



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS



**EFFECTO DE DIFERENTES MICROALGAS EN LAS TASAS
VITALES DE *Euterpina acutifrons* (DANA, 1848)
(COPEPODA: HARPACTICOIDA) EN CONDICIONES
CONTROLADAS**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

Ing. en Pesq. ALFREDO PÉREZ MORALES

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR.



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes Diciembre del año 2005, el (la) que suscribe ALFREDO PÉREZ MORALES alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A010135 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: MC. JOSÉ LUIS ORTIZ GALINDO y cede los derechos del trabajo titulado: "EFECTO DE DIFERENTES MICROALGAS EN LAS TASAS VITALES DE *Euterpina acutifrons* (Dana, 1848) (Copepoda: Harpacticoida) EN CONDICIONES CONTROLADAS" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: alfredo_pm@yahoo.com.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ALFREDO PÉREZ MORALES

nombre y firma



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12 horas del día 31 del mes de Octubre del 2005 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

“EFECTO DE DIFERENTES MICROALGAS EN LAS TASAS VITALES DE *Euterpina acutifrons*

(Dana, 1848) (Copepoda: Harpacticoida) EN CONDICIONES CONTROLADAS”

Presentada por el alumno:

PÉREZ

Apellido paterno

MORALES

materno

ALFREDO

nombre(s)

Con registro:

A	0	1	0	1	3	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

MC. JOSÉ LUIS ORTIZ GALINDO

PRESIDENTE

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO

SEGUNDO VOCAL

MC. JOSE RICARDO PALOMARES GARCÍA

SECRETARIO

DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ

TERCER VOCAL

DRA. CHRISTINE JOHANNA BAND SCHMIDT

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



DEDICATORIA

A mi familia

Mi papá Sr. Rodrigo Pérez Mejía

Mi mamá Sra. Graciela Morales Morales

Mi hermano C. P. Rodrigo Pérez Morales

Mi hermanita c Ing. Graciela Pérez Morales

A todos mis amigos

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la beca crédito otorgada para realizar mis estudios de maestría con número de registro 168644. Al Instituto Politécnico Nacional y al CICIMAR por enriquecer mi formación académica. A los proyectos Institucionales CGPI 20010819, 20020357 y al programa Institucional de Formación de Investigadores por las becas otorgadas.

A mi familia

Por todo su apoyo y cariño y por siempre alentarme a lograr mis sueños.

A quienes me apoyaron en los aspectos técnicos y logísticos en CICIMAR

M.C. José Luís Ortiz Galindo, M.C. Ricardo Palomares García, Dr. Jaime Gómez Gutiérrez, Dra. Christine Band Schmidt, Dr. Sergio Hernández Trujillo y M.C. Gustavo de la Cruz Agüero.

A mis compañeros y amigos de CICIMAR

A José Luís, Alfonso, Víctor, Martín Oscar, Sergio (Camarón), Tanos, Rubén (Burro), Juan Manuel, Mariana, Nico, Antuna, Christian, Julio (Le puerque), Arturo (Chalán), Eduardo (Lisiado), José de la Cruz, Pacheco y a todos aquellos que saben que los considero mis amigos y que se me escapan a la memoria en esta redacción; por toda su ayuda, apoyo y comprensión.

A mis amigos

A mis hermanos Omar Ortega Carlón y Arturo Sánchez Uvera, a Karla Alvarado (flaca), Karen (rostro tec), Solymar, Mara, Gabriel (Gabo), Toño (Guachoma), Dahlia, Magui, Feliciano, América y a Carito Holguín, a todos gracias por su sincera amistad y compañía.

Especialmente a Valery (osa) y a la familia Vélez Valencia que sin todo su estímulo, aliento y apoyo esta tesis no estaría concluida en este momento.

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	iii
GLOSARIO.....	vi
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	7
2.1. DESARROLLO ONTOGENÉTICO DE LOS COPÉPODOS.....	7
2.2. TASAS VITALES EN COPÉPODOS.....	8
2.3. CRECIMIENTO SOMÁTICO EN COPÉPODOS.....	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. OBJETIVOS.....	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1. AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE COPÉPODOS.....	13
5.1.1. ZONA DE RECOLECTA.....	13
5.1.2. AISLAMIENTO.....	14
5.1.3. ACONDICIONAMIENTO.....	15
5.2. CULTIVO DE MICROALGAS.....	16
5.2.1. ORIGEN DE LAS CEPAS Y CONDICIONES DE CULTIVO.....	16
5.2.2. ESCALAMIENTO.....	16
5.2.3. DETERMINACIONES BIOQUÍMICAS.....	17
5.2.3.1. DENSIDAD.....	17
5.2.3.2. PESO SECO.....	18
5.2.3.3. CARBÓN ORGÁNICO.....	18
5.2.3.4. PIGMENTOS.....	18
5.3. CULTIVO DE <i>Euterpina acutifrons</i>	19
5.3.1. ALIMENTACIÓN.....	19
5.3.2. DENSIDAD DE NAUPLIOS.....	19
5.3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
5.3.4. CONDICIONES DE CULTIVO.....	20
5.3.5. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	21

5.4.	TABLA DE VIDA PARA <i>Euterpina acutifrons</i>	21
5.4.1.	ÍNDICE DE MORTALIDAD.....	21
5.4.2.	PROPORCIÓN DE ORGANISMOS QUE SOBREVIVEN AL INICIO DEL INTERVALO x	22
5.4.3.	ABUNDANCIA PROMEDIO DE INDIVIDUOS VIVOS.....	22
5.4.4.	ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS POR INTERVALO DE TIEMPO....	22
5.4.5.	ESPERANZA DE VIDA.....	23
5.4.6.	TASA DE REEMPLAZAMIENTO.....	23
5.4.7.	TASA INTRÍNSECA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL.....	23
5.4.8.	NÚMERO DE INDIVIDUOS EN EL TIEMPO t	24
5.5.	CRECIMIENTO SOMÁTICO DE <i>Euterpina acutifrons</i>	24
5.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	25
6.	RESULTADOS.....	26
6.1.	EVALUACIÓN DE MICROALGAS.....	26
6.1.1.	DENSIDAD.....	26
6.1.2.	PESO SECO.....	27
6.1.3.	CARBÓN ORGÁNICO.....	28
6.1.4.	PIGMENTOS.....	29
6.2.	DESARROLLO DE <i>Euterpina acutifrons</i>	30
6.3.	PROPORCIÓN DE SEXOS DE <i>Euterpina acutifrons</i>	36
6.4.	TABLA DE VIDA PARA <i>Euterpina acutifrons</i>	37
6.5.	CRECIMIENTO SOMÁTICO DE <i>Euterpina acutifrons</i>	41
7.	DISCUSIÓN.....	44
7.1.	DESARROLLO DE <i>Euterpina acutifrons</i>	44
7.2.	TABLA DE VIDA DE <i>Euterpina acutifrons</i>	48
7.3.	CRECIMIENTO SOMÁTICO DE <i>Euterpina acutifrons</i>	52
8.	CONCLUSIONES.....	55
9.	RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.....	56
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	57
	ANEXO 1.....	65
	ANEXO 2.....	66
	ANEXO 3.....	67

