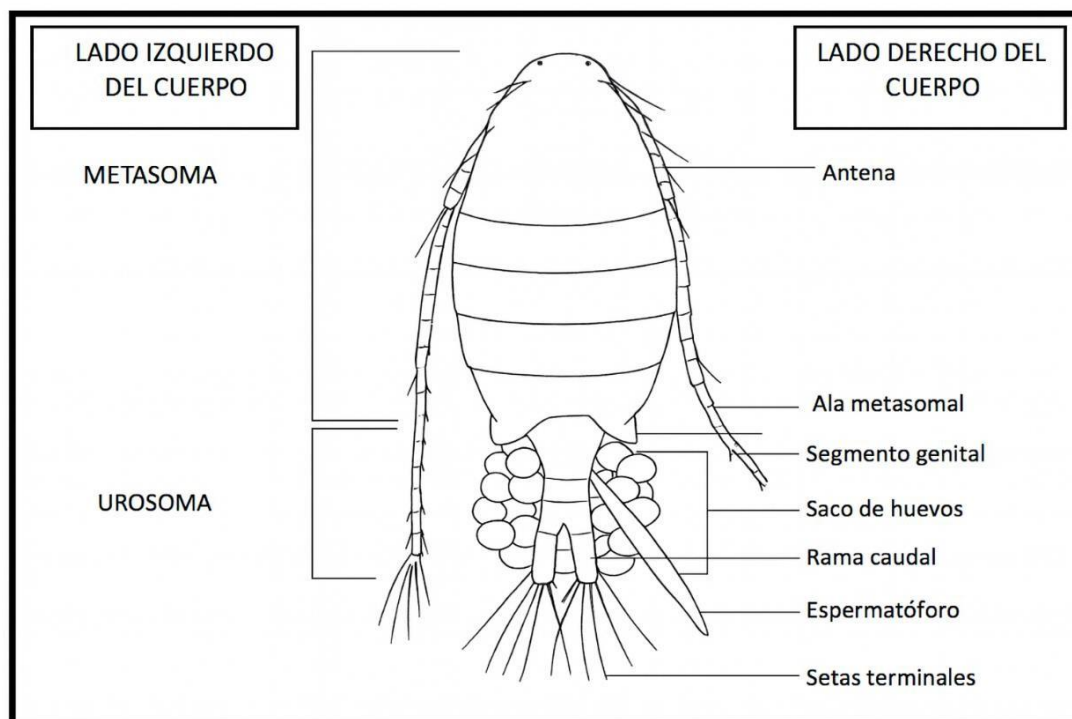
Clase: *Maxillopoda*

Subclase: *Copepoda*

Orden: *Cyclopoida / Calanoida / Harpacticoida* (Fernández, 2015).

Figura 1

Estructura típica de copépodo femenino Calanoida.



Nota. Balcer et al. (1984)

2.2.3.3. Distribución

La distribución de los calanoides en el medio marino, abarcando mares, océanos, lagunas y charcas del litoral, desde la superficie hasta el fondo oceánico. En el caso de la fauna ibérica y macaronesia, se hace referencia a la presencia de copépodos y otras especies en las aguas del Atlántico y del Mediterráneo que bañan las costas de España y Portugal. Se denota el carácter planctónico de estos organismos, resaltando que su distribución está condicionada por la dinámica de las corrientes marinas. Dichas corrientes arrastran masas de agua con origen diverso hacia las

costas de la península ibérica, particularmente en la zona atlántica occidental, lo que influye en la composición y procedencia de las comunidades planctónicas presentes en esa región. Se describe la bifurcación de la Corriente del Golfo y la formación de la corriente de Canarias, que afecta las aguas a lo largo de las costas portuguesas y el suroeste del archipiélago canario (Fernández, 2015).

El texto indica que la distribución de especies puede variar vertical y horizontalmente entre diferentes áreas. Sin embargo, señala que las especies de copépodos en zonas portuarias o confinadas tienden a ser similares en todo el mundo, debido a su resistencia y adaptabilidad a gradientes físicos, lo que las hace cosmopolitas. En contraste, las especies neríticas uoceánicas muestran diferencias notables entre los océanos en términos de su distribución, especialmente longitudinalmente (Fernández, 2015).

2.2.3.4. Alimentación

La alimentación de los copépodos se puede dividir en dos tipos principales: alimentación por emboscada y alimentación a través de flujos de alimentos (Kiørboe, 2011). La mayoría de los copépodos planctónicos son herbívoros y utilizan sus antenas y apéndices corporales para filtrar el fitoplancton del agua de mar, creando una corriente de agua que fluye con su alimento a través de su abdomen hasta llegar a la boca (Isari et al., 2013).

Algunos copépodos del orden Calanoida utilizan un estilo de emboscada, pero la mayoría de los copépodos producen corrientes de alimento (pelágicos). Esto se logra haciendo vibrar sus apéndices

alimentarios, y algunas especies usan sus patas palmeadas en patrones regulares y complejos. En la mayoría de las especies, el flujo de alimento no pasa a través de un filtro y se comporta como un flujo sensor. Es decir, la presa que llega con el flujo de alimento es percibida y capturada individualmente por la mandíbula superior, que se expande en respuesta a la presa que se acerca (Kiørboe, 2011).

Dependen prácticamente de ambos o de uno solo de nutrición y viven dentro de la columna de agua, aunque ciertos copépodos se alimentan regularmente en grupos sobre la superficie del agua. Las observaciones y los modelos dan cuenta que este tipo de alimentación puede ser cuantitativamente importante.

2.2.3.5. Locomoción

El desplazamiento de los copépodos se realiza principalmente gracias al batido de sus antenas, que en la mayoría de los grupos están altamente desarrolladas, y al movimiento de sus apéndices natatorios. Una característica distintiva de este grupo es la presencia de escleróticas intercocales, estructuras que permiten coordinar de manera sincrónica el movimiento del esternón durante la natación, garantizando así una locomoción más eficiente (Jaume et al., 2004).

2.2.3.6. Crecimiento

- Nauplius: No existe mucha data sobre el desarrollo de los diversos estadios de los nauplios, pero generalmente se puede decir que sólo en casos muy raros los nauplios VI (*Eucalanus*, *Rincallanus*) alcanzan un

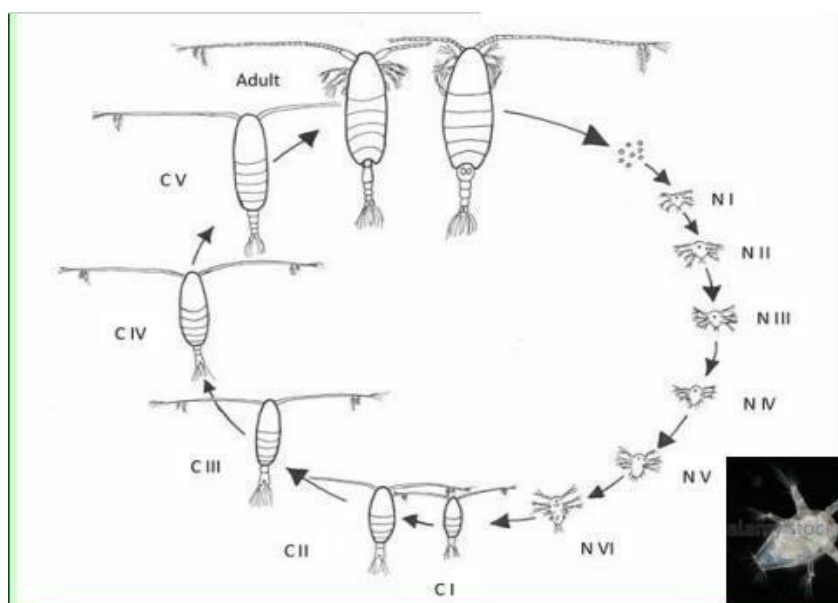
tamaño ligeramente superior a 1 milímetro. Su tamaño suele ser inferior a 0,5 mm. (Sazhina, 1985).

- Copepoditos y copépodos: Las investigaciones acerca del tamaño de las diferentes fases de desarrollo de los copépodos han evidenciado variaciones tanto entre regiones como dentro de una misma especie a lo largo del año. En términos generales, se ha observado que los ejemplares que habitan en aguas frías tienden a alcanzar mayores dimensiones corporales que aquellos que se desarrollan en aguas templadas. De manera similar, los individuos presentes durante la primavera suelen mostrar tallas superiores en comparación con los que aparecen en otoño e invierno. Esto ocurre típicamente en poblaciones o conjuntos de neritas de la capa superior, pero a cierta profundidad hay fluctuaciones mínimas de tamaño en respuesta a temperaturas prácticamente uniformes (Fernández, 2015).
- El hecho de que la temperatura afecte directamente al tamaño, mientras que la falta de alimento sólo retarda el desarrollo, explica que el tamaño varía dependiendo de la profundidad de pesca en las mismas condiciones (Fernández, 2015).

Tabla 1**Estadios de los copépodos**

Estadio	Características
NI	Recién salido del huevo
NII	Muda 1
NIII	Muda 2
NIV	Muda 3
NV	Muda 4
NVI	Muda 5
CI	Solo 3 pares de patas
CII	4 pares de patas
CIII	5 pares de patas, 1 somito urosomal ápodo + telson
CIV	5 pares de patas, 2 somitos urosomales ápodos + telson
CV	5 pares de patas, aunque las ramas no han alcanzado la segmentación definitiva, 3 somitos urosomales ápodos + telson
Adulto	5 pares de patas con la segmentación definitiva, 4 somitos urosomales ápodos + telson. La mayoría de las hembras solo cuenta con 3 somitos urosomales ápodos + telson por la integración del somito genital y el primer somito abdominal en uno solo.

Nota. Jaume et al. (2004)

Figura 2**Ciclo de vida del copéodo**

Nota. Gómez (2021)

2.2.3.7. Reproducción

- **Cópula y freza:** El hecho de que los machos no tengan órganos copuladores y los espermatozoides tampoco tengan elementos móviles (ni flagelos) significa que la cópula ha sido resuelta por la asombrosa evolución de los órganos reproductores masculinos que producen espermatozoides. El macho está adherido a la hembra, normalmente manteniéndola en su lugar con sus antenas o su esternón. Luego usa su quinta pata para sostener a la hembra en una rama y usa la otra rama para unir el espermatóforo a su cuerpo. La adhesión se origina debido a una sustancia viscosa en el extremo abierto del espermatóforo (Fernández, 2015).
- **Luego, los espermatozoides ingresan al cuerpo de la mujer a través de un depósito llamado oviducto.** Se encuentra cerca de la abertura genital. La fertilización de los óvulos ocurre durante la temporada de desove. Huevos que pasan por la abertura genital. La madurez puede variar mucho. Algunas especies tropicales se reproducen continuamente durante todo el año, mientras que otras sólo se reproducen una vez al año (Fernández, 2015).
- **Eclosión del huevo:** Los huevos descienden por el oviducto y, tras ser fecundados por el esperma almacenado en las gonotecas, inician su desarrollo. En algunos casos, ciertos óvulos adquieren un tono ámbar y degeneran rápidamente, sin completar el proceso de fecundación. No obstante, otros continúan su ciclo y, dependiendo de la temperatura ambiental y del tiempo transcurrido, logran eclosionar de manera sincrónica. En este punto, los huevos pasan de un color azulado tenue a volverse totalmente transparentes, permitiendo observar los

movimientos cada vez más activos del nauplio, que finalmente rompe la membrana para emerger (Fernández, 2015).

2.2.3.8. *Calanus chilensis*

a) Hábitat

Según Brodsky (1959), el *Calanus chilensis* es un copépodo calanoideo característico del sistema de la Corriente de Humboldt en el Pacífico sudeste, distribuyéndose desde las aguas cercanas al Ecuador hasta aproximadamente los 42°S en la costa de Chile. Se trata de una especie endémica de este ecosistema de afloramiento, adaptada a condiciones de aguas frías, ricas en nutrientes y sujetas a una gran variabilidad oceanográfica producto de los procesos de surgencia. Su presencia y dinámica poblacional han sido estudiadas por diversos autores, entre los que destacan Escribano et al. (1997), quienes han aportado información relevante sobre su crecimiento, desarrollo y variación estacional, así como Rivera et al. (2023), quienes han modelado su distribución actual y futura frente al cambio climático.

b) Morfología

De acuerdo con Escribano et al. (1997), la talla corporal de los individuos adultos de *C. chilensis* varía en función de la temperatura de la columna de agua. A medida que las temperaturas aumentan, las tallas de los adultos tienden a ser menores, lo que evidencia una relación negativa entre la temperatura ambiental y el tamaño alcanzado. Este mismo patrón se observa en los estadios copepoditos CIV y CV, los cuales también experimentan cambios en talla de acuerdo con las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento. Investigaciones Escribano et al. (1997) en

la Bahía Mejillones demostraron que la tasa de desarrollo de este copépodo está fuertemente condicionada tanto por la temperatura como por la cantidad de alimento disponible. En ambientes más cálidos y con abundancia de fitoplancton, el desarrollo se acelera y el crecimiento resulta más eficiente; sin embargo, si el alimento es limitado, los efectos de la temperatura se ven restringidos.

c) Nutrición

Según Massing et al. (2021), la nutrición de *Calanus chilensis* se integra dentro de una estructura trófica altamente productiva característica del sistema de surgencia de la Corriente de Humboldt. Este copépodo cumple el rol de consumidor primario superficial, alimentándose principalmente de fitoplancton disponible en la capa eufótica, en particular de diatomeas y dinoflagelados asociados a eventos de afloramiento. Presenta un patrón alimentario distinto a otros calánidos de sistemas de surgencia, ya que no acumula grandes reservas lipídicas ni realiza migraciones ontogenéticas profundas para acceder a fuentes alternativas de energía. Por ello, su nutrición depende fuertemente de la disponibilidad continua de microalgas en superficie.