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1.	Proporción de sexos de individuos de <i>Euterpina acutifrons</i> , alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros calcitrans</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	36
Tabla 2.	Tabla de vida horizontal específica por edad de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	37
Tabla 3.	Tabla de vida horizontal específica por edad de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Chaetoceros calcitrans</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	38
Tabla 4.	Tabla de vida horizontal específica por edad de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Dunaliella tertiolecta</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	39
Tabla 5.	Tasa de reemplazamiento (R_o), tiempo de generación (D), tamaño de puesta (N_e), abundancia promedio de hembras con saco de huevos (P) y tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m) de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros calcitrans</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	40
Tabla 6.	Longitudes cefálica y total promedio ($\mu\text{m} \pm \sigma$) de individuos adultos (copepodito 6) del copépodo <i>Euterpina acutifrons</i> con <i>Isochrysis galbana</i> y <i>Chaetoceros calcitrans</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	43
Tabla 7.	Tasas de reemplazamiento (R_o) en copéodos harpacticoides publicadas por diversos autores y en <i>Euterpina acutifrons</i> en este estudio.....	51
Tabla 8.	Longitud total (μm) de cada estadio de desarrollo de individuos del copépodo harpacticoides <i>Euterpina acutifrons</i> , publicados por El-Maghraby (1964), Fanta (1973) y para los individuos alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> y <i>Dunaliella tertiolecta</i> reportados en este estudio.....	53

FIGURAS

Figura 1.	Estadios naupliares en el desarrollo del copépodo harpacticoide <i>Euterpina acutifrons</i> : a) nauplio I, b) nauplio II, c) nauplio III, d) nauplio IV, e) nauplio V, f) nauplio VI.....	5
Figura 2.	Estadios de copepodito en el desarrollo del copépodo harpacticoide <i>Euterpina acutifrons</i> : a) copepodito I, b) copepodito II, c) copepodito III, d) copepodito IV, e) copepodito V, f) copepodito VI hembra ovígera, g) copepodito VI macho.....	6
Figura 3.	Localización de la zona de recolecta Laguna de La Paz.....	14
Figura 4.	Escalamiento de cultivos de microalgas bajo condiciones de laboratorio en: a) Placas con agar, b) Tubos de ensayo de 50 ml con 5 ml de medio f/2, c) Matraces de 250 ml con 50 ml de medio f/2, d) Botellas de 250ml con 200 ml de medio f/2, e) Matraces de 2000 ml con 1500 ml de medio f/2, f) Garrafones de 19 l con 15 l de medio f/2.....	17
Figura 5.	Módulo experimental de cultivo del copépodo <i>Euterpina acutifrons</i> . a) Tanque de fibra de vidrio, b) Inyección de aire, c) Agua, d) Unidades experimentales...	20
Figura 6.	Densidad celular (cél/ml $\pm \sigma$, n=3) de <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> y <i>Dunaliella tertiolecta</i> cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).....	26
Figura 7.	Peso seco ($\mu\text{g/ml} \pm \sigma$, n=3) de las microalgas <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> y <i>Dunaliella tertiolecta</i> cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).....	27
Figura 8.	Contenido de carbón orgánico ($\mu\text{g/l} \pm \sigma$, n=3) de las microalgas <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> y <i>Dunaliella tertiolecta</i> cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).....	28
Figura 9.	Concentración promedio de clorofilas (Chl a, b y c) ($\text{mg m}^{-3} \pm \sigma$, n=3) de las microalgas a) <i>Isochrysis galbana</i> , b) <i>Chaetoceros calcitrans</i> y c) <i>Dunaliella tertiolecta</i> cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12)....	29

Figura 10. Desarrollo de nauplios de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	30
Figura 11. Desarrollo de copepoditos de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	31
Figura 12. Desarrollo de nauplios de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Chaetoceros calcitrans</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	32
Figura 13. Desarrollo de copepoditos de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Chaetoceros calcitrans</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	33
Figura 14. Desarrollo de nauplios de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Dunaliella tertiolecta</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	34
Figura 15. Desarrollo de copepoditos de <i>Euterpina acutifrons</i> alimentados con <i>Dunaliella tertiolecta</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	35
Figura 16. Longitud total ($\mu\text{m} \pm \sigma$) de los estadios naupliares de <i>Euterpina acutifrons</i> , alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> y <i>Dunaliella tertiolecta</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	41
Figura 17. Longitud total ($\mu\text{m} \pm \sigma$) entre los estadios de copepodito de <i>Euterpina acutifrons</i> , alimentados con <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Chaetoceros calcitrans</i> y <i>Dunaliella tertiolecta</i> a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.....	42

Glosario

- Ácidos grasos:** Moléculas orgánicas que poseen una cadena hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo terminal; la cadena hidrocarbonada puede ser saturada o insaturada al tener uno o varios enlaces dobles. Estos difieren por la longitud de su cadena, el número y la posición de sus enlaces dobles (Diccionario Esencial de las Ciencias, 2000).
- Ácidos grasos esenciales:** Ácidos grasos que no pueden ser biosintetizados por un organismo determinado y que deben ser suministrados en la dieta (Diccionario Esencial de las Ciencias, 2000).
- Ácidos grasos poliinsaturados:** Ácidos grasos que contienen dos o más enlaces dobles; algunos son ácidos grasos esenciales. Los más importantes son los ácidos linoléico, linolénico y araquidónico (Diccionario Esencial de las Ciencias, 2000).
- Algas:** Plantas carentes de raíces, las cuales tienen clorofila *a* como su principal pigmento fotosintético y carentes de una cubierta celular estéril alrededor de las células reproductivas (Lee, 1980).
- Alimento artificial:** Alimento que contiene nutrientes en cantidades y proporciones que satisfacen necesidades fisiológicas de los animales especificadas por autoridades reconocidas en nutrición animal (Chong-Carrillo y Vega-Villasante, 2003).
- Alimento vivo:** Alimento conformado por organismos vivos Ej.: microalgas, artemias, copépodos (Yúfera y Pascual, 1984).
- Aminoácido:** Compuesto orgánico que tiene un grupo amino y un grupo carboxilo en su estructura; principal compuesto de las proteínas, por lo que su distribución y concentración determina las propiedades de estas (Chong-Carrillo y Vega-Villasante, 2003).
- Antena:** Segundo apéndice cefálico en los crustáceos (Hulsemann, 1996).
- Capacidad innata de crecimiento (r_m):** Medida del índice de incremento de una población bajo condiciones controladas (Krebs, 1985).
- Ciclo de vida:** En el caso de los copépodos este comprende el desarrollo completo de los individuos, desde el primer estadio naupliar, hasta el estadio de copepodito seis o adulto (Krebs, 1985).
- Cohorte:** Un grupo de individuos nacidos en la misma puesta, con la finalidad de que presenten la misma edad (Caswell, 1989).
- Copepodito:** Estadio postnaupliar o juvenil en el desarrollo de los copépodos; típicamente 5 estadios de copepodito antes del adulto (Hulsemann, 1996).
- Copépodo:** Pequeños crustáceos pelágicos, bentónicos o parásitos que viven en la columna de agua, son usualmente el grupo dominante del zooplancton marino (Lalli y Parsons, 1993).
- Crustacea:** Clase de artrópodos con un número elevado de especies con cuerpo segmentado, con apéndices pares y un exoesqueleto quitinoso (Bowman y Abele, 1982).
- Densidad:** Número de individuos con relación al espacio y volumen de área en que están presentes (Krebs, 1985).