d) Desarrollo

En cuanto a su ciclo de vida, *Calanus chilensis* logra completar varias generaciones por año, especialmente en el norte de Chile, donde el fenómeno de afloramiento es constante. Esto le confiere una gran capacidad de respuesta frente a los cambios estacionales, aunque fenómenos como El Niño y La Niña pueden alterar su abundancia y distribución, modificando la disponibilidad de nutrientes, la temperatura y la

salinidad de las aguas. En el plano espacial, se le suele encontrar en las capas superficiales de la columna de agua, generalmente entre los 0 y 50 metros de profundidad, sobre todo cuando la termoclina se ubica en zonas altas. Asimismo, su distribución horizontal tiende a concentrarse en áreas costeras y de surgencia activa.

e) Importancia

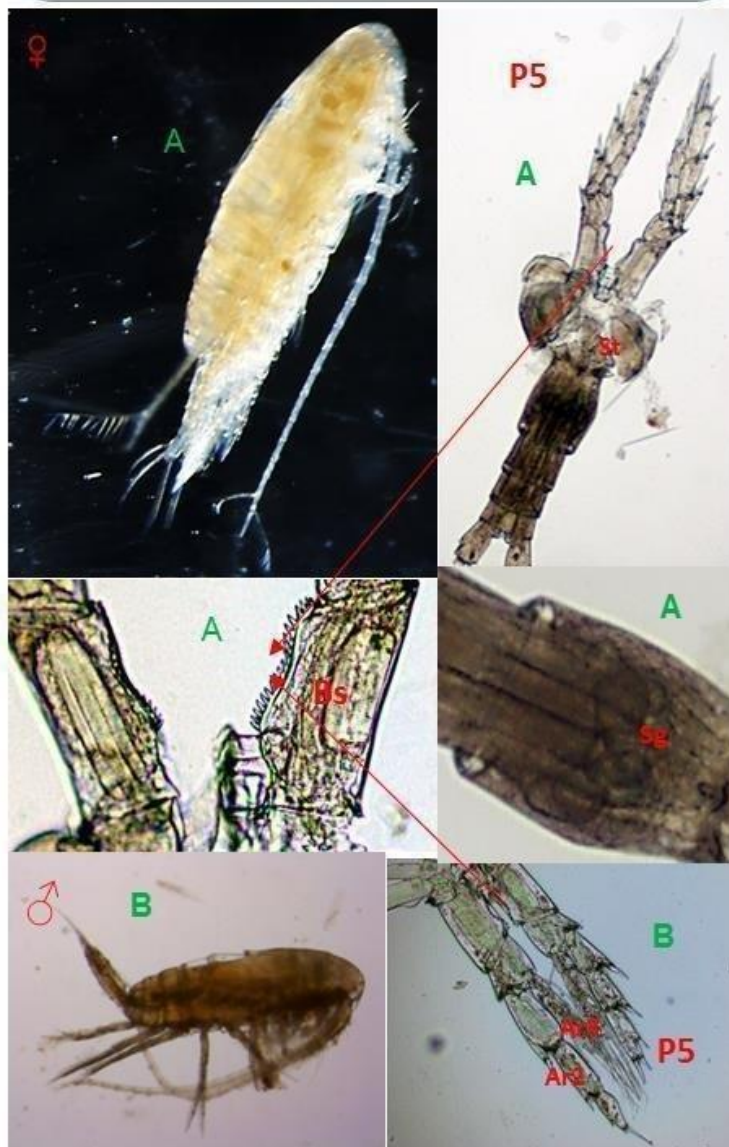
El papel ecológico de *C. chilensis* dentro del ecosistema de la Corriente de Humboldt ha sido subrayado por Rivera et al. (2023), quienes destacan que constituye un eslabón fundamental en la cadena trófica, al conectar la producción primaria del fitoplancton con los niveles superiores de consumidores. Este copépodo participa de manera activa en el reciclaje de nutrientes y en el transporte de carbono hacia capas profundas, influyendo de forma significativa en los procesos biogeoquímicos de la región. Su abundancia, distribución y sensibilidad a las condiciones ambientales lo convierten en una especie indicadora del estado del ecosistema marino.

Según los modelos desarrollados por Rivera et al. (2023), las variables que mejor explican su distribución actual son la concentración de clorofila-a, la profundidad de la capa mezclada y la salinidad. Estas condiciones permiten predecir con bastante precisión las áreas de mayor idoneidad para la especie, las cuales abarcan desde Ecuador hasta el sur de Sudamérica en profundidades de 0 a 200 metros, mientras que a mayor profundidad su presencia disminuye.

No obstante, las proyecciones bajo escenarios de cambio climático indican que el rango geográfico de *Calanus chilensis* podría reducirse

significativamente. El incremento de la temperatura del mar, acompañado de alteraciones en la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la profundidad de la capa mezclada, podría restringir sus poblaciones hacia el sur o limitarlas a zonas donde el afloramiento permanezca fuerte. Ello supone un riesgo para el equilibrio ecológico del sistema de Humboldt, dado que la especie desempeña un rol esencial en el flujo de energía y nutrientes entre productores y consumidores marinos.

Figura 3

Calanus chilensis

Nota. Brodsky (1959)

2.2.4. Las microalgas

Las microalgas son organismos unicelulares eucariotas que llevan a cabo la fotosíntesis, siendo fundamentales en la producción primaria en la cadena alimentaria. Tienen un tamaño típico que oscila entre 5 y 50 micrómetros, lo que las hace fácilmente consumibles por muchos organismos que se alimentan principalmente de fitoplancton. Estas microalgas contienen clorofila-a, lo que les otorga un color verde similar al de las plantas, y dependen de la luz para su desarrollo y la producción de materia orgánica, siendo así una parte esencial del ecosistema acuático (Candela, 2015).

Las algas, que abarcan tanto las algas marinas como las microalgas, representan aproximadamente el 30 % de la producción acuícola mundial, medida en peso húmedo, con mayor énfasis en las algas marinas. Estas especies de algas proporcionan importantes beneficios socioeconómicos a miles de hogares, especialmente en comunidades costeras, donde muchas mujeres encuentran empoderamiento a través del cultivo de algas marinas. Además, se están reconociendo cada vez más las contribuciones de las algas y microalgas a la salud humana, los beneficios ambientales y los servicios ecosistémicos, lo que está generando un creciente interés en el potencial aún no explotado del cultivo de algas y microalgas (Cai et al., 2021).

2.2.5. Microalgas utilizadas en la acuicultura

2.2.5.1. *Isochrysis galbana*

- Descripción

Se trata de una microalga de tonalidad dorada-amarillenta, sin cubierta externa, compuesta por una sola célula y dotada de dos flagelos. Sus pigmentos más destacados son la clorofila a, c1 y c2, siendo la clorofila a la que se encuentra en mayor proporción en su composición (Zapata & Garrido, 1997).

Esta variedad de microalga prospera óptimamente en un rango de temperatura que va desde los 18°C hasta los 25°C, y requiere un pH del mediodo cultivo que oscile entre 7 y 9,5, aunque prefiere específicamente un pH que sesitúe entre 7,65 y 8,00 para su desarrollo (Albentosa et al., 1996).

Isochrysis galbana es una microalga que tiene la capacidad de generar grandes cantidades de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), lo cual es relevante debido a su utilidad en la acuicultura y su vínculo con la salud humana, destacando especialmente el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) (Kaplan et al., 1986).

- Clasificación taxonómica

Reino	:	<i>Chromalveolata</i>
Filo	:	<i>Haptophyta</i>
Clase	:	<i>Prymnesiophyceae</i>

Orden	:	<i>Isochrysidales</i>
Familia	:	<i>Isochrysidaceae</i>
Género	:	<i>Isochrysis</i>
Especie	:	<i>Isochrysis galbana</i> (Parke, 2009).

2.2.5.2. *Chaetoceros muelleri*

- Descripción

La microalga *C. muelleri* (Lemmerman) es parte de la clase Bacillariophyceae y tiene una amplia aplicación en la acuicultura como alimento para peces, crustáceos y moluscos bivalvos. En el Noroeste de México, específicamente, se emplea en la cría de larvas de camarón y moluscos, así como en la producción de alimento vivo o intermediarios durante la crianza de larvas de peces (López et al., 2019).

La microalga en cuestión exhibe una morfología rectangular o elíptica con un color café y dimensiones comprendidas entre 4 y 9 μm . Sus apéndices, denominados setas, sobrepasan en longitud al cuerpo en una proporción de dos veces y presentan una estructura delgada. Esta microalga es capaz de reproducirse en condiciones de salinidad de 35 ppm, y su rango óptimo de temperatura abarca desde los 15 hasta los 30°C. Destaca por su notable contenido energético, proteico y de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), superando incluso a otras diatomeas en esta característica, aunque exhibe un bajo contenido de carbohidratos (Allen & Nelson, 1910) (Velasco et al., 2016).

- Clasificación taxonómica

Reino	:	<i>Chromista</i>	
Filo	:	<i>Bacillariophyta</i>	
Clase	:	<i>Mediophyceae</i>	
Orden	:	<i>Chaetocerotales</i>	Familia :
		<i>Chaetocerotaceae</i>	Género :
		<i>Chaetoceros</i>	
Especie	:	<i>C. muelleri</i> (Salazar & Cornejo, 2022).	

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- a) **Acuicultura:** Constituye una actividad que abarca múltiples prácticas, una gran diversidad de especies y distintos sistemas de producción (APROMAR, 2015).
- b) **Alimento vivo:** Grupo de organismos que componen plancton (fitoplancton y zooplancton), que forman la unidad básica de producción de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos (Coppock et al., 2019).
- c) **Calenoides:** Incluye principalmente especies pelágicas o planctónicas, y los representantes de aguas dulces, costeras, estuarinas y marinas son en su mayoría especies marinas (Junta de Andalucía, 2010).
- d) ***Chaetoceros muelleri*:** Es parte de la clase Bacillariophyceae y tiene una amplia aplicación en la acuicultura como alimento para peces, crustáceos y moluscos bivalvos (López et al., 2019).

- e) **Copépodos:** Son pequeños crustáceos acuáticos y constituyen uno de los grupos de metazoos más numerosos en las comunidades acuáticas (Walter & Boxshall, 1983).
- f) ***Isochrysis galbana*:** Microalga de tonalidad dorada-amarillenta, sin cubierta externa, compuesta por una sola célula y dotada de dos flagelos (Zapata & Garrido, 1997).
- g) **Locomoción:** El desplazamiento de los copépodos se realiza principalmente gracias al batido de sus antenas, que en la mayoría de los grupos están altamente desarrolladas, y al movimiento de sus apéndices natatorios (Jaume et al., 2004).
- h) **Microalgas:** Son organismos unicelulares eucariotas que llevan a cabo la fotosíntesis, siendo fundamentales en la producción primaria en la cadena alimentaria (Candela, 2015).

CAPÍTULO III

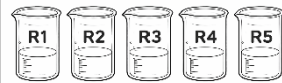
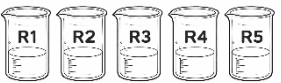
MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO

El estudio fue de tipo experimental.

Figura 4

Diseño experimental con tres dietas microalgales

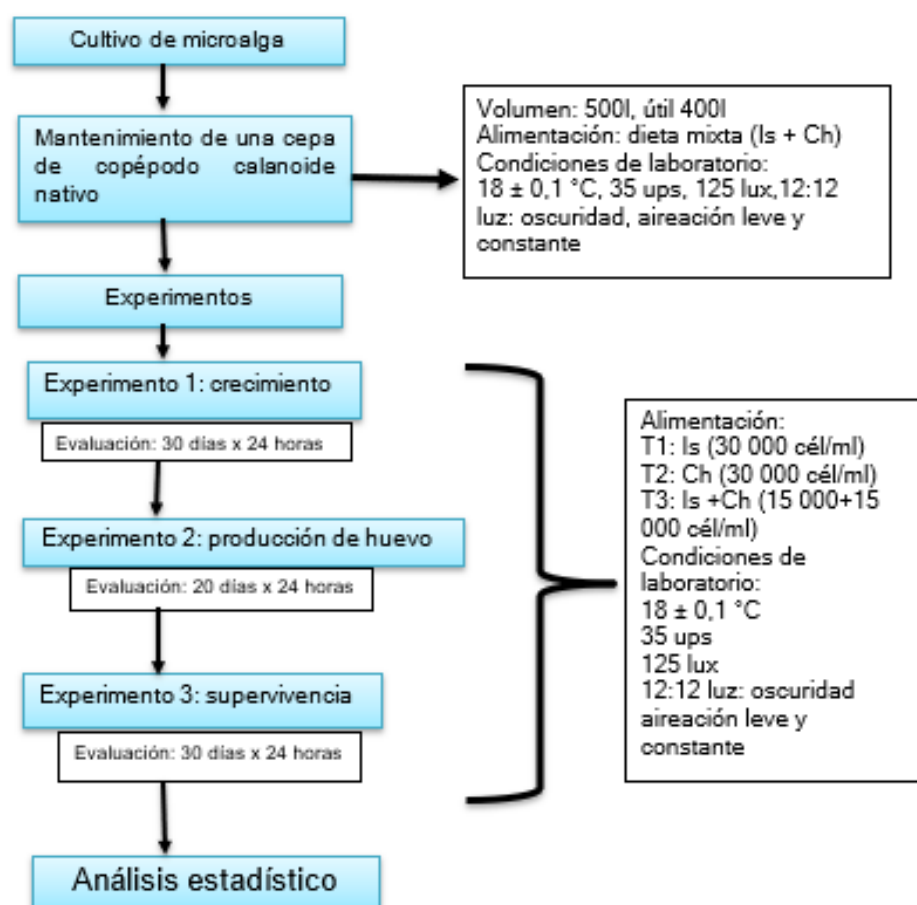
Muestra/ Dietas	Is	Ch	Is + Ch
Copépodo calanoide			

Nota. Se puede apreciar un diseño experimental Is: *Isochrysis galbana*, Ch: *Chaetoceros muelleri*. Mixto: *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros muelleri*. Elaboración propia (2025)

El diseño procedimental fue:

Figura 5

Diagrama del método experimental que se aplicara en el trabajo de investigación



Nota. Elaboración propia (2025)

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El estudio presentó un nivel descriptivo aplicativo

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: *Calanus chilensis* (calanoidea: calanidae)

Variable dependiente: Microalgas

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA
VARIABLE DEPENDIENTE Copépodo calanoide nativo	Son pequeños microorganismos acuáticos, que sirven como alimento vivo alternativo por su contenido nutricional.	• Crecimiento • Producción de huevo • Supervivencia	• Crecimiento poblacional • Desarrollo por estadio • Cantidad de huevo por desove • Densidad inicial • Densidad final	(ind/ml)
VARIABLE INDEPENDIENTE Microalgas	Las microalgas son microorganismos microscópicos (2 a 200µm) fotosintéticos.	<i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros muelleri</i> Mixta: <i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros muelleri</i>	Densidad celular	Cel/mL

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: Copépodos calanoide nativos aislados

Muestra: *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae)

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnica: Observación

Instrumento: Ficha de registro

3.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISI DE DATOS

3.6.1. Ubicación geográfica y temporal

Este estudio de investigación se llevó a cabo como parte del proyecto titulado "Producción experimental de copépodos calanoides nativos con alto contenido nutricional para la acuicultura marina", llevado a cabo por la Universidad Nacional Jorge BasadreGrohmann (UNJBG). El trabajo se realizó en el laboratorio especializado de maricultura y pesca de Vila Vila, que forma parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, ubicado en el Km 58 de la carretera Costanera, en el distrito de Sama, provincia y región de Tacna.

Figura 6

Vista satelital del laboratorio especializado de maricultura y pesca de Vila Vila.



3.6.2. Unidad de estudio

La unidad de estudio está constituida por organismos pertenecientes a una cepa de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae), recolectada previamente en cuerpos de agua costeros de la región de Tacna y mantenida en condiciones de cultivo controlado en el laboratorio especializado de maricultura y pesca de Vila Vila. Estos organismos fueron sometidos a diferentes tratamientos alimenticios con dietas microalgales (monoespecíficas y mixtas) para evaluar sus efectos sobre el crecimiento, la producción de huevos y la supervivencia.

3.6.3. Método

3.6.3.1. Procedimiento de investigación (metodología experimental)

3.6.3.1.1. Cultivo de microalgas

i. Origen de las cepas y condiciones de cultivo

Las cepas de las microalgas *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri* serán obtenidas del laboratorio especializado de maricultura y pesca de Vila Vila. Estas cepas se cultivarán en condiciones controladas utilizando agua marina previamente filtrada mediante dos filtros de cartucho dispuestos en serie. El agua será desinfectada utilizando dos lámparas de luz ultravioleta y enriquecida con medio de cultivo f/2 guillard. El cultivo se mantendrá a una temperatura constante de 21 ± 1 °C, con una salinidad de 36 ± 1 unidades prácticas de salinidad (ups), y un fotoperíodo de 24 horas. En cuanto al tamaño, las microalgas presentaron un rango de tamaños de 3 a 5 micrómetros para *Isochrysis galbana* y 8 a 10 micrómetros para *Chaetoceros muelleri*.

3.6.3.1.2. Mantenimiento de cepas de copépodos.

Los copépodos se mantendrán en tanques de 500l. a un volumen de 400l., donde serán cultivadas a condiciones constantes de temperatura (20 ± 1 °C), salinidad (35 ups), intensidad de luz (125 lux) y fotoperíodo (12 horas luz y 12 horas de oscuridad). Se aplicará una aireación suave y continua, y las cepas serán alimentadas con las microalgas *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri*.

- i. Experimento 1: Se determinó el crecimiento (tiempo de desarrollo) de un *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) alimentado con tres dietas diferentes de microalgas.

Se sembró 20 nauplios en su primera etapa hasta que lleguen a ser adultos en un volumen de 70ml de agua de mar UV filtrada a 0,45 μm . Las condiciones serán de temperatura $18 \pm 1^\circ\text{C}$, salinidad 35 ups, intensidad de luz 125 lux y fotoperiodo 12:12 (luz: oscuridad) constantes. Cada tratamiento tuvo 5 repeticiones más el control que se realizó con tres dietas diferentes: *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri* a una concentración de 30 000 células/ml, y una dieta mixta 1:1 de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri*. El tiempo de evaluación se contabilizó con el tiempo que demora el copépodo en cada muda que realiza hasta alcanzar el estado adulto.

- ii. Experimento 2: Se determinó la producción de huevos de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) alimentado con tres dietas diferentes de microalgas.

Se sembró 3 parejas (3 hembras y 3 machos) adultos, en vasos precipitados con volumen de 70ml de agua de mar UV filtrada a 0,45 μm a temperatura, salinidad y fotoperiodo constante de $18 \pm 1^\circ\text{C}$, 35 ups, 12:12 (luz:oscuridad). Se evaluó las descendencias de una hembra en condiciones de laboratorio. Cada tratamiento tuvo 5 repeticiones y un control, en relación a las tres diferentes dietas, *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri* a una concentración de 30 000 cél/ml y una dieta mixta 1:1 (*Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri*) evaluado por 20 días.

- iii. Experimento 3: Se determinó la supervivencia de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) alimentado con tres dietas diferentes de microalgas.

Se sembró 20 nauplios en su primera etapa hasta que lleguen a ser adultos en un volumen de 70ml de agua de mar UV filtrada a 0,45 μm . a temperatura, salinidad y fotoperiodo constante de $18 \pm 1^\circ\text{C}$, 35 ups, 12:12 (luz:oscuridad), se fue observando su crecimiento a base de eso se determinará su supervivencia. Cada tratamiento tuvo 5 repeticiones con la alimentación de 3 diferentes dietas *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri* a una concentración de 30 000 cél/ml y una dieta mixta 1:1 (*Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri*) considerando la supervivencia de copépodos al ser adultos.

3.6.3.2. Equipos, Instrumentos, materiales y reactivos

3.6.3.2.1. Equipos

- Microscopio óptico compuesto binocular OPTIKA 469945-S/M
- Estereoscopio trinocular OPTIKA-SZM-LEDZ
- Termostato de 150 W de $20\text{-}34^\circ\text{C}$ (5 unidades)
- Termómetro de mercurio ($20\text{-}110^\circ\text{C}$) TAYLO
- Refractómetro
- Luxómetro
- Bomba de vacío VACUNBRAND
- Filtro de nitrocelulosa 0,45 μm
- Esterilizador con lámparas UV
- Aire acondicionado

3.6.3.2.2. Instrumentos

- Tamices (20, 55, 105, 150, 200, 300 y 500 μm)
- 1 tanque rectangular de fibra de vidrio de 400 L

- 3 fluorescentes de luz blanca
- 3 piedras difusoras

3.6.3.2.3. *Materiales*

Materiales biológicos:

- Microalgas
- Copépodo

Materiales de vidrio

- 3 vasos precipitados de borosilicato 100 ml
- 3 vasos precipitados de borosilicato 500 ml
- Pipeta Pasteur 10, 5, 1 ml
- 23 placas de Petri de vidrio
- Lamina portaobjeto
- Lamina cubreobjetos
- 20 matraces Erlenmeyer de borosilicato 1000 ml, marca ISO LAB
- Cámara de Sedwick-rafter KYNTEL
- Cubre objeto para cámara de Sedwick-rafter
- Cámara de Neubauer con espejo de vidrio 76mm x 31mm – MARIENFIELD
- Cubre objeto para cámara de Neubauer
- Probeta de borosilicato 50, 100 500 ml

Materiales de metal

- Estilete
- Conto metro manual de cuatro dígitos

Materiales de plástico.

- Bombilla para pipeta
- Tetina para pipeta Pasteur
- Placas Petri de plástico
- 20 m de manguera de acuario
- Placa de Petri cuadriculada
- 20 (llaves, tes y uniones de manguera de acuario)
- 3 botellas de 7 L
- Filtro para jeringa 0,45 μm
- 3 baldes de 20 L
- Vaso precipitado de plástico 500 - 1000 ml
- Jeringa 5 ml

Materiales de Buenas Practicas

- Algodón
- Botas
- Toca
- Mascarilla
- Guante de látex
- Guante de jebe
- Mandil de PVC

Materiales de limpieza

- Lejía (hipoclorhidrato de sodio 4 %)
- Ácido muriático
- Paños absorbentes
- Escobilla para botella
- Detergente

- Scotch-brite

Materiales de escritorio

- Laptop
- Cuaderno de apuntes
- Útiles de escritorio
- Impresiones
- Bitácora

3.6.3.2.4. *Reactivos*

- Alcohol 70 y 96 %
- Lugol
- Yodo
- H₂O de mar UV estéril
- H₂O destilada
- H₂O dulce

3.6.3.2.5. *Análisis de datos*

Los datos recolectados fueron procesados mediante el uso del software estadístico SPSS 27, aplicando:

- Estadística descriptiva (media, desviación estándar, frecuencias)
- Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk)
- Prueba de Tukey para comparaciones múltiples entre tratamientos
- El nivel de significancia estadística considerado fue de $p < 0.05$.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Crecimiento

4.1.1.1.1. Evaluación (según desarrollo por estadios)

Tabla 3

Evaluación del crecimiento (desarrollo por estadios) de cepa de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales

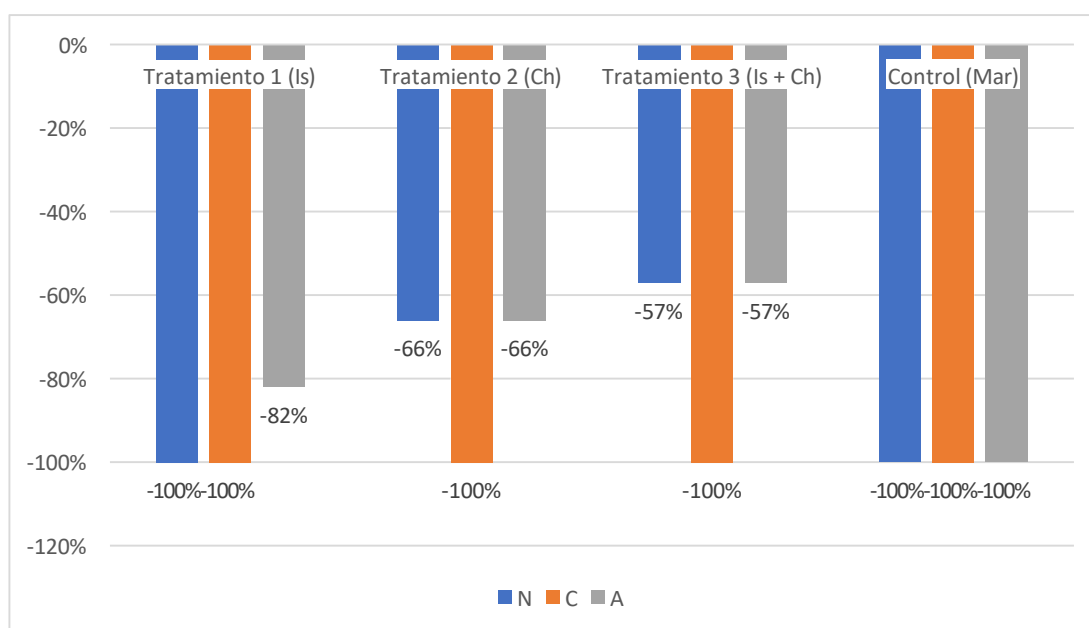
Día	Tratamiento 1 (Is)			Tratamiento 2 (Ch)			Tratamiento 3 (Is + Ch)			Control		
	N	C	A	N	C	A	N	C	A	N	C	A
0	20	0	0	20	0	0	20	0	0	20	0	0
1	15,8	0	0	19,4	0	0	19	0	0	9,67	0	0
2	15	0	0	13	0	0	13,6	0	0	6,67	0	0
3	14,6	0	0	13,6	0	0	14	0	0	4,67	0	0
4	13,6	0	0	13,4	0	0	14	0	0	2,67	0	0
5	13,6	0	0	12,2	1,67	0	12,4	2,75	0	2	0	0
6	13,4	0	0	12,2	1,67	0	12,4	2,75	0	2	0	0
7	11,6	5	0	10,8	2,25	0	10,6	3,25	0	1,67	0	0
8	11,4	5	0	8,6	3,4	0	7,6	5	0	1,67	0	0
9	10,8	2,33	0	4	8	0	4,6	8,8	0	0,67	0	0
10	9,2	3,2	0	2,2	10,2	0	2,4	11,2	0	0	0	0
11	9	2,6	0	1,67	11,4	0	1,75	12	0	0	0	0
12	8,4	2	0	6	10,4	0	7	7,6	0	0	0	0
13	6,25	4,6	0	7	9,4	0	5,4	8,2	0	0	0	0
14	3,75	6,4	0	5,5	9,6	0	5	8,6	0	0	0	0
15	3	7	0	2,5	9,6	0	3,5	10,2	0	0	0	0
16	7	4	0	8,2	5,5	0	6,8	6,2	0	0	0	0
17	5,2	4,33	0	5,4	5,25	0	4,2	8,8	0	0	0	0
18	3	4,2	0	3,6	5,75	0	3	9,6	0	0	0	0
19	3	4,2	0	8,2	0	0	11,4	0	0	0	0	0
20	1,75	5,2	0	7,8	0	0	11,4	0	0	0	0	0
21	2,33	4,8	0	7,2	0	0	10,6	0	0	0	0	0
22	2,33	3,8	0	7,2	0	0	10,6	0	0	0	0	0
23	3	3	0	7,2	0	0	10,6	0	0	0	0	0
24	1,5	3,4	0	7	0	0	10,6	0	0	0	0	0
25	2	3,6	0	6,8	0	0	9,2	0	0	0	0	0
26	0	0	0	6,8	0	0	9,2	0	0	0	0	0
27	0	0	0	6,8	0	0	9,2	0	0	0	0	0
28	0	0	0	6,8	0	0	9,2	0	0	0	0	0
29	0	0	0	6,8	0	0	9,2	0	0	0	0	0
30	0	0	3,6	6,8	0	6,8	8,6	0	8,6	0	0	0
Variación Crecimiento de N a A	-100%	-100%	-82%	-66%	-100%	-66%	-57%	-100%	-57%	-100%	-100%	-100%