- Desarrollo Isocronal:** Descripción de un modelo de desarrollo caracterizado en principio, por igual duración de todos los estadios de la historia de vida de un copépodo (Landry, 1983).
- Dimorfismo sexual:** Diferencia en la forma, tamaño y color entre dos individuos del mismo sexo o de ambos sexos de la misma especie. Puede ser estacional, ocasional o geográfico (Vázquez-García y Villalobos, 1987)
- Dominancia:** Condición en las comunidades o en los estratos de vegetación en que una o más especies, por virtud de su número, cobertura o tamaño, ejerce influencia considerable sobre las demás especies o controla las condiciones de su existencia (Krebs, 1985).
- Eleuteroembrión:** Fase del período embrionario del desarrollo de los peces, que comienza con la eclosión del huevo y termina antes de la completa absorción del saco vitelino y el glóbulo de aceite (Balon, 1984).
- Endopodito:** En copépodos, rama interna de un apéndice (Hulsemann, 1996).
- Exopodito:** En copépodos, rama externa de un apéndice (Hulsemann, 1996).
- Esperanza de vida:** Formato matemático para describir la mortalidad proyectada de una población (Krebs, 1985).
- Fecundidad:** Capacidad potencial de un organismo para producir unidades reproductivas como huevos, espermatozoides o estructuras asexuales (Krebs, 1985).
- Fertilidad:** Capacidad real de un organismo para producir descendencia viva (Krebs, 1985).
- Fitoplancton:** Porción vegetal del plancton; la comunidad de plantas en aguas marinas y dulces que flota libremente en ellas e incluye numerosas especies de algas (Krebs, 1985).
- Fotoperiodo:** Respuesta fisiológica y de comportamiento de organismos a la duración relativa del día y la noche (Krebs, 1985).
- Mandíbula:** En copépodos, tercer apéndice cefálico (Hulsemann, 1996).
- Nauplio:** Estadio larval de un copépodo, con un par de antenas, antenulas, mandíbulas y cuerpo ovoide, exhiben usualmente seis estadios naupliares antes de la muda metamórfica a primer copepodito (Hulsemann, 1996).
- Nutrición:** Proceso por el que los organismos utilizan el alimento para la obtención de la energía relativa al crecimiento, mantenimiento, reparación y reproducción: Los tres tipos principales son la nutrición autótrofa, la heterótrofa y la quimiotrófica (Diccionario Esencial de las Ciencias, 2000).
- Ontogenia:** Comprende la serie de cambios morfofisiológicos que se dan durante el ciclo de vida de los animales (Balon, 1984).
- Población:** Grupo de individuos de una sola especie que se reproducen entre sí (Krebs, 1985).
- Producción:** Cantidad de energía o biomasa generados por un individuo, una población o una comunidad, en un periodo específico estandarizado por volumen o área (Krebs, 1985).
- Rostro:** Extensión media entre la primera antena del margen anterior del cefalón en crustáceos (Hulsemann, 1996).
- Seta:** Estructura afilada y flexible que es un elemento de la armadura en la superficie externa de los apéndices en crustáceos (Hulsemann, 1996).

Tiempo de desarrollo: En copépodos es por definición el tiempo transcurrido desde la puesta de huevos hasta el estadio de copepodito seis o adulto (Hirst y Kiørboe, 2002).

Zooplankton: Comunidad de animales de marinos y dulceacuícolas que flotan libremente en el agua, que se mueven pasivamente con las corrientes (Krebs, 1985).

RESUMEN

Se realizó un experimento con el copépodo harpacticoide *Euterpina acutifrons* a partir de nauplios de una misma cohorte, para determinar el efecto de las microalgas *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta*, en el desarrollo, las tasas vitales de la población mediante tablas de vida y el crecimiento somático en longitud a $21^{\circ} \pm 1$ C de temperatura y 37 ± 1 ppm de salinidad. Durante 17 días se suministraron las microalgas estandarizadas a $8,800 \mu\text{g}$ de carbón orgánico l^{-1} de cada microalga. Se tomo una muestra de copépodos, las cuales fueron fijadas en 24 h en formol al 4%. Se identificó cada estadio de vida de *E. acutifrons* y se observó que el tiempo más corto de desarrollo, se presentó con *C. calcitrans*, encontrándose adultos a partir del día 9 y la descendencia de estos (F2) en el día 12, seguido de *I. galbana* donde se encontraron adultos a partir del día 11 y la F2 en el día 16. Con *D. tertiolecta* se presentó un desarrollo lento con mortalidad total en el estadio de copepodito 3. Los tres tipos de alimentos afectaron significativamente el tiempo de permanencia de cada estadio. La mayor cantidad de hembras por macho se observó con *C. calcitrans* (60%). Se observaron altas mortalidades (q_x) en nauplios en estadio 2 alimentados con *C. calcitrans* ($q_x = 0.38 \pm 0.06$). La mayor mortalidad en copepoditos (c1-c5) se observó con alimentación de *I. galbana* ($q_x = 0.04 \pm 0.03$). Los valores más altos de la esperanza de vida (e_x), se presentaron con *I. galbana* para nauplios y copepoditos (11.52 ± 0.92 y 7.81 ± 0.87 días respectivamente). La mayor cantidad de huevos por saco ovífero se observó con la microalga *C. calcitrans* (33 huevos hembra $^{-1}$ promedio). La tasa de reemplazamiento (R_o) fue mayor cuando fueron alimentados con *C. calcitrans* (R_o de 231.38). El crecimiento de nauplios se observó más uniforme con *C. calcitrans* y el crecimiento en copepoditos fue mayor con *I. galbana*. El crecimiento somático en hembras fue mayor con *C. calcitrans*. Para desarrollar un cultivo del copépodo harpacticoide *E. acutifrons*, con fines de producción de alimento vivo en acuacultura, se recomienda alimentar los estadios naupliares hasta alcanzar los primeros estadios de copepodito con *I. galbana*, favoreciendo su supervivencia y su esperanza de vida promedio, seguido de una mezcla de *I. galbana* y *C. calcitrans* para incrementar la talla de las hembras y la producción de huevos.

ABSTRACT

In this study was carried out an experiment with the harpacticoid copepod *Euterpina acutifrons* starting from hatching to the onset of the first cohort, to determine the effect of the microalgae *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* and *Dunaliella tertiolecta*, in the development, the populational parameters using the life table methodology and the body growth rates. During 17 days the copepods were fed with microalgae standardized to 8,800 g of organic carbon l⁻¹. The copepods were incubated at 21° ± 1° C of temperature and 37 ± 1 ppm of salinity and the sampled copepod were every 24 h and fixed with formol to 4%. The life cycle of *E. acutifrons* was studied finding the shorter development time when they were fed with *C. calcitrans*, since the adults were first observed at the day 9 and the first spawning (F2) in the day 12. This was followed by copepods fed with *I. galbana* when mature were first observed in the day 11 and the F2 in the day 16. The copepods fed with *D. tertiolecta* had slow development time and the complete cohort died at the stage c3. The three microalgae, affected significantly the development of each stage. The largest proportion of females/male ratio was observed when fed with *C. calcitrans* diet (60%). The life table analysis showed the highest mortalities (q_x) with diet of *C. calcitrans* in the naupli stage 2 ($q_x = 0.38 \pm 0.06$). High mortalities were observed with diet of *I. galbana* in copepodite ($q_x = 0.04 \pm 0.03$). The larger expectation of life (e_x) values were observed with diet of *I. galbana* for nauplii and copepodite (11.52 ± 0.92 and 7.81 ± 0.87 days respectively). The largest brood size was observed with diet of *C. calcitrans*, (average 33 eggs female⁻¹). The largest reproductive rate (R_o) was observed with diet of *C. calcitrans* (R_o 231.38). A more uniform growth of nauplii was observed with diet of *C. calcitrans*. The highest growth rate in copepodites was observed with diet of *I. galbana*. The largest female's growth was observed with the *C. calcitrans* diet. This work conclude that to improve the harpacticoid copepod *E. acutifrons* culture for live food in aquaculture purposes, it is recommended to feed them with *I. galbana* during the naupli stage until the first copepodite stage, because increase the average survival rate and the expectation of life. The following life stages should be feed with a mixture of *I. galbana* and *C. calcitrans* to increase the size of the female and the egg production rates.