Nota. * Dieta: Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

** Estadios: nauplios (N), copepoditos (C), adultos (A)

Figura 7

Evaluación del crecimiento (desarrollo por estadios) según tipos de tratamientos de dieta microalgales



Nota. * Dieta: Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

** Estadios: nauplios (N), copepoditos (C), adultos (A)

La Tabla 3 y la Figura 7 presentan la evolución del crecimiento y desarrollo por estadios —nauplios (N), copepoditos (C) y adultos (A)— de cepas de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) alimentadas con tres tipos de dietas microalgales: *Isochrysis galbana* (Is), *Chaetoceros muelleri* (Ch) y la dieta mixta (Is + Ch), comparadas con un grupo control mantenido con agua de mar. El periodo de evaluación comprendió treinta días, durante los cuales se observó la transición progresiva de las fases iniciales de desarrollo hacia los estadios adultos, en función del alimento suministrado.

En el tratamiento Is se aprecia una reducción gradual en el número de nauplios desde el primer día, pasando de 20 a 13,6 individuos hacia el día 4. A partir del quinto día comenzó el incremento de copepoditos (5 individuos en el día 7) y una disminución sostenida de nauplios, lo que indica el inicio de la metamorfosis hacia estadios más avanzados. No obstante, el crecimiento hacia la etapa adulta fue más lento, observándose recién la presencia de 3,6 adultos al final del periodo experimental, lo que representa una variación de -82 % respecto al estadio inicial de nauplios. Este comportamiento muestra que *Isochrysis galbana* permitió el desarrollo larvario, aunque con una baja conversión hacia la adultez. En el tratamiento Ch, el número de nauplios se redujo progresivamente de 20 a 13,4 en los primeros cinco días, mientras que la aparición de copepoditos fue más temprana que en el tratamiento Is, registrándose 1,67 individuos en el día 5 y alcanzando un máximo de 10,2 copepoditos en el día 10. La presencia de adultos se hizo evidente hacia el día 30, con un total de 6,8 individuos, lo que representa una reducción menor del 66 % en la población inicial de nauplios. Este comportamiento indica que *Chaetoceros muelleri* promovió un desarrollo más eficiente y equilibrado, con una mayor tasa de transición entre estadios y una mejor supervivencia en la fase adulta.

En el tratamiento mixto (Is + Ch) se registró un patrón de desarrollo más progresivo. Los nauplios disminuyeron de 20 a 12,4 en los primeros cinco días, mientras los copepoditos aumentaron de forma más sostenida, alcanzando su máximo en el día 11 con 12 individuos. Los adultos aparecieron al finalizar el periodo, con un total de 8,6 individuos, lo que representa una disminución del 57 % respecto al número inicial de nauplios (43 % de supervivencia), siendo la menor variación entre los tres tratamientos. Este resultado indica que la dieta mixta permitió un

crecimiento más estable y un mayor equilibrio entre las etapas de desarrollo, manteniendo una población adulta más numerosa al cierre del experimento. El grupo control, alimentado únicamente con agua de mar, presentó un deterioro constante desde los primeros días. Los nauplios se redujeron de 20 a 6,67 en el segundo día y a 2,67 en el cuarto, sin aparición de copepoditos ni adultos en ninguno de los treinta días, lo que indica la imposibilidad de completar el ciclo de desarrollo sin aporte microalgal.

De manera general, los resultados muestran que las dietas basadas en microalgas favorecieron la continuidad del crecimiento, con variaciones relacionadas con la composición nutricional de cada especie. *Chaetoceros muelleri* y la dieta mixta evidenciaron un desarrollo más rápido y una mayor estabilidad en las fases avanzadas, mientras que *Isochrysis galbana* permitió un crecimiento más limitado. El grupo control, sin aporte de alimento, confirmó que el desarrollo del copépodo calanoide depende completamente de la disponibilidad de microalgas para alcanzar la etapa adulta.

4.1.1.1.2. Tiempo de transición por estadios

Tabla 4

Tiempo de transición entre estadios por tratamiento

Tratamiento	Día inicio Copepoditos	Día inicio Adultos	Tiempo N → C	Tiempo C → A
<i>Isochrysis galbana</i>	Día 7	Día 23	7 días	16 días
<i>Chaetoceros muelleri</i>	Día 5	Día 19	5 días	14 días
Dieta Mixta	Día 5	Día 19	5 días	14 días
Control	No avanzó	No avanzó	—	—

La Tabla 4 presenta el tiempo de transición entre estadios por tratamiento. Se evaluó el tiempo que demoraron los individuos en pasar de nauplio a copepodito ($N \rightarrow C$) y de copepodito a adulto ($C \rightarrow A$) en función de las dietas microalgales utilizadas. Para ello se registró el día en que se evidenció por primera vez la presencia del nuevo estadio en cada tratamiento, permitiendo determinar la duración de la transición conforme al alimento suministrado.

Los cultivos alimentados con *Chaetoceros muelleri* y con la dieta mixta alcanzaron la etapa de copepoditos al quinto día, mientras que el tratamiento con *Isochrysis galbana* lo hizo al séptimo día. La presencia de adultos ocurrió al día treinta únicamente en los tratamientos con microalgas, en tanto que el control no progresó más allá de la fase nauplio.

4.1.2. Producción de huevos

4.1.2.1.1. Evaluación de la producción de huevos

Tabla 5

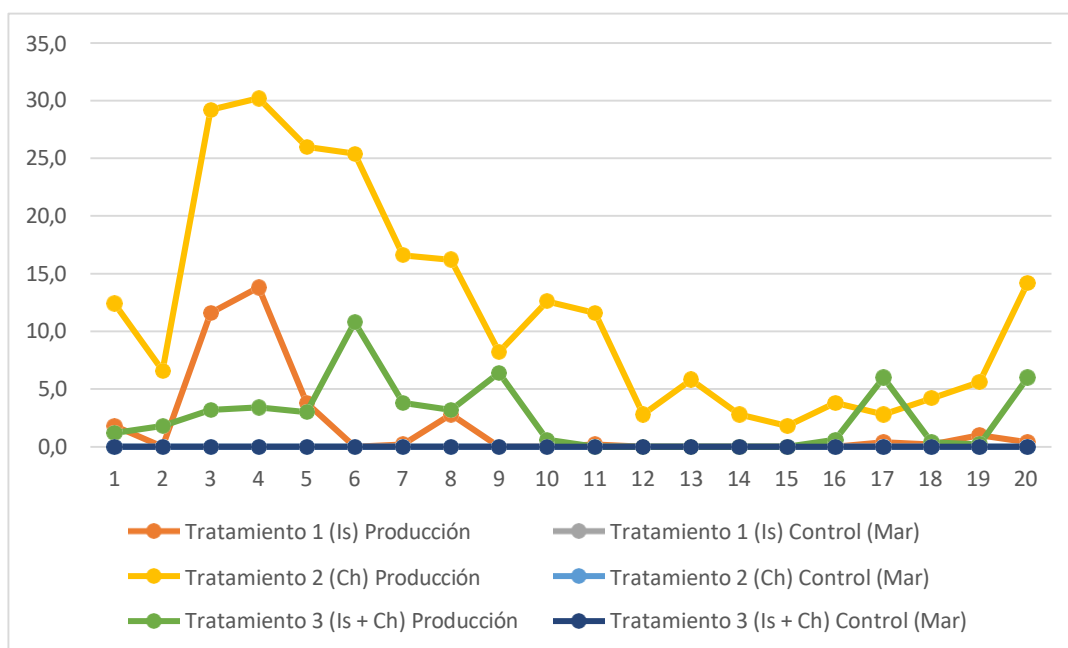
Evaluación de la producción de huevos de cepas de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales

Día	Tratamiento 1 (Is)				Tratamiento 2 (Ch)				Tratamiento 3 (Is + Ch)			
	Producción	Var %	Control (Mar)	Var %	Producción	Var %	Control (Mar)	Var %	Producción	Var %	Control (Mar)	Var %
1	1,8		0	-	12,4		0	-	1,2		0	-
2	0	-1	0	-	6,6	-0,5	0	-	1,8	0,5	0	-
3	11,6	-	0	-	29,2	3,4	0	-	3,2	0,8	0	-
4	13,8	0,2	0	-	30,2	0	0	-	3,4	0,1	0	-
5	3,8	-0,7	0	-	26	-0,1	0	-	3	-0,1	0	-
6	0	-1	0	-	25,4	0	0	-	10,8	2,6	0	-
7	0,2	-	0	-	16,6	-0,3	0	-	3,8	-0,6	0	-
8	2,8	13	0	-	16,2	0	0	-	3,2	-0,2	0	-
9	0	-1	0	-	8,2	-0,5	0	-	6,4	1	0	-
10	0	-	0	-	12,6	0,5	0	-	0,6	-0,9	0	-
11	0,2	-	0	-	11,6	-0,1	0	-	0	-1	0	-
12	0	-1	0	-	2,8	-0,8	0	-	0	-	0	-
13	0	-	0	-	5,8	1,1	0	-	0	-	0	-
14	0	-	0	-	2,8	-0,5	0	-	0	-	0	-
15	0	-	0	-	1,8	-0,4	0	-	0	-	0	-
16	0	-	0	-	3,8	1,1	0	-	0,6	-	0	-
17	0,4	-	0	-	2,8	-0,3	0	-	6	9	0	-
18	0,2	-0,5	0	-	4,2	0,5	0	-	0,4	-0,9	0	-
19	1	4	0	-	5,6	0,3	0	-	0,2	-0,5	0	-
20	0,4	-0,6	0	-	14,2	1,5	0	-	6	29	0	-
Promedio	1,81	1,14	0		11,9	0,26	0		2,53	2,77	0	
Total	36,2	0	0		239		0		50,6			

Nota. Dieta Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

Figura 8

Evaluación de la producción de huevos de cepas de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales



Nota. Dieta Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

La Tabla 5 y la Figura 8 presentan la evolución de la producción de huevos de cepas de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) durante un periodo de veinte días, según los tipos de dieta microalgal administradas: *Isochrysis galbana* (Is), *Chaetoceros muelleri* (Ch) y la dieta mixta (Is + Ch), además del grupo control alimentado únicamente con agua de mar. En los tres tratamientos se observa un patrón de variación progresiva en la producción diaria de huevos, siendo más acentuada en la dieta a base de *Chaetoceros muelleri*. En el tratamiento Is, la producción inicial fue baja, con 1,8 huevos en el día 1, y alcanzó su valor máximo de 13,8 huevos en el día 4, disminuyendo progresivamente a partir del quinto día hasta niveles muy reducidos (0,4 huevos en el día 20). La tendencia indica que la

producción en este tratamiento fue inestable y de corta duración, manteniéndose con variaciones negativas en la mayoría de los días posteriores al pico inicial.

En el tratamiento Ch, los valores fueron consistentemente más altos a lo largo del periodo experimental. Se inició con 12,4 huevos en el día 1 y alcanzó su punto más alto en el día 4 con 30,2 huevos, manteniendo una producción sostenida por varios días (26,0 huevos en el día 5 y 25,4 en el día 6). Aunque después del séptimo día se evidenció una disminución gradual, el tratamiento mantuvo una producción superior a las demás dietas durante todo el experimento, finalizando con 14,2 huevos en el día 20. Esta persistencia de valores elevados sugiere que *Chaetoceros muelleri* proporcionó mejores condiciones nutricionales para la ovoposición y el mantenimiento de la actividad reproductiva de las hembras adultas.

Por su parte, el tratamiento mixto (Is + Ch) presentó una producción más irregular, con incrementos y descensos abruptos. El día 1 se registró un valor de 1,2 huevos, mientras que el máximo se alcanzó en el día 6 con 10,8 huevos, seguido de una disminución hasta llegar a 0,2 huevos en el día 19. Sin embargo, en los días finales se observó un repunte importante, alcanzando 6,0 huevos en el día 20, lo que representa un incremento de casi 29 % respecto al día anterior. Esta variabilidad evidencia que la combinación de ambas microalgas generó una respuesta reproductiva menos constante que las dietas simples, posiblemente por diferencias en la disponibilidad de nutrientes o por la adaptación progresiva de las cepas a la mezcla.

El grupo control, mantenido con agua de mar, no presentó producción de huevos durante todo el periodo, lo que confirma la necesidad del suministro de alimento microalgal para el desarrollo reproductivo del copépodo. En términos generales, los resultados muestran que el tratamiento con *Chaetoceros muelleri* alcanzó los valores más altos y sostenidos de producción de huevos, mientras que las dietas con *Isochrysis galbana* y la mixta mostraron rendimientos considerablemente menores y discontinuos, lo que demuestra que la composición microalgal tuvo influencia directa sobre la fecundidad de las cepas durante los veinte días de observación.

Así también, Los resultados obtenidos muestran que la producción de huevos en *calanus chilensis* presentó variaciones importantes según el tipo de dieta microalgal suministrada. La dieta basada en *Chaetoceros muelleri* alcanzó el mejor desempeño reproductivo, registrando un total de 239 huevos y un promedio de 11,9 huevos diarios, lo que confirma que esta microalga proporcionó condiciones nutricionales favorables para la oviposición. En contraste, *Isochrysis galbana* evidenció una producción muy reducida, con solo 36,2 huevos acumulados (1,81 huevos diarios), mientras que la dieta mixta obtuvo un resultado intermedio (50,6 huevos; 2,53 huevos diarios), aunque con una tendencia más irregular en el tiempo. El grupo control no presentó producción de huevos, lo que demuestra que *Calanus chilensis* requiere de alimento microalgal para mantener su reproducción. En tal sentido, la diferencia marcada entre tratamientos indica que la calidad nutricional de *Chaetoceros muelleri* influye de manera directa en el rendimiento reproductivo de esta especie.

4.1.2.1.2. Evaluación de supervivencia de adultos

Tabla 6

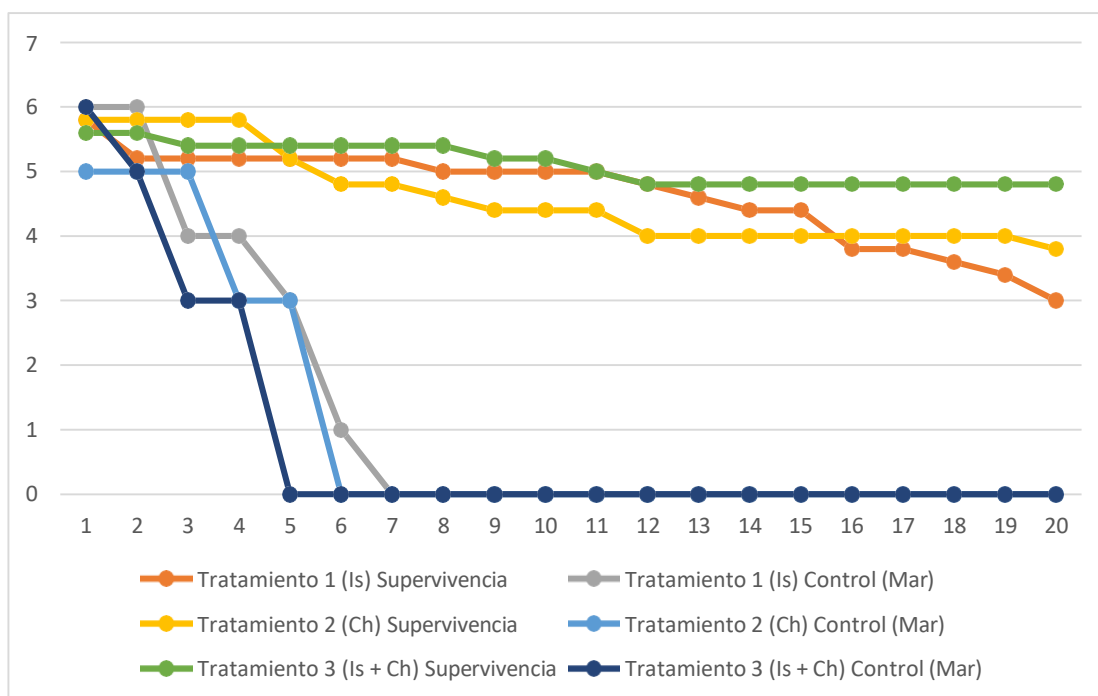
Evaluación de la supervivencia de cepa de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) adultos según tipos de tratamientos de dieta microalgales

Dí a	Tratamiento 1 (Is)				Tratamiento 2 (Ch)				Tratamiento 3 (Is + Ch)			
	Supervivenci a	Var %	Contro l (Mar)	Var %	Supervivenci a	Var %	Contro l (Mar)	Var %	Supervivenci a	Var %	Contro l (Mar)	Var %
1	5,8	-	6	-	5,8	-	5	-	5,6	-	6	-
2	5,2	-0,10	6	0,00	5,8	0,00	5	0,00	5,6	0,00	5	-0,17
3	5,2	0,00	4	-0,33	5,8	0,00	5	0,00	5,4	-0,04	3	-0,40
4	5,2	0,00	4	0,00	5,8	0,00	3	-0,40	5,4	0,00	3	0,00
5	5,2	0,00	3	-0,25	5,2	-0,10	3	0,00	5,4	0,00	0	-1,00
6	5,2	0,00	1	-0,67	4,8	-0,08	0	-1,00	5,4	0,00	0	-
7	5,2	0,00	0	-1,00	4,8	0,00	0	-	5,4	0,00	0	-
8	5	-0,04	0	-	4,6	-0,04	0	-	5,4	0,00	0	-
9	5	0,00	0	-	4,4	-0,04	0	-	5,2	-0,04	0	-
10	5	0,00	0	-	4,4	0,00	0	-	5,2	0,00	0	-
11	5	0,00	0	-	4,4	0,00	0	-	5	-0,04	0	-
12	4,8	-0,04	0	-	4	-0,09	0	-	4,8	-0,04	0	-
13	4,6	-0,04	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
14	4,4	-0,04	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
15	4,4	0,00	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
16	3,8	-0,14	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
17	3,8	0,00	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
18	3,6	-0,05	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
19	3,4	-0,06	0	-	4	0,00	0	-	4,8	0,00	0	-
20	3	-0,12	0	-	3,8	-0,05	0	-	4,8	0,00	0	-

Nota. Dieta Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

Figura 9

Evaluación de la supervivencia de cepa de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) adultos según tipos de tratamientos de dieta microalgales



Nota. Dieta Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

La Tabla 6 y la Figura 9 presentan la evolución de la supervivencia de copépodos calanoides nativos adultos alimentados con diferentes dietas microalgales durante un periodo de veinte días. En el tratamiento con *Isochrysis galbana* (Is) se observó una supervivencia inicial de 5,8 individuos, que se mantuvo constante hasta el día 4, evidenciando posteriormente una disminución leve y progresiva desde el día 5 (5,2 individuos) hasta alcanzar 3 individuos al finalizar el experimento. Esta reducción gradual muestra que, si bien la dieta permitió mantener cierta estabilidad en los primeros días, la capacidad de sostener la población adulta disminuyó hacia el final del periodo experimental.

En el tratamiento con *Chaetoceros muelleri* (Ch), la supervivencia inicial también fue de 5,8 individuos, manteniéndose sin cambios durante los primeros cuatro días. A partir del día 5 comenzó un descenso más pronunciado, registrando 4,8 individuos en el día 6 y manteniendo un ritmo de reducción constante hasta llegar a 3,8 individuos en el día 20. En este tratamiento, el descenso fue más lento que en la dieta Is, lo que indica que *Chaetoceros muelleri* permitió una mejor persistencia de la población adulta a lo largo del tiempo.

En el tratamiento mixto (Is + Ch), la supervivencia inicial fue de 5,6 individuos, con estabilidad en los primeros días y ligera disminución hacia el final. Desde el día 1 hasta el día 10 los valores se mantuvieron entre 5,4 y 5,2 individuos, observándose posteriormente una pérdida moderada hasta llegar a 4,8 individuos en los días 12 a 20. Este comportamiento evidencia una mayor estabilidad poblacional en comparación con los otros tratamientos, ya que la reducción fue mínima y los valores permanecieron casi constantes durante la mayor parte del periodo experimental.

Por otro lado, el grupo control alimentado únicamente con agua de mar mostró una disminución acelerada desde los primeros días, iniciando con 6 individuos y reduciéndose a 3 individuos al cuarto día, para luego descender a 1 individuo en el sexto día y desaparecer completamente a partir del séptimo día. Este comportamiento demuestra la dependencia del copépodo respecto a la disponibilidad de microalgas para su supervivencia, ya que la ausencia de alimento condujo a la mortalidad total en un corto periodo.

De esta manera, la tendencia general muestra que las dietas microalgales permitieron mantener niveles de supervivencia relativamente altos durante los veinte días de observación, siendo la dieta mixta (Is + Ch) la que presentó la menor pérdida de individuos adultos a lo largo del tiempo, seguida por la dieta con *Chaetoceros muelleri* y, en menor medida, por *Isochrysis galbana*. En contraste, el grupo control no logró sostener la supervivencia, lo que confirma la necesidad del aporte nutritivo de las microalgas para la permanencia de la población adulta de copépodos calanoides.

4.1.3. Supervivencia

Tabla 7

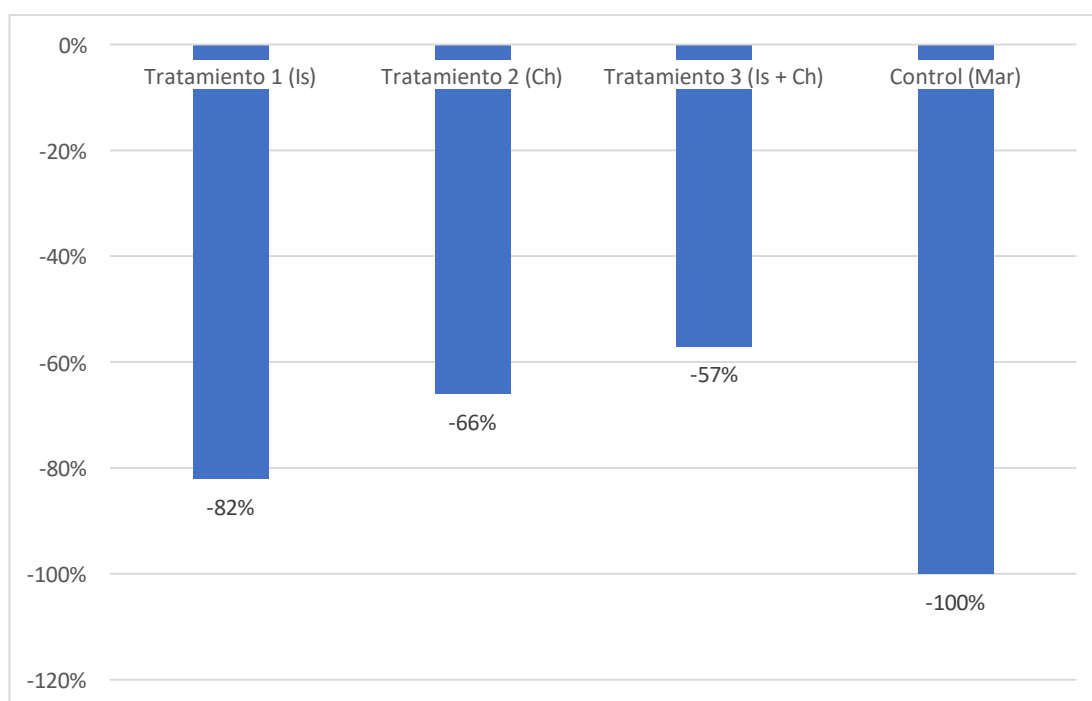
Evaluación de la supervivencia de cepas de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales

Día	Tratamiento 1 (Is)		Tratamiento 2 (Ch)		Tratamiento 3 (Is + Ch)		Control	
	Cantidad	Var %	Cantidad	Var %	Cantidad	Var %	Cantidad	Var %
0	20,0		20,0		20,0		20,0	
1	15,8	-0,2	19,4	0,0	19,0	-0,1	9,7	-0,5
2	15,0	-0,1	13,0	-0,3	13,6	-0,3	6,7	-0,3
3	14,6	0,0	13,6	0,0	14,0	0,0	4,7	-0,3
4	13,6	-0,1	13,4	0,0	14,6	0,0	2,7	-0,4
5	13,6	0,0	13,2	0,0	14,4	0,0	2,0	-0,3
6	13,4	0,0	13,2	0,0	14,4	0,0	2,0	0,0
7	12,6	-0,1	12,6	0,0	13,2	-0,1	1,7	-0,2
8	12,4	0,0	12,0	0,0	11,6	-0,1	1,7	0,0
9	12,2	0,0	12,0	0,0	13,4	0,2	0,7	-0,6
10	12,4	0,0	12,4	0,0	13,6	0,0	0,0	-1,0
11	11,6	-0,1	12,4	0,0	13,4	0,0	0,0	-
12	10,4	-0,1	14,0	0,1	14,6	0,1	0,0	-
13	9,6	-0,1	12,2	-0,1	13,6	-0,1	0,0	-
14	9,4	0,0	11,8	0,0	13,6	0,0	0,0	-
15	8,8	-0,1	10,6	-0,1	13,0	0,0	0,0	-
16	8,6	0,0	10,4	0,0	13,0	0,0	0,0	-
17	7,8	-0,1	9,6	-0,1	13,0	0,0	0,0	-
18	7,2	-0,1	8,2	-0,1	11,4	-0,1	0,0	-
19	7,2	0,0	8,2	0,0	11,4	0,0	0,0	-
20	6,6	-0,1	7,8	0,0	11,4	0,0	0,0	-
21	6,2	-0,1	7,2	-0,1	10,6	-0,1	0,0	-
22	5,2	-0,2	7,2	0,0	10,6	0,0	0,0	-
23	4,2	-0,2	7,2	0,0	10,6	0,0	0,0	-
24	4,0	0,0	7,0	0,0	10,6	0,0	0,0	-
25	4,0	0,0	7,0	0,0	10,6	0,0	0,0	-
26	4,0	0,0	6,8	0,0	9,2	-0,1	0,0	-
27	4,0	0,0	6,8	0,0	9,2	0,0	0,0	-
28	3,6	-0,1	6,8	0,0	9,2	0,0	0,0	-
29	3,6	0,0	6,8	0,0	9,2	0,0	0,0	-
30	3,6	0,0	6,8	0,0	8,6	-0,1	0,0	-
Variación supervivencia		-82%		-66%		-57%		-100%

Nota. * Dieta: Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

Figura 10

Evaluación de la supervivencia de cepas de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de tratamientos de dieta microalgales



Nota. Dieta Is (*Isochrysis galbana*), Ch (*Chaetoceros muelleri*), Is + Ch (mixta)

La Tabla 7 y la Figura 10 presentan la evolución de la supervivencia de cepas de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) alimentadas con distintas dietas microalgales —*Isochrysis galbana* (Is), *Chaetoceros muelleri* (Ch) y la dieta mixta (Is + Ch)— durante un periodo de treinta días, incluyendo un grupo control sin aporte de alimento microalgal. Los valores expresan la cantidad de individuos supervivientes y la variación porcentual respecto al día anterior, permitiendo observar la tendencia de disminución gradual de las poblaciones a lo largo del tiempo.