1. INTRODUCCIÓN

En el cultivo de larvas de peces y crustáceos marinos, la calidad del alimento es fundamental para obtener organismos resistentes y sanos que tengan una elevada sobrevivencia (Cardona-Pascual, 1993). En las fases iniciales de vida se suelen observar elevadas mortalidades, que en muchos casos, pueden ser atribuibles a una deficiencia en la calidad alimentaria o inanición (Schipp *et al.*, 1999; Payne *et al.*, 2001), debido a que la mayoría de las especies de peces marinos tienen requerimientos estrictos respecto a la alimentación (Izquierdo, 1996; Nanton y Castell, 1999).

Cuando el eleuteroembrión consume el vitelo e inicia una alimentación exógena (1-2 días), se inicia una etapa vulnerable en la mayoría de las larvas de peces marinos. Esto es en parte debido a la necesidad de una presa adecuada que permita un aprendizaje de captura y la apertura y funcionalidad de la boca y el tubo digestivo (Cardona-Pascual, 1993; Watanabe y Kiron, 1994). En las especies de peces de ontogenia indirecta esta etapa es particularmente crítica debido a que existe un periodo de no retorno (PNR) en donde la larva si no se alimenta en un periodo determinado perece aunque la larva sea alimentada nuevamente (Blaxter y Hempel, 1963).

El éxito del crecimiento y la sobrevivencia de las larvas, dependen en gran medida de la relación entre la eficiencia de captura y el valor nutritivo de la presa ingerida. Este problema se suele resolver suministrando organismos de talla adecuada al tamaño de la boca de la larva y con alto nivel nutritivo. El tamaño de presa para las larvas de peces y crustáceos marinos de interés comercial usualmente oscila entre 50 y 500 μm (Yúfera y Pascual, 1984; Amat-Domènech, 1993).

Las larvas de peces marinos en su mayoría son principalmente zooplanctófagas. Las presas principales que consumen en el medio natural son usualmente copépodos en diferentes etapas de desarrollo, debido a que cerca de 70-80 % de la producción secundaria del zooplancton en el océano es compuesto por copépodos (Hulsemann, 1996).

En términos ecológicos el zooplancton representa la comunidad de organismos que asimilan, convierten y transfieren la energía producida por el fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores. La fracción más abundante del zooplancton está constituida por crustáceos, en su mayor parte componen el nivel trófico de los consumidores primarios (herbívoros) caracterizados por su alimentación por filtración (Lally y Parsons, 1993; Gasca, *et al.*, 1996).

Se ha demostrado que los alimentos vivos suministrados a larvas de peces marinos mantenidos en cautiverio tales como copépodos, rotíferos y artemias, son más eficientes que los alimentos peletizados para los procesos de digestión y asimilación de nutrientes (Delbare *et al.*, 1996; Kurokawa *et al.*, 1998; Kolkovski, 2001). El organismo más utilizado como alimento vivo durante los primeros estadios en larvas de camarones peneidos y en la mayoría de las especies de peces marinos cultivados, son las diversas cepas de *Artemia* debido a su relativa facilidad de manejo de huevos enquistados y a su alta sobrevivencia (Liao, 1996; Sorgeloos *et al.*, 2001). A pesar de ello, su utilización como única fuente de alimento ha mostrado algunos inconvenientes, debido a que en años recientes se han observado variaciones en la calidad y producción de este crustáceo, provocando considerables oscilaciones en su costo. Por esta razón, se ha previsto la necesidad de investigar nuevas alternativas alimenticias que aminoren la dependencia del suministro de *Artemia* spp. e incrementar la calidad nutricional en la alimentación de larvas de peces (García-Ulloa *et al.*, 2000; Shields, 2001; Callan *et al.*, 2003).

La elección de especies como alimento vivo para su cultivo y utilización para larvas de peces marinos que presentan ontogenia indirecta debe atender a una doble perspectiva. Por una parte debe ser un organismo de tamaño y valor nutritivo adecuado para la larva (Payne y Rippingale, 2000; Payne *et al.*, 2001; Cabrera *et al.*, 2002). En segundo lugar, debe reunir una serie de características biológicas que permitan lograr su cultivo con eficiencia y rentabilidad, entre las que destacan: a) especie completamente pelágica, b) ciclo de vida relativamente corto, c) elevada tasa de fecundidad, eclosión y sobrevivencia, d) alto contenido energético y digestibilidad, e) resistencia al manejo y a cambios bruscos en el

ambiente (temperatura y salinidad), f) factibilidad de cultivarse a densidades elevadas, g) comportamiento de natación que facilite accesibilidad al depredador y que a su vez sean relativamente fácil de alimentar (Sun y Fleeger, 1995; Støttrup y Norsker, 1997; Nanton y Castell, 1998).

Algunas especies de copépodos presentan la mayor parte de estas características, particularmente aquellas especies que tienen alta resistencia a diferentes condiciones ambientales. Recientemente se ha intentado cultivar diferentes especies de copépodos con potencial para ser usados como alimento vivo en acuicultura (Abu-Rezq *et al.*, 1997; Shansudin *et al.*, 1997; Schipp *et al.*, 1999; Payne y Rippingale, 2000; Støttrup, 2000; Hagiwara *et al.*, 2001; Sipaúba-Tavares *et al.*, 2001; Hernández-Molejón y Álvarez-Lajonchère, 2003; McKinnon *et al.*, 2003).

Theilacker y Kimball (1984) y Szyper (1989) demostraron que los copépodos tienen una mejor calidad nutricional que los rotíferos y la *Artemia*, para el crecimiento de larvas de peces marinos y crustáceos en cautiverio. Esto es debido a su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 y antioxidantes naturales (Norsker y Støttrup, 1994; Støttrup *et al.*, 1999), asimismo se ha demostrado que algunos copépodos tienen la capacidad fisiológica para desaturar y elongar las cadenas de los ácidos grasos de cadenas cortas (Norsker y Støttrup, 1994; Nanton y Castell, 1999).

Además, se ha demostrado que los copépodos presentan mayor cantidad de ácidos grasos esenciales (ácido docosahexaenoico DHA y ácido eicosapentaenoico EPA) requeridos por las larvas de peces para el desarrollo del sistema nervioso, demostrando una superioridad nutricional sobre *Artemia* y rotíferos (McEvoy *et al.*, 1998; Shields *et al.*, 1999a; Payne *et al.*, 2001). Estos ácidos grasos además de proporcionar energía, estimulan el crecimiento, favorecen la respuesta inmune, mejoran la sobrevivencia, el desarrollo normal de pigmentación larvaria, la morfología de la retina y la resistencia al estrés, en las primeras fases de desarrollo de diversas especies de peces marinos de alto valor comercial (Kraul *et al.*, 1991, 1992, 1993; Sargent *et al.*, 1999; Shields *et al.*, 1999b). Asimismo, los copépodos presentan una mejor composición de

aminoácidos libres, contenido proteico y vitamínico en comparación con *Artemia* (Rønnestad *et al.*, 1998; Støttrup *et al.*, 1998; Helland *et al.*, 2003).

Adicionalmente los copépodos exhiben una ventaja muy interesante como presa de larvas de peces marinos cultivados, debido a que sus movimientos oscilatorios y de desplazamiento estimulan visualmente a las larvas, a su vez, los copépodos presentan un amplio intervalo de tallas desde nauplio hasta adulto lo cual favorece la depredación por larvas en diferente estadio de desarrollo (Delbare *et al.*, 1996).