En el tratamiento Is, la supervivencia inició con 20 individuos y descendió a 15,8 al primer día, manteniendo una reducción constante durante el periodo experimental. A partir del día 10 se registraron 12,4 individuos y hacia el día 20 la cantidad bajó a 6,6, finalizando en 3,6 individuos en el día 30. Esto representa una disminución del 82 % respecto al valor inicial, lo que evidencia una supervivencia limitada en adultos alimentados con *Isochrysis galbana*. A pesar de mostrar cierta estabilidad en los primeros días, la pérdida de individuos se acentuó a partir de la segunda mitad del ensayo, indicando una menor persistencia poblacional bajo esta dieta.

En el tratamiento Ch, la población inicial de 20 individuos se mantuvo estable hasta el cuarto día y posteriormente presentó descensos graduales, alcanzando 13,2 individuos en el día 5 y 10,6 en el día 15. En la última semana del experimento se mantuvo entre 6,8 y 7,0 individuos, cerrando con una supervivencia final del 34 % de la población inicial (reducción del 66 %). Esta dieta mostró un comportamiento más sostenido en el tiempo, con una menor tasa de pérdida diaria y una población remanente más numerosa al final del periodo, lo que demuestra un mantenimiento más prolongado de la vitalidad de las cepas.

En el tratamiento mixto (Is + Ch), el número de individuos se redujo de 20 a 14,4 durante la primera semana y luego mantuvo una estabilidad relativa entre los días 10 y 20, con valores entre 13,6 y 11,4 individuos. Hacia el día 30 la cantidad de copépodos vivos fue de 8,6, lo que corresponde a una reducción del 57 % respecto al total inicial (43% de supervivencia). Este tratamiento presentó la menor pérdida total entre los

tres, mostrando una tendencia de supervivencia más estable y una adaptación más favorable durante todo el periodo de observación.

El grupo control, sin aporte de microalgas, registró una disminución drástica desde los primeros días, pasando de 20 individuos a 9,7 en el día 1 y a 2,7 en el día 4. A partir del décimo día no se observaron supervivientes, confirmando que la ausencia de alimento impide la permanencia del copépodo en condiciones experimentales.

Así, los resultados muestran que las dietas microalgales prolongaron la supervivencia de las cepas adultas en comparación con el control, aunque con diferencias entre tratamientos. La dieta mixta (Is + Ch) mantuvo la mayor cantidad de individuos durante los treinta días, seguida por *Chaetoceros muelleri* y, en menor medida, por *Isochrysis galbana*. Estos hallazgos indican que la combinación de microalgas permitió conservar una población más estable y duradera, lo cual resulta favorable para la continuidad del cultivo de copépodos calanoides nativos.

4.2. Comprobación de hipótesis

Se formula:

H₀: La inclusión de dietas microalgales en la alimentación de cepas de copépodos calanoides nativos no resulta en un aumento significativo en el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de copépodos calanoide nativo.

H₁: La inclusión de dietas microalgales en la alimentación de cepas de copépodos calanoides nativos si resulta en un aumento significativo en

el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de copépodos calanoide nativo.

Los resultados del contraste de hipótesis son:

Tabla 8

Análisis comparativo de la producción total de huevos de Calanus chilensis (calanoida: calanidae) según tipos de dieta microalgal

Tratamiento	n	Media (huevos totales en 20 días)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
<i>Isochrysis galbana</i> (Is)	5	12	13,6	2	40
<i>Chaetoceros muelleri</i> (Ch)	5	364,8	244,9	137	645
Mixta (Is + Ch)	5	37	43,2	2	107
Control (agua de mar)	5	0	0	0	0

Tabla 9

Pruebas estadísticas de comparación entre tratamientos de dieta microalgal en la producción de huevos

Prueba aplicada	Estadístico	Valor p	Interpretación
Levene (homogeneidad de varianzas)	5,69	0,0218	Se detecta heterogeneidad en las varianzas, por lo que se valida con prueba no paramétrica.
Shapiro-Wilk (normalidad de residuos)	0,96	0,559	Se confirma normalidad en los datos.
ANOVA de una vía	F = 9,58	0,00524	Existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.
Kruskal-Wallis	H = 7,99	0,0184	Se confirma diferencia significativa entre las dietas.

Tabla 10

Pruebas post-hoc de comparación por pares (Mann–Whitney con ajuste de Bonferroni)

Comparación	U	p	p ajustada (Bonferroni)
<i>Isochrysis galbana</i> vs <i>Chaetoceros muelleri</i>	0	0,0119	0,0358
<i>Isochrysis galbana</i> vs Mixta (Is + Ch)	8	0,333	1,000
<i>Chaetoceros muelleri</i> vs Mixta (Is + Ch)	3	0,0317	0,0952

Tabla 11

Comparación de tratamientos con el grupo control (Mann–Whitney)

Comparación	U	Valor p
<i>Isochrysis galbana</i> vs Control	0	0,0073
<i>Chaetoceros muelleri</i> vs Control	0	0,0075
Mixta (<i>Is</i> + <i>Ch</i>) vs Control	0	0,0075

Tabla 12

Resumen de comprobación de hipótesis general sobre la inclusión de dietas microalgales

Variable evaluada	Estadístico de prueba	Valor p	Decisión estadística	Interpretación
Producción de huevos (20 días)	ANOVA: F = 9,58 Kruskal-Wallis: H = 7,99	0,005240,0184	Se rechaza H_0	Se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos. La dieta con <i>Chaetoceros muelleri</i> presentó la mayor producción promedio (364,8 huevos), seguida por la dieta mixta (37,0) e <i>Isochrysis galbana</i> (12,0). El control no mostró producción.
Supervivencia (30 días)	—	—	—	De acuerdo con la Tabla 6, la supervivencia fue mayor en la dieta mixta, con una reducción del 57 % respecto a la población inicial, seguida de <i>Chaetoceros muelleri</i> (–66 %) e <i>Isochrysis galbana</i> (–82 %). El control presentó mortalidad total (–100 %).
Crecimiento (desarrollo por estadios)	---	—	—	Según la Tabla 5, el desarrollo hacia estadios adultos fue más eficiente con la dieta mixta (8,6 adultos al día 30) y con <i>Chaetoceros muelleri</i> (6,8 adultos). La dieta con <i>Isochrysis galbana</i> permitió una transición más limitada (3,6 adultos), y el control no mostró crecimiento.

Las Tablas 8 a 12 presentan el análisis estadístico y la comprobación de la hipótesis general planteada, en función de la producción de huevos, la supervivencia y el crecimiento de cepas de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) bajo diferentes dietas microalgales.

En relación con la producción de huevos, se tiene una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, confirmada tanto por la prueba ANOVA ($p = 0,00524$) como por Kruskal-Wallis ($p = 0,0184$). El tratamiento con *Chaetoceros muelleri* presentó la mayor media de producción (364,8 huevos), muy superior a la dieta con *Isochrysis galbana* (12,0 huevos) y a la dieta mixta (Is + Ch) (37,0 huevos). El grupo control no presentó ovoposición durante los 20 días experimentales. Las pruebas post-hoc confirmaron que la diferencia significativa se encuentra entre *Chaetoceros muelleri* e *Isochrysis galbana* (p -ajustada = 0,0358), mientras que la dieta mixta mostró valores intermedios sin diferencia significativa respecto a las otras dos.

En cuanto a la supervivencia, las observaciones descriptivas evidencian que las dietas microalgales prolongaron el tiempo de vida de las cepas adultas, mientras que el grupo control presentó una pérdida total de individuos a lo largo de los 30 días. La dieta mixta registró la mayor retención poblacional, con una reducción del 57 % respecto al número inicial de individuos, seguida de *Chaetoceros muelleri* con -66 % e *Isochrysis galbana* con -82 %.

Respecto al crecimiento por estadios, se determinó que las dietas microalgales permitieron el desarrollo progresivo de nauplios hacia copepoditos y adultos. La dieta mixta permitió alcanzar el mayor número de

adultos (8,6 individuos al día 30), seguida por *Chaetoceros muelleri* (6,8 adultos) e *Isochrysis galbana* (3,6 adultos). El control no mostró desarrollo, comprobando que la ausencia de microalgas impide la culminación del ciclo vital.

De esta manera, los resultados experimentales permiten rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1). La inclusión de dietas microalgales en la alimentación de cepas de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) incrementó de forma significativa la producción de huevos, favoreció la supervivencia y permitió completar el desarrollo ontogénico, sobresaliendo el tratamiento con *Chaetoceros muelleri* como el más eficiente en términos de rendimiento reproductivo y estabilidad poblacional.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

En la presente investigación se examinó el efecto de tres tipos de dietas microalgales *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri* y una dieta mixta compuesta por ambas especies sobre el crecimiento, la producción de huevos y la supervivencia de cepas de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae), en comparación con un grupo control mantenido en agua de mar sin adición microalgal. Los resultados obtenidos permiten sostener que la respuesta biológica del organismo varió de forma evidente según el tipo de dieta suministrada.

Durante el periodo de observación de veinte días, la producción de huevos presentó una tendencia ascendente con el tratamiento basado en *Chaetoceros muelleri*, que alcanzó un promedio acumulado de 364,8 unidades, mientras que la dieta mixta registró 37,0 y la dieta con *Isochrysis galbana* 12,0. El grupo control no mostró ovoposición, lo cual pone en evidencia la dependencia de las cepas respecto al aporte microalgal. El análisis inferencial corroboró estas diferencias mediante la prueba de ANOVA, con un valor $F = 9,58$ y $p = 0,005$, indicando la existencia de variaciones estadísticas entre tratamientos. Este resultado se confirmó con la prueba de Kruskal-Wallis ($H = 7,99$; $p = 0,018$), lo que sustenta que la dieta con *Chaetoceros muelleri* fue la más eficiente para inducir la producción de huevos.

En cuanto a la supervivencia, se observó una disminución progresiva en todos los tratamientos a lo largo de los treinta días experimentales, pero las cepas alimentadas con microalgas mantuvieron una persistencia superior al grupo control, que alcanzó una mortalidad total al finalizar el ensayo. Las variaciones finales mostraron que *Isochrysis galbana* tuvo una reducción del -82 %, *Chaetoceros muelleri* del -66 %, y la dieta mixta del -57 %, lo cual denota que la mezcla de ambas especies permitió una mayor estabilidad poblacional.

Respecto al crecimiento y la evolución por estadios, se identificó un cambio gradual de nauplios a copepoditos y finalmente a adultos, siendo la dieta mixta la que promovió un desarrollo más rápido y sostenido, alcanzando 8,6 adultos al día treinta, frente a 6,8 en *Chaetoceros muelleri* y 3,6 en *Isochrysis galbana*. Este patrón demuestra que la combinación de ambas especies microalgales aporta un equilibrio nutricional que favorece la madurez del organismo.

De esta manera, se puede afirmar que las dietas microalgales tuvieron un efecto positivo sobre las tres variables biológicas evaluadas. Las diferencias observadas entre tratamientos se explican por la calidad nutricional diferenciada de las especies microalgales, donde *Chaetoceros muelleri* presentó mayor aporte de ácidos grasos y nutrientes esenciales que favorecieron el metabolismo y la reproducción del copépodo calanoide. En consecuencia, la hipótesis general de la investigación encuentra sustento empírico, demostrando que la inclusión de dietas microalgales en la alimentación de las cepas estudiadas permitió un incremento significativo en el crecimiento, la producción de huevos y la supervivencia frente al control marino.

Estos hallazgos fueron contrastados con los antecedentes de investigación. De esta manera, en cuanto a los antecedentes internacionales, el estudio desarrollado por Bwaraniko et al. (2023) guarda relación directa con los resultados obtenidos en la presente investigación, dado que ambos analizaron el impacto de distintas dietas microalgales en el rendimiento biológico de copépodos marinos. En el trabajo de dichos autores, las dietas basadas en flagelados como *Proteomonas sulcata* e *Isochrysis galbana* permitieron alcanzar las mayores tasas de fecundidad y crecimiento poblacional, destacando la importancia de una fuente microalgal con alta concentración de ácidos grasos esenciales. Este hallazgo coincide con los resultados del tratamiento con *Chaetoceros muelleri* en el *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) de esta investigación, el cual registró una producción acumulada de 364,8 huevos, muy por encima del grupo alimentado con *Isochrysis galbana* (12,0 huevos) y de la dieta mixta (37,0 huevos). De igual manera, la supervivencia y el desarrollo por estadios mostraron un mejor comportamiento bajo dietas microalgales, en contraste con el grupo control que no presentó ovoposición ni persistencia poblacional al término del ensayo. Ambos estudios demuestran que la calidad nutricional y la composición lipídica de las microalgas determinan la respuesta reproductiva y la supervivencia de los copépodos, por lo que los resultados pueden considerarse coincidentes en cuanto al efecto positivo de las dietas microalgales sobre la productividad biológica.