Los copépodos pertenecientes a los Ordenes Calanoida, Harpacticoida y Cyclopoida son los más utilizados como alimento vivo para larvas de peces marinos, debido a la facilidad de su cultivo y a que se ha logrado mantener algunas especies en condiciones de laboratorio por una o más generaciones (Inoue y Aoki, 1969; Kitajima, 1973; Itoh, 1973; Omori, 1973; Iwasaki *et al.*, 1984; Chen, 1988).

Con la finalidad de apoyar el esfuerzo para el cultivo de peces marinos en Baja California Sur, esta contribución pretende proponer el copépodo harpacticoida *Euterpina acutifrons* como posible alimento vivo de larvas de peces marinos. Esta elección fue favorecida por el éxito que han obtenido con otras especies de copépodos harpacticoides como presas para larvas de peces marinos bajo condiciones controladas (Lee *et al.*, 1985; Norsker y Støttrup, 1994; Hagiwara *et al.*, 1995; Sun y Fleeger, 1995; Weiss *et al.*, 1996; Abu-Rezq *et al.*, 1997; Støttrup y Norsker, 1997; Nanton y Castell, 1998, 1999; Williams y Jones, 1999; Pinto *et al.*, 2001).

Euterpina acutifrons (Dana, 1848) es un copépodo harpacticoida pelágico de la familia Tachidiidae que vive en aguas neríticas cálidas y templadas con fondo arenoso. Esta especie puede ser muy abundante durante las estaciones de primavera y verano, tiene una distribución cosmopolita (Abele, 1982; Raymont, 1983; Viñas, 1991; Hulsemann, 1996; Palomares-García *et al.*, 1998; Ara, 2001), en la laguna de La Paz se ha capturado a lo largo de todo el año y con mayor abundancia durante el verano (Palomares-García, 1996).

La ontogenia del copépodo harpacticoide *E. acutifrons* consiste de 6 estadios naupliares (Figura 1) y 6 estadios de copepoditos (Figura 2), el estadio adulto activamente reproductivo es el copepodito 6 (El-Maghraby, 1964; Fanta, 1973). Los estadios adultos presentan dimorfismo sexual, la diagnosis de estos se muestra en el anexo 1.

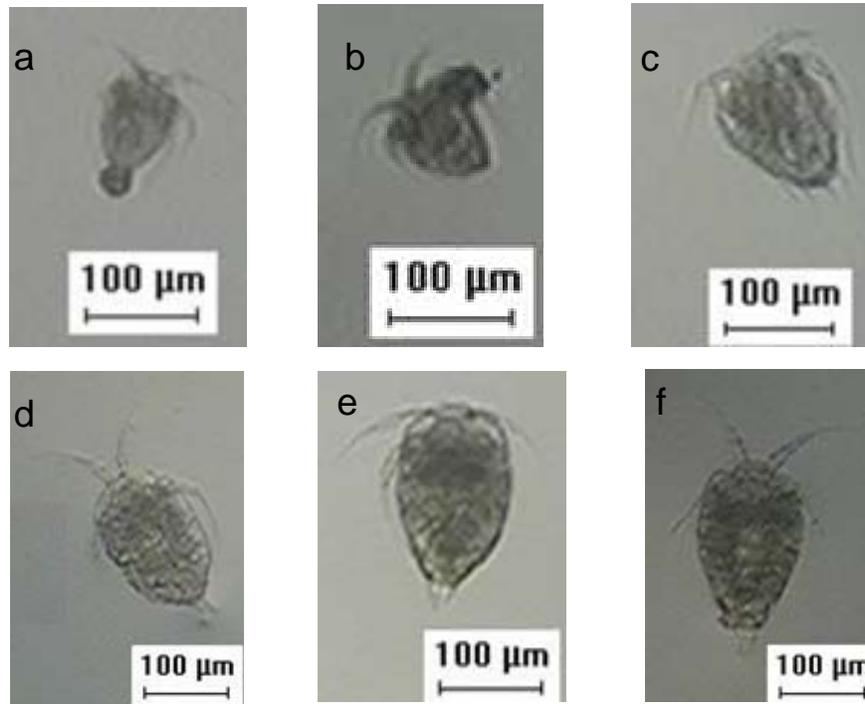


Figura 1. Estadios naupliares en el desarrollo del copépodo harpacticoide *Euterpina acutifrons*: a) nauplio I, b) nauplio II, c) nauplio III, d) nauplio IV, e) nauplio V, f) nauplio VI.

Se conoce que los hábitos alimentarios del copépodo planctónico harpacticoide *E. acutifrons* son fitoplanctófagos por filtración con poca o nula selectividad y que su filtración es estimulada por la concentración de microalgas. La captura de las partículas es de forma aleatoria y depende de diversos factores como son: a) características físicas del fluido; b) movimientos de los apéndices de filtración; c) tamaño y composición bioquímica de la partícula alimentaria (Sautour y Castel, 1993a, b).

La dinámica de una población puede ser expresada por algunos parámetros poblacionales, tal como: número de estadios larvales, tiempo de eclosión, tiempo de desarrollo, tiempo de residencia en cada estadio, tasa de mortalidad de cada estadio, proporción de sexos, tiempo de generación o duplicación poblacional, esperanza de vida e incremento o decremento de la densidad poblacional. Estos parámetros pueden obtenerse mediante la aplicación de una tabla de vida.

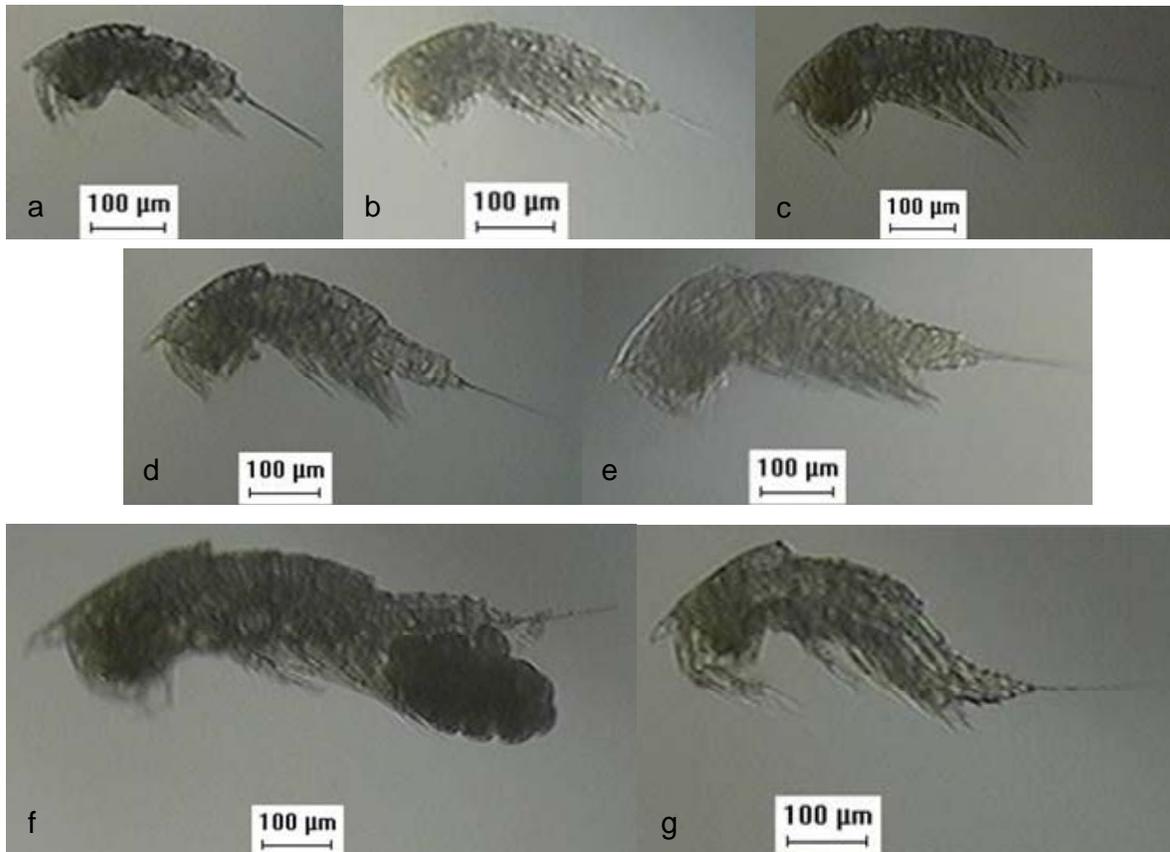


Figura 2. Estadios de copepodito en el desarrollo del copépodo harpacticóide *Euterpina acutifrons*: a) copepodito I, b) copepodito II, c) copepodito III, d) copepodito IV, e) copepodito V, f) copepodito VI hembra ovígera, g) copepodito VI macho.

En este trabajo se realizó el incubo bajo condiciones de laboratorio el copépodo marino harpacticóide *E. acutifrons* para evaluar el efecto del tipo de alimentación con diferentes especies de microalgas (*I. galbana*, *C. calcitrans* y *D. tertiolecta*) en el desarrollo ontogenético, tasas vitales y crecimiento con la finalidad de ampliar el conocimiento de este copépodo con fines acuícolas.

2. ANTECEDENTES

2.1. Desarrollo ontogenético de los copépodos

Diversos aspectos de la biología y la ecología de copépodos han sido estudiados para una gran cantidad de especies a lo largo del tiempo, entre estos están los relacionados al desarrollo, a lo que Landry (1983) resalta su importancia enfatizando que es esencial determinar la tasa de desarrollo de los copépodos para comprender el tiempo de residencia y tasa de crecimiento de cada estadio de vida a lo largo de su ontogenia. Esto es debido a que cada estadio tiene características fisiológicas y morfológicas específicas que afectan la sobrevivencia en cada especie, como la adaptación de eficiencia energética que presentan en la fase naupliar, donde los estadios naupliares tempranos con alimentación vitelogenica tienen tiempos de desarrollo más cortos en comparación con los estadios naupliares tardíos con alimentación exógena. Esta estrategia de modificación de desarrollo podría incrementar la recuperación del peso perdido durante el periodo de nutrición vitelogénica.

Asimismo, Hartnoll (1982) y Fryd *et al.* (1991) observaron que los tiempos de residencia de cada estadio de copepodito 5 y 6 en diversas especies de copépodos calanoides y harpacticoides aumentan en función del incremento de contenido de lípidos asociados a la preparación de la madurez sexual, por lo que especies con mayor contenido de lípidos tienen tiempos de residencia mayores a especies con menor contenido de lípidos.

Los estudios relacionados con el desarrollo de copépodos en campo o laboratorio son muy amplios (Hirst y Kiørboe, 2002), sin embargo a pesar de la gran cantidad de especies con las que cuenta este grupo, se han realizado pocos estudios con copépodos harpacticoides entre los que destacan los realizados por Lee *et al.* (1985), Nilsson (1987) y Weiss *et al.* (1996), que determinaron como el tiempo de desarrollo está afectado por el tipo de alimento suministrado y que las diatomeas cuentan con las características nutricionales adecuadas para favorecer el desarrollo somático de los copépodos harpacticoides (Pinto *et al.*, 2001).

Además, Nilsson (1987) y Viñas (1991) señalaron que en sistemas marinos y estuarinos la composición y concentración del fitoplancton particularmente de diatomeas modifican la proporción de sexos en copépodos harpacticoides como *E. acutifrons* favoreciendo a que una mayor proporción de hembras alcancen la madurez sexual (Ara, 2001).

Particularmente con *E. acutifrons* algunos autores como Neunes y Pongolini (1965), Sciandra (1986) y Carlotti y Nival (1992) determinaron que las tasas y permanencia del desarrollo ontogenético varía dependiendo del tipo de alimento suministrado y observaron que con una mezcla de diferentes especies de microalgas se obtuvo un desarrollo no isocronal. A su vez mencionaron que un suplemento alimenticio con una calidad nutricional deficiente incrementa las diferencias en los tiempos de permanencia de cada estadio.

2.2. Tasas vitales en copépodos

Las tablas de esperanza de vida son un técnica conveniente para describir la mortalidad proyectada de una población (Krebs, 1985), aunque son pocos estudios que usan esta técnica con copépodos, se han determinado principalmente las tasas de sobrevivencia, mortalidad y natalidad.

Al respecto algunos autores (Støttrup y Jensen, 1990; Trujillo-Ortiz y Arroyo-Ortega, 1991; Payne y Rippingale, 2000) evaluaron la influencia de diversas especies de microalgas en la tasa de crecimiento de los copépodos calanoides *Acartia* sp. y *Gladiferens imparipes*, determinando que la talla, la cantidad y la calidad de las partículas alimenticias son los principales factores que afectan las tasas vitales en copépodos. Esto es debido a que se pueden producir altas mortalidades por un inadecuado balance entre cantidad y calidad nutricional en los primeros estadios naupliares. A su vez mencionaron que las diatomeas fueron el alimento más eficaz debido a que los copépodos incrementan notablemente la sobrevivencia y la producción de huevos en comparación con suplementos alimenticios como dinoflagelados y partículas inertes.

Resultados similares fueron descritos por Weiss *et al.* (1996) y Pinto *et al.* (2001) quienes determinaron en los harpacticoides *Nitocra spinipes* y *Tisbe biminiensis* que las diatomeas *Thalassiosira weissflogii* y *Nitzschia closterium* suministradas como alimento producen mejores resultados en relación al éxito reproductivo y que las fluctuaciones en la mortalidad y sobrevivencia de nauplios, copepoditos y adultos depende en gran medida de la tasa de ingestión de partículas alimenticias y el contenido nutricional del alimento.

Sautour y Castel (1993a, b) y Guisande *et al.* (1999) mencionaron que los principales factores bióticos que afectan la sobrevivencia en el harpacticoides *E. acutifrons* son la limitada eficiencia de captura definida por el tamaño de la partícula, la capacidad relativa de retención y la concentración y calidad del alimento suministrado, debido a que cada estadio sucesivo de desarrollo requiere de distintas características físicas y químicas del alimento (Carlotti y Nival, 1992; Jackson y Kiørboe, 2004).

Nilsson (1987) evaluó mediante tablas de vida la tasa de incremento poblacional para los copépodos harpacticoides *Mesochra lilljeborgi* y *Amonardia normani*, y observó que para ambas especies los mejores resultados se obtuvieron con la diatomea *Navicula* sp. con la cual se incremento significativamente la tasa de producción de huevos y se obtuvo una elevada tasa de eclosión.

2.3. Crecimiento somático en copépodos

El crecimiento de copépodos harpacticoides del género *Tisbe* es afectado directamente por la calidad del alimento consumido según lo descrito por Lee *et al.* (1985) y Nilsson (1987).

Abu-Rezq *et al.* (1997) y Pinto *et al.* (2001), cultivaron bajo condiciones controladas copepodos harpacticoides del género *Tisbe* sp. y al evaluar su crecimiento, determinaron que las hembras son más grandes que los machos y que presentan una tasa de crecimiento mayor. A su vez mencionaron que la alimentación a base de diatomeas genera un crecimiento uniforme en *Tisbe* sp.