Los hallazgos reportados por Takayama et al. (2023) también guardan similitud con lo encontrado en esta investigación, ya que confirmaron diferencias notorias en la producción de huevos y la supervivencia según el tipo de microalga administrada. En su estudio,

Rhodomonas salina fue la dieta que generó la mayor fecundidad y supervivencia en *Oithona oculata*, seguida de *Isochrysis galbana*, mientras que otras algas como *Thalassiosira weissflogii* y *Tetraselmis suecica* resultaron menos efectivas. En el presente trabajo, *Chaetoceros muelleri* ocupó un rol similar al de *Rhodomonas salina* al constituir la fuente microalgal con mejores resultados reproductivos, con diferencias estadísticamente significativas confirmadas por las pruebas de ANOVA ($F = 9,58$; $p = 0,005$) y Kruskal-Wallis ($H = 7,99$; $p = 0,018$). Asimismo, la dieta mixta presentó una supervivencia superior al tratamiento con *Isochrysis galbana* sola, lo cual coincide con la observación de Takayama et al. sobre la conveniencia de combinar microalgas complementarias para mantener una alta tasa reproductiva y una población estable de copépodos. De esta manera, ambos estudios muestran un patrón semejante en cuanto a la influencia del tipo de microalga sobre la eficiencia reproductiva y la persistencia de los organismos en cultivo.

De modo similar, el antecedente de Dayras et al. (2021) coincide en resaltar la eficacia de las dietas bialgales sobre la productividad y el contenido nutricional de los copépodos. En su investigación, las hembras alimentadas con la combinación de *Rhodomonas salina* y *Tisochrysis lutea* presentaron un mayor contenido de ácidos grasos esenciales y produjeron huevos de mayor volumen, lo que se asoció con un incremento en la fecundidad y el tamaño corporal. En la presente investigación, la dieta mixta compuesta por *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros muelleri* mostró un desempeño similar, al favorecer el desarrollo más rápido de nauplios hacia la etapa adulta (8,6 adultos al día treinta) y la mayor estabilidad poblacional, con una supervivencia final de -57% , superior a la registrada en los tratamientos individuales y al grupo control. Estos resultados confirman que

el uso combinado de especies microalgales puede generar un perfil nutricional más equilibrado y una respuesta fisiológica más favorable en los copépodos, concordando con lo reportado por Dayras et al. acerca del efecto positivo de las dietas mixtas sobre el crecimiento y la capacidad reproductiva de estos organismos.

Respecto a los antecedentes nacionales, los resultados obtenidos en la presente investigación tienen relación con los hallazgos de Sánchez et al. (2025), quienes analizaron el comportamiento alimentario de *Apocyclops spartinus* sobre *Pavlova lutheri*, destacando que las hembras adultas fueron las responsables del mayor consumo de biomasa algal, mientras que los estadios tempranos presentaron tasas de ingestión mínimas. En el presente estudio, el patrón de desarrollo observado en el *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) mantuvo una tendencia semejante, dado que los estadios adultos fueron los que mostraron una mayor supervivencia y continuidad en la producción de huevos, especialmente bajo las dietas con *Chaetoceros muelleri* y la mixta. Los resultados del crecimiento por estadios demostraron que el paso de nauplios a copepoditos y luego a adultos se produjo de forma más rápida y sostenida en las dietas microalgales, alcanzando hasta 8,6 adultos en el tratamiento mixto al día treinta. Esto concuerda con el planteamiento de Sánchez y colaboradores respecto a la influencia del estadio de desarrollo en la eficiencia alimentaria, reafirmando que las dietas deben ajustarse a la etapa biológica del copépodo para maximizar la productividad y el aprovechamiento de nutrientes en el cultivo.

En relación con lo expuesto por Figueroa (2024), se observa una clara similitud con los resultados de la presente investigación, ya que

ambos trabajos destacaron la relevancia de la calidad nutricional de la dieta microalgal en la supervivencia y el crecimiento de los copépodos. Figueroa determinó que los cultivos alimentados con *Diacronema lutheri* alcanzaron las mayores densidades poblacionales y los niveles más altos de ácidos grasos esenciales (DHA y EPA), mientras que las dietas no algales resultaron menos efectivas y produjeron copépodos de menor valor nutricional. De manera equivalente, en el presente estudio, los tratamientos con *Chaetoceros muelleri* y con la combinación *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros muelleri* mostraron los mejores indicadores de supervivencia y crecimiento, alcanzando reducciones finales menores (-66 % y -57 % respectivamente) frente al control que presentó mortalidad total. Además, la dieta con *Chaetoceros muelleri*, registró la mayor producción de huevos (364,8 unidades), lo que coincide con la afirmación de Figueroa sobre la importancia de utilizar microalgas ricas en ácidos grasos para garantizar la productividad y la viabilidad de las poblaciones. En consecuencia, ambos estudios coinciden en que el empleo de microalgas adecuadas no solo incrementa la supervivencia y el desarrollo de los copépodos, sino que también mejora su calidad nutricional, fortaleciendo su potencial como recurso biológico en acuicultura.

Por último, en cuanto a los antecedentes locales, el estudio de Aldea (2023) guarda relación con la presente investigación en cuanto al análisis de factores ambientales y biológicos que condicionan el rendimiento de los copépodos marinos cultivados en laboratorio. Aldea demostró que la salinidad influye de manera decisiva en la reproducción y el desarrollo de *Oithona nana*, encontrando los mejores resultados en un rango de 15 a 25 ups, donde se alcanzó un crecimiento poblacional superior y un desarrollo más rápido desde nauplio hasta adulto. Estos hallazgos son coherentes con

lo observado en el cultivo del *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) del presente estudio, donde también se registró una mejora significativa en el desarrollo por estadios y en la supervivencia bajo condiciones de cultivo controladas, particularmente cuando se utilizaron dietas microalgales de alta calidad como *Chaetoceros muelleri* y la combinación *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros muelleri*. En ambos casos, la optimización de las condiciones del medio ya sea mediante la regulación de la salinidad o la elección adecuada de la dieta permitió maximizar la tasa de maduración y la reproducción, confirmando que el éxito de los cultivos de copépodos en Tacna depende de un manejo técnico cuidadoso que contemple los requerimientos fisiológicos de cada especie.

Por su parte, la tesis de Torres (2019) presenta una similitud directa con la presente investigación, tanto en el enfoque experimental como en las especies y microalgas empleadas. Torres comparó los efectos de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros sp.* (individuales y combinadas) sobre copépodos marinos nativos, concluyendo que ambas resultan adecuadas como fuente alimenticia, aunque *Chaetoceros* generó un número ligeramente mayor de desoves en *Oithona nana* y mejores tasas de ingestión. En el caso del *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae) analizado en esta investigación, el tratamiento con *Chaetoceros muelleri* también alcanzó la mayor producción de huevos (364,8 unidades), superando de manera evidente a *Isochrysis galbana* (12,0 unidades), y mostrando diferencias estadísticamente significativas según la prueba ANOVA ($F = 9,58$; $p = 0,005$). Asimismo, la dieta mixta mantuvo una supervivencia más estable y un desarrollo más rápido hacia la fase adulta, lo que coincide con la conclusión de Torres respecto a la efectividad del uso combinado de microalgas. En conjunto, ambos estudios locales corroboran que

Chaetoceros constituye una fuente nutricional más eficiente para los copépodos nativos de la región de Tacna, al proporcionar mejores condiciones para la reproducción y el crecimiento poblacional en comparación con *Isochrysis galbana*.

CONCLUSIONES

1. Se evaluó el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento, la producción de huevos y la supervivencia de una cepa de *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae), demostrando que las dietas con *Chaetoceros muelleri* y la combinación *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros muelleri* generaron los mejores resultados en los tres parámetros evaluados, con una producción acumulada de 364,8 huevos, un crecimiento sostenido hasta alcanzar 8,6 adultos al día treinta y una supervivencia final de -57 % (43 % de supervivencia), en contraste con el grupo control que no presentó ovoposición ni continuidad poblacional, comprobándose estadísticamente que la inclusión de microalgas mejora significativamente el rendimiento biológico del *Calanus chilensis* (calanoida: calanidae).
2. Se determinó el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento del *Calanus chilensis* copépodo calanoide, observándose que el tratamiento con *Chaetoceros muelleri* favoreció el desarrollo más eficiente del estadio de nauplio y copepodito, mientras que la dieta mixta permitió una transición más rápida hacia la etapa adulta, alcanzando un mayor número de individuos adultos al final del cultivo, lo que demuestra que ambas dietas aportaron un perfil nutricional adecuado para optimizar el proceso de maduración en comparación con la dieta basada solo en *Isochrysis galbana* y con el control sin microalgas.
3. Se determinó el efecto de las dietas microalgales sobre la producción de huevos del *Calanus chilensis* copépodo calanoide,

constatándose que el tratamiento alimentado con *Chaetoceros muelleri* presentó la mayor tasa de ovoposición con un promedio acumulado de 364,8 huevos, superando ampliamente a los tratamientos con *Isochrysis galbana* (12,0 huevos) y con la dieta mixta (37,0 huevos), con diferencias estadísticamente significativas según la prueba ANOVA ($F = 9,58$; $p = 0,005$), demostrando que el tipo de microalga incide directamente en la fecundidad de la cepa cultivada.

4. Se determinó el efecto de las dietas microalgales sobre la supervivencia de la cepa de *Calanus chilensis* copépodo calanoide, encontrándose que la dieta mixta *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros muelleri* mantuvo la mayor estabilidad poblacional con una reducción de solo -57 % al día treinta (43 % de supervivencia), seguida por *Chaetoceros muelleri* con -66 % (34 % de supervivencia) y *Isochrysis galbana* con -82 % (18 % de supervivencia), mientras que el control alcanzó una mortalidad total, confirmándose que las dietas microalgales, en especial la combinación de ambas especies, incrementan de forma considerable la persistencia y viabilidad del cultivo a lo largo del tiempo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con la aplicación de dietas microalgales, principalmente con *Chaetoceros muelleri* y con la combinación *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros muelleri*, en los programas de cultivo de *Calanus chilensis* copépodos calanoides nativos, ya que dichas dietas demostraron efectos positivos en el crecimiento, producción y supervivencia. Además, se recomienda replicar el ensayo en diferentes épocas del año para observar si los resultados se mantienen bajo variaciones ambientales y asegurar la estabilidad de los cultivos en condiciones locales.
2. Se recomienda a futuros tesisistas de la Universidad Nacional o privada de la especialidad de Ingeniería Pesquera y carreras afines que a partir de la presente tesis continúen con más trabajos de investigación, con cultivos de mayor volumen, experimentando con otras variables.
3. Se recomienda al Ministerio de Producción a realizar cursos y talleres de capacitación referente al uso de los copépodos nativos y a su aplicación en el alimento vivo de larvas de peces, de las principales especies comerciales del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albentosa, M., Pérez, A., Labarta, U., & Fernández, M. (1996). Evaluation of live microalgal diets for the seed culture of *Ruditapes decussatus* using physiological and biochemical parameters. *Aquaculture*, 148(1), 11-23. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01405-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01405-6)
- Aldea, F. (2023). *Efecto de la salinidad en el cultivo de Oithona Nana (Copepoda: Cyclopoida) en condiciones de laboratorio*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Allen, J., & Nelson, E. (1910). On the Artificial Culture of Marine Plankton Organisms. *ournal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 8(5), 421-474. <https://doi.org/10.1017/S0025315400073690>
- APROMAR. (2015). *La acuicultura en España*. Asociación Empresarial de Acuicultura de España.
- APROMAR. (2016). *La acuicultura en España*. Asociación Empresarial de Acuicultura de España.
- Ariza, S., Barragán, E., Cuello, H., Osuna, L., & Valdelamar, P. (2010). *Producción masiva de zooplancton en tres fracciones de seston. Programa de zootecnia*. Universidad de Sucre. Sincelejo.

- Balcer, M., Korda, N., & Dodson, S. (1984). *Zooplankton of the Great Lakes: A Guide to the Identification and Ecology of the Common Crustacean Species*. The University of Wisconsin Press.
- Bjørnberg, T. (1981). *Copepoda*. In “*Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*” (D. Boltovskoy, ed.). Public. Esp. Inst. Nac. Inv. Desarrollo Pesq., Mar del Plata, pp. 587-679.
- Bone, Q., Marshall, N., & Blaxter, J. (1994). *Biology of fishes: 2nd edition*. Springer.
- Boxshall, G., & Jaume, D. (2000). *Making waves: The repeated colonization of fresh water by copepod crustaceans*. Ancient Lakes: Biodiversity, Ecology and Evolution. .
- Brodsky, K. (1959). *Calanoida of the Far Eastern Seas and Polar Basin of the USSR*. Academy of Sciences of the USSR, Zoological Institute.
- Bwaraniko, P., Chang, Y., Lin, Y., Hsu, T., & Pan, Y. (2023). Effects of temperature and microalgal diet on the fecundity, population growth and fatty acid composition of *Pseudodiaptomus ishigakiensis* (Calanoid Copepoda). *Aquaculture Reports*, 32, 101715. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101715>
- Cai, J., Lovatelli, A., Aguilar, J., Cornish, L., Dabbadie, L., Desrochers, A., Diffey, S., Garrido, E., Geehan, J., Hurtado, A., Lucente, D., Mair, G., Miao, W., Potin, P., Przybyla, C., Reantaso, M., Roubach, R., Tauati, M., & Yuan, X. (2021). *Algas marinas y microalgas: una visión*

general para liberar su potencial en el desarrollo de la acuicultura mundial. FAO.