El-Maghraby (1964) y Fanta (1973) determinaron en campo el crecimiento somático de *E. acutifrons* a partir de mediciones de longitud total en cada estadio de desarrollo y observaron que pueden presentarse variaciones de tamaños de individuos de distintas poblaciones geográficamente separadas latitudinalmente (Mayr, 1979; Abele, 1982; Moreira y McNamara, 1984).

En el departamento de Desarrollo de Tecnologías del CICIMAR-IPN se han realizado estudios con el copépodo calanoide *Pseudodiaptomus euryhalinus* con la finalidad de utilizarlo como alimento para larvas de peces marinos. Payán-Aguirre (1994) incubó *P. euryhalinus* y concluyó que al alimentarlo a una densidad de 75,000 cél ml⁻¹ con una proporción de 3:1 de *Tetraselmis suecica* e *Isochrysis tahitiana* se mantuvo estable el cultivo a mediana escala, incrementando la tasa de producción de huevos, crecimiento somático y sobrevivencia con una densidad máxima de 4.4 copéodos ml⁻¹. Posteriormente, Osorio-Galindo (1998) determinó el efecto de la temperatura y salinidad en parámetros poblacionales de *P. euryhalinus*, con la finalidad de desarrollar una producción intensiva a nivel piloto y encontró que la mayor mortalidad ocurrió a 45 ‰ de salinidad para todas las temperaturas, la máxima producción fue de 2,252 nauplios a lo largo del cultivo a 23 °C y 35 ‰. Asimismo, encontró que las tasas de crecimiento poblacional estuvieron influenciadas principalmente por la temperatura, siendo de 0.98 a 30°C y de 0.68 a 23°C. A 23 °C observó una proporción de sexos 1:1, mientras que a 30 °C fue de 3:1 (machos: hembras).

3. JUSTIFICACIÓN

La acuicultura marina en México tiene un potencial económico específicamente en la piscicultura marina debido a los más de 10,000 km de litorales del país y a la alta diversidad de especies de peces potencialmente cultivables. A pesar de esto, el cultivo exitoso de estos peces marinos son contados o pocos.

Uno de los problemas para realizar el cultivo de algunas especies marinas de interés comercial es la alimentación larvaria. A pesar de un vasto suministro de rotíferos, artemia y alimentos artificiales, aún no se ha logrado obtener porcentajes de sobrevivencia larvaria por arriba del 25 % para realizar el cultivo a nivel comercial. Esta baja sobrevivencia posiblemente se deba al tamaño inadecuado del alimento ofrecido. Otro posible factor es la calidad nutricional inadecuada de estos alimentos que no logran satisfacer las necesidades nutricionales requeridas por las larvas de peces.

Es necesario investigar este problema mediante la selección y prueba experimental de alimentos que pudieran ser favorables para la crianza de larvas de peces. Entre las principales opciones se encuentran los nauplios de copépodos, los cuales tienen muchos beneficios, entre los que destacan su amplia variedad de tallas desde nauplios a adultos y su alto contenido nutricional, ya que son ricos en ácidos grasos poliinsaturados como el EPA, DHA y ARA, los cuales son fundamentales para el crecimiento y sobrevivencia en peces.

El copépodo harpacticoide *E. acutifrons* presenta las características antes mencionadas y es por ello que se evaluó el efecto de la alimentación con las microalgas *I. galbana*, *C. calcitrans* y *D. tertiolecta* en el desarrollo, tasas vitales y crecimiento para determinar las condiciones alimenticias más adecuadas para realizar su cultivo a pequeña y mediana escala, con la finalidad de utilizar sus nauplios en la alimentación de larvas de peces marinos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la alimentación en el desarrollo, las tasas vitales y el crecimiento somático del copépodo harpacticoide *Euterpina acutifrons* con tres diferentes microalgas a una concentración de carbono estandarizada bajo condiciones controladas de temperatura y salinidad.

4.1.1. Objetivos particulares

1. Estimar el tiempo de desarrollo por estadio del copépodo *E. acutifrons* en función de la especie de microalga que poseen tres rangos de talla.
2. Estimar las tasas de sobrevivencia, mortalidad, esperanza de vida, índice reproductivo neto y crecimiento poblacional de *E. acutifrons* mediante el uso de tablas de vida con cada una de las microalgas suministradas como alimento.
3. Estimar la tasa de crecimiento promedio por estadio de *E. acutifrons* en función de la especie de microalga suministrada como alimento.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Aislamiento y acondicionamiento de copépodos

5.1.1. Zona de recolecta

Los copépodos utilizados en este trabajo, se obtuvieron en la Laguna de La Paz (Figura 3), localizada al sur de la Bahía de La Paz, entre los 24° 06' y 24° 11' N y los 110° 19' y 110° 25' W. La laguna está separada de la bahía por una barra de arena de origen marino llamada "El Mogote" de aproximadamente 11 km de longitud y 2.7 km en su parte más ancha. La batimetría presenta profundidades menores de 2 m en más del 50 % del área, con dos depresiones ubicadas una en la parte norte (7 m) y otra en la sur (4 m) del interior de la laguna. Se comunica con la bahía mediante un canal de mareas de 1 km de ancho y 4 km de largo, con una profundidad promedio de 8 m. Los sedimentos, desde el canal principal hasta el centro y norte de la laguna, se caracterizan por el predominio de un sustrato arenoso, mientras que en la región sur esta compuesto por lodo y arena (Jiménez-Quiroz, 1991).

La temperatura se incrementa hacia el interior de la laguna durante primavera y verano, en otoño e invierno disminuye en el mismo sentido. La temperatura estacional promedio en el interior de la laguna se incrementa de 20 °C en enero a un máximo de 31 °C en agosto y disminuye de 30 a 21 °C de septiembre a diciembre (Espinoza-Ávalos, 1977; Jiménez-Quiroz, 1991). Debido a su escasa profundidad esta laguna se ve fuertemente influenciada por las mareas de tipo semi-diurno, con una amplitud promedio de ± 1 m y velocidades de corriente de hasta $0.46 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en la boca, con un tiempo de renovación de 3.5 a 4.02 ciclos de marea (Félix-Pico, 1976). Los vientos dominantes provienen del noroeste de noviembre a marzo y toman una dirección oeste suroeste de abril a agosto (Morales y Cabrera-Muro, 1982).