Candela, R. (2015). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Colombia.

Coppock, R., Galloway, T., Fileman, E., Queirós, A., & Lindeque, P. (2019). Microplastics alter feeding selectivity and faecal density in the copepod, *Calanus helgolandicus*. *Science of The Total Environment*, 687, 780-789.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.009>

Dayras, P., Bialais, C., Sadovskaya, I., Lee, M., Lee, J., & Souissi, S. (2021). Microalgal Diet Influences the Nutritive Quality and Reproductive Investment of the Cyclopoid Copepod *Paracyclops nana*. *Front. Mar. Sci.*, 8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmars.2021.697561>

Escribano, R., Irribarren, C., & Rodriguez, L. (1997). Influence of food quantity and temperature on development and growth of the marine copepod *calanus chilensis* from northern Chile. *Marine Biology*, 128, 281-288. <https://doi.org/10.1007/s002270050093>

Fernández, M. (2015). Orden Calanoida . *Revista IDE@-SEA*, 89, 1-27.
<https://doi.org/> ISSN 2386-7183

Figuerola, M. (2024). *Efecto en los cultivos del copépodo apocyclops aff. spartinus alimentados con la microalga diacronema lutheri, y los hongos schizochytrium sp y saccharomyces cerevisiae*. Universidad Nacional Federico Villareal.

Gómez, M. (2021). *COPEPODA*. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/copepoda-2021pptpdf/266299097>.

Huanacuni, J., Victoriano, R., Lora, M., & Merino, G. (2021). Influence of Microalgae Diets on the Biological and Growth Parameters of *Oithona nana* (Copepoda: Cyclopoida). *Animals*, 11(12), 3544. <https://doi.org/10.3390/ani11123544>

IMARPE. (2021). *Anuario Científico Tecnológico IMARPE Volumen 21*. Ministerio de la Producción.

Isari, S., Antó, M., & Saiz, E. (2013). Copepod Foraging on the Basis of Food Nutritional Quality: Can Copepods Really Choose? *PLOS One*, 8(12), e84742. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084742>

Jaume, D., Conradi, M., & López, P. (2004). *Copépodos. En: curso práctico de Entomología, J.A. Barrientes (ed)*. CIBIO, Asociación Española de Entomología y Universidad de Barcelona.

Junta de Andalucía. (2010). *Atlas de Microorganismos Planctónicos Presentes en los Humedales Andaluces*. <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing->

page-publicacion/-/asset_publisher/FytOUWH22K7t/content/atlas-de-microorganismos-planct-c3-b3nicos-presentes-en-los-humedales-andaluces-2010-/20151

Kaplan, D., Cohen, Z., & Abeliovich, A. (1986). Optimal growth conditions for *Isochrysis galbana*. *Biomass*, 9(1), 37-48.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0144-4565\(86\)90011-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0144-4565(86)90011-9)

Kjørboe, T. (2011). What makes pelagic copepods so successful? *Journal of Plankton Research*, 33(5), 677-685.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/plankt/fbq159>

López, J., Voltolina, D., Nieves, M., & Figueroa, L. (2019). Producción y Composición De Microalgas En Laboratorios Comerciales del Noroeste De México. *Avances En Nutrición Acuicola*.
<https://doi.org/https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/218>

Massing, J., Schukat, A., Auel, H., Auch, D., Kittu, L., Pinedo, E., Correa, J., & Hagen, W. (2021). Toward a Solution of the “Peruvian Puzzle”: Pelagic Food-Web Structure and Trophic Interactions in the Northern Humboldt Current Upwelling System Off Peru. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.759603>

Ministerio de la Producción. (26 de noviembre de 2024). *Nutrición de precisión en acuicultura: estrategias para optimizar la calidad larvaria*. <https://rnia.produce.gob.pe/nutricion-de-precision-en-acuicultura-estrategias-para-optimizar-la-calidad->

larvaria/#:~:text=El%20enriquecimiento%20con%20algas%20como
,alimento%20vivo%20y%20reduce%20costes

Niehoff, B. (2007). Life history strategies in zooplankton communities: the significance of female gonad morphology and maturation types for the reproductive biology of marine calanoid copepods. *Progress in Oceanography*, 74(1). <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.05.005>

Parke, M. (2009). *Studies on Marine Flagellates*. Cambridge University Press.

Rivera, R., Escribano, R., González, C., & Pérez, M. (2023). Modeling present and future distribution of plankton populations in a coastal upwelling zone: the copepod *calanus chilensis* as a study case. *Sci Rep*, 13(3158). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29541-9>

Salazar, D., & Cornejo, M. (2022). *Revisión sistemática y caracterización de microalgas incorporadas como alimento vivo en cultivos de especies bioacuáticas en Ecuador, 2010-2021*. UPSE.

Sánchez, P., Flores, J., & Gil, P. (2025). Comportamiento alimentario de apocyclops spartinus (copepoda: cyclopoida) sobre pavlova lutheri (haptophyta) en condiciones de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 23(2), 113-124.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21704/rea.v23i2.2216>

Santoyo, J. (2020). *Efecto de las dietas microalgales en la alimentación y producción de huevos de Parvocalanus crassirostris (Copepoda,*

calanoidea). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, B. C. S., México pp.

Sazhina, L. (1985). *Nauplius of the pelagic copepods of the World Ocean*. Naukova Dumka.

Suárez, A. (2015). *Cultivo experimental de copépodos marinos bajo condiciones controladas, con miras a su potencial uso como alimento vivo en el sector acuícola del país, en Punta Carnero-Salinas-Santa Elena*,. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Takayama, Y., Yamasaki, T., & Toda, T. (2023). Evaluation of Microalgal Diet to Culture Adult *Oithona oculata* Farran (Copepoda, Cyclopoida). *Aquaculture Research*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2023/2089803>

Torres, F. (2019). *Efecto de las microalgas Isochrysis galbana Y Chaetoceros sp. en la producción de copépodos marinos nativos cultivos en condiciones de laboratorio en la Región de Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Velasco, L., Carrera, S., & Barros, J. (2016). Isolation, culture and evaluation of *Chaetoceros muelleri* from the Caribbean as food for the native scallops, *Argopecten nucleus* and *Nodipecten nodosus*. *Latin american journal of aquatic research*, 44(3), 557-568. <https://doi.org/ISSN 0718-560X>.

- Walter, T., & Boxshall, G. (1983). *World of Copepods database*. *Oithona nana* Giesbrecht. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=106651>.
- Zapata, M., & Garrido, J. (1997). Occurrence of phytylated chlorophyll c in *Isochrysis galbana* and *Isochrysis* sp. (clone T-ISO) (Prymnesiophyceae). *Journal of Phycology*, 33(2), 209-214 . <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-3646.1997.00209.x>
- Zillioux, E., & Wilson, D. (1966). Culture of a Planktonic Calanoid Copepod through Multiple Generations. . *Science*, 151(3713), 996-998. <https://doi.org/10.1126/science.151.3713.996>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<u>PROBLEMA GENERAL</u> ¿Cuál será el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de <i>Calanus chilensis</i> (calanoida: calanidae)?	<u>OBJETIVO GENERAL</u> Evaluar el efecto de dietas microalgales sobre el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de copépodos calanoides nativos.	<u>HIPOTESIS GENERAL</u> La inclusión de dietas microalgales en la alimentación de cepas de copépodos calanoides nativos resulte un aumento significativo en el crecimiento, producción de huevos y supervivencia de una cepa de copépodos calanoides nativos.	<u>INDEPENDIENTE</u> Microalga: <i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros muelleri</i>	Densidad celular Cel/ml	Microscopio Contador manual

<u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u>	<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	<u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u>	<u>DEPENDIENTE</u>		
¿Cuál será el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento del copépodo calanoide? ¿Será posible evaluar el efecto de las dietas microalgales sobre la producción de huevos del copépodo calanoide? ¿Será probable determinar el efecto de las dietas microalgales sobre la supervivencia de una cepa de copépodo calanoide?	- Determinar el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento de los copépodos calanoide. - Determinar el efecto de las dietas microalgales sobre la producción de huevos del copépodo calanoide. - Determinar el efecto de las dietas microalgales sobre la supervivencia de una cepa de copépodo calanoide.	- Es probable determinar el efecto de las dietas microalgales sobre el crecimiento de los copépodos calanoide. - Es viable determinar el efecto de las dietas microalgales sobre la producción de huevos del copépodo calanoide. - Es factible determinar el efecto de las dietas microalgales sobre la supervivencia de una cepa de copépodo calanoide.	- Copépodo calanoide nativo: - Crecimiento - Producción de huevo - Supervivencia	- Crecimiento poblacional - Desarrollo por estadio - Cantidad de huevo por desove - Densidad inicial - Densidad final	- Conteo manual - Estereoscopio - Tiempo - Numero de huevo/desove - Numero de individuo /ml

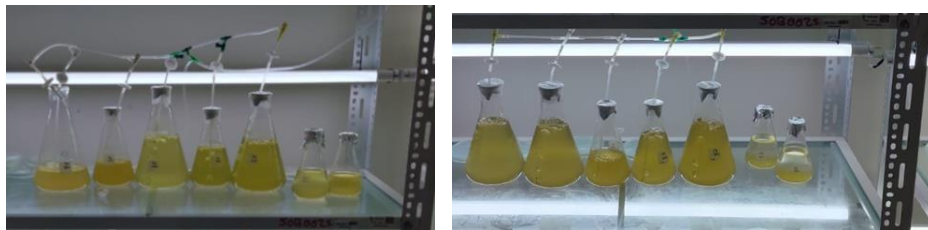
Anexo 2. Evidencias fotográficas

Mantenimiento De Cepas De Copépodos Calanus chilensis



Los copépodos *Calanus chilensis* se mantendrán en tanques de 500l. a un volumen útil de 400l., donde serán cultivadas a condiciones constantes.

Cultivo de microalgas



(a)

(b)

(a) Cultivo de *Isochrysis galbana*

(b) Cultivo de *Chaetoceros muelleri*

Fase del experimento 1: Crecimiento (desarrollo por estadios)



(a)



(b)



(c)

(a) Aislar los nauplios *Calanus chilensis*

(b) Observar en el estereoscopio, si los nauplios están en la primera fase

(c) Vista del estereoscopio



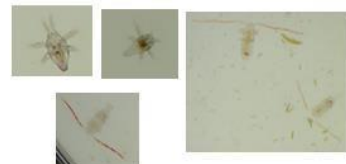
(d)



(e)



(f)



(g)

(d) Se sembró 20 nauplios en un vaso precipitado de 70ml de volumen útil, en condiciones controladas.

(e) Se alimenta con tres diferentes dietas *I. galbana*, *Chaetoceros muelleri* y *I. galbana* + *Chaetoceros muelleri*.

(f) Se observó el tiempo del desarrollo por estadios del copépodo *Calanus chilensis* en el estereoscopio

(g) Vistas del estereoscopio del crecimiento de nauplios, copepoditos y adultos.

Fase del experimento 2: producción de huevos



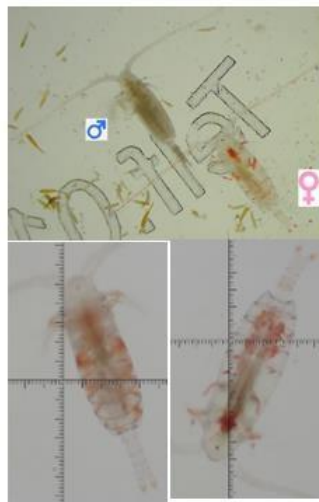
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

- (a) Se recolecto los copépodos *Calanus chilensis*, adultos con un tamiz de 300micras de los tanques.
- (b) Aislamos los adultos para poder identificar hembras y machos.
- (c) Con ayuda del estereoscopio vemos las diferencias más claras del *Calanus chilensis*
- (d) Vistas del *Calanus chilensis* macho y hembra que se observó las diferencias:

Macho: El urosoma es más pequeño, sin el doble urosomito genital robusto. Generalmente más pequeño y delgado que la hembra.

Hembra: Presenta un doble segmento genital (urosomito genital) más prominente y con forma de barril. Tiende a ser más grande y con un cuerpo más robusto y hinchado,

(e) Se sembró 3 parejas (3 hembra y 3 macho) en un vaso precipitado de 70ml de volumen útil, en condiciones controladas.

(f) Se alimentó con tres diferentes dietas *I. galbana*, *Chaetoceros muelleri* y *I. galbana* + *Chaetoceros muelleri*.

(g) Se observó cada 24 horas si los copépodos adultos pusieron huevos en el estereoscopio

(h) Vistas del estereoscopio de los huevos del *Calanus chilensis*.

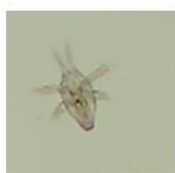
Fase del experimento 3: supervivencia



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

(a) Aislar los nauplios de *Calanus chilensis*

(b) Observar en el estereoscopio, si los nauplios están en la primera fase

(c) Vista del estereoscopio

(d) Se sembró 20 nauplios en un vaso precipitado de 70ml de volumen útil, en condiciones controladas.

(e) Se alimentó con tres diferentes dietas *I. galbana*, *Chaetoceros muelleri* y *I. galbana* + *Chaetoceros muelleri*.

(f) Se observó la cantidad de copépodos *Calanus chilensis* en su supervivencia al transcurso de los días hasta llegar a adultos en el estereoscopio

(g) Vistas del estereoscopio de la supervivencia de nauplios, copepoditos y hasta llegar a adultos.

(h) Se pudo observar los *Calanus chilensis* adultos después de los 30 días.