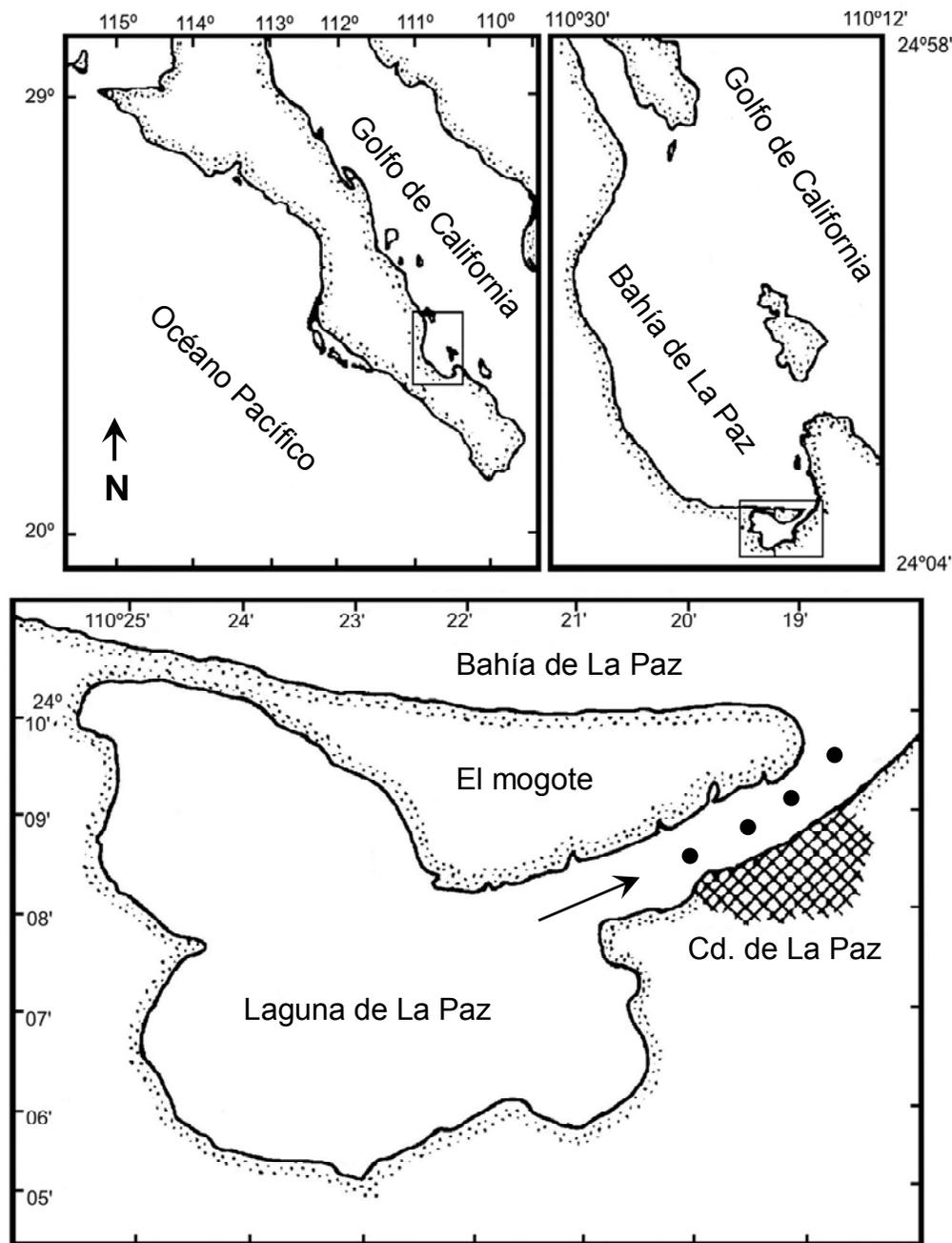


Figura 3. Localización de la zona de recolecta Laguna de La Paz.

5.1.2. Aislamiento

La recolección de zooplancton se realizó en el mes de abril del 2002, debido a que durante la primavera se encuentra en mayor abundancia el copépodo *E. acutifrons* en La laguna de La Paz (Palomares-García, 1996). La captura del zooplancton se efectuó con una red cónica de 0.22 m de diámetro de

boca y una abertura de malla de 216 μm . Los arrastres se efectuaron horizontalmente y en círculos a una velocidad de aproximadamente 1 a 2 nudos a una profundidad de aproximadamente 1 m con una duración de 3 minutos. La red se arrastró a un costado de la embarcación, con la finalidad de evitar la turbulencia del agua causada por la propela (Trujillo-Ortíz y Arroyo-Ortega, 1991). Se midieron las variables de temperatura con un multiparámetro modelo YSI (0.01 $^{\circ}\text{C}$) y la salinidad con un refractómetro modelo Aquafauna con precisión de 0.5 ups.

El material biológico vivo se depositó en recipientes mantenidos dentro de una hielera, conservando las mismas condiciones de temperatura y salinidad registradas en el campo para ser transportados al laboratorio.

En el laboratorio, se efectuó el aislamiento del copépodo *E. acutifrons* mediante un filtrado por tamices de 300 μm para eliminar organismos mayores y posteriormente a 100 μm para eliminar organismos menores, desechando el resto de la muestra. Los individuos contenidos entre 300 y 100 μm fueron enjuagados con agua de mar previamente filtrada con cartuchos de retención de partículas de 1 y 5 μm y desinfectada con luz ultravioleta. Se procedió a colocar en cajas de petri de cristal la biomasa separada, se separaron los machos y hembras adultos de *E. acutifrons* mediante pipetas Pasteur y un microscopio estereoscópico (Zeiss, SV11). Se separaron preferentemente hembras con sacos ovígeros maduros; la identificación de los adultos se realizó de acuerdo a lo reportado por Palomares-García *et al.* (1998).

5.1.3. Acondicionamiento

Los copépodos seleccionados se acondicionaron a las condiciones de laboratorio por múltiples generaciones durante 10 meses, bajo un régimen de alimentación a base de una mezcla de microalgas, con la finalidad de no dar preferencia a ningún tipo de alimento (Weiss *et al.*, 1996).

La mezcla de microalgas, consistió de *Isochrysis galbana* (Prymnesiophyceae), *Chaetoceros calcitrans* (Bacillariophyceae) y *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae), mismas que se utilizaron para el experimento.

Estas microalgas fueron suministradas a una densidad de 2.2×10^6 , 1.2×10^6 y 8.5×10^5 células·ml⁻¹ respectivamente, se mantuvieron a una temperatura de 21 ± 1 °C, salinidad de 37 ± 1 ups, y fotoperiodo de 12 h luz y 12 h oscuridad.

5.2. Cultivo de microalgas

5.2.1. Origen de las cepas y condiciones de cultivo

Las cepas de las microalgas *I. galbana*, *C. calcitrans* y *D. tertiolecta* se obtuvieron del laboratorio de microbiología del CICIMAR-IPN, las cuales fueron cultivadas bajo condiciones controladas con agua marina previamente filtrada a través de 2 filtros de cartucho dispuestos en serie, con capacidad de retención de partículas de 5 y 1 µm y desinfectada con 6 lámparas de luz ultravioleta y enriquecida con medio de cultivo f/2 (anexo 2) a temperatura de 23 ± 1 °C, salinidad de 36 ± 1 ups y con fotoperiodo de 12 h luz y 12 h oscuridad.

Las microalgas poseen un intervalo de tallas de 3-5 µm para *I. galbana*, 8-10 µm para *C. calcitrans* y de 12 µm para *D. tertiolecta* (Volkman *et al.*, 1989).

5.2.2. Escalamiento

Con la finalidad de optimizar la calidad de las microalgas se realizaron siembras escalonadas (Figura 4). A partir de placas con agar se obtuvieron células con un asa de cultivo y se colocaron en tubos de ensayo con 5 ml, para posteriormente sembrar las células en matraces con 50, 250 y 1500 ml de cultivo respectivamente. Esto se llevo a cabo en un ambiente de trabajo estéril, la rutina de escalamiento finaliza al transferirse las células a garrafones de 19 l con un volumen de 15 l de medio de cultivo f/2.

Los garrafones con agua marina se desinfectaron por vía química adicionando 17 mg·l⁻¹ de hipoclorito de sodio al 90 % durante 24 h, el cloro residual se eliminó mediante la adición de 10 mg·l⁻¹ de tiosulfato de sodio, este proceso de neutralización se aceleró mediante una aireación abundante durante 1 h. Antes de adicionar los nutrientes del medio f/2, se verificó la ausencia de cloro libre mediante un comparador colorimétrico, usando ortotoluidina como indicador (Votolina-Lobina *et al.*, 1989).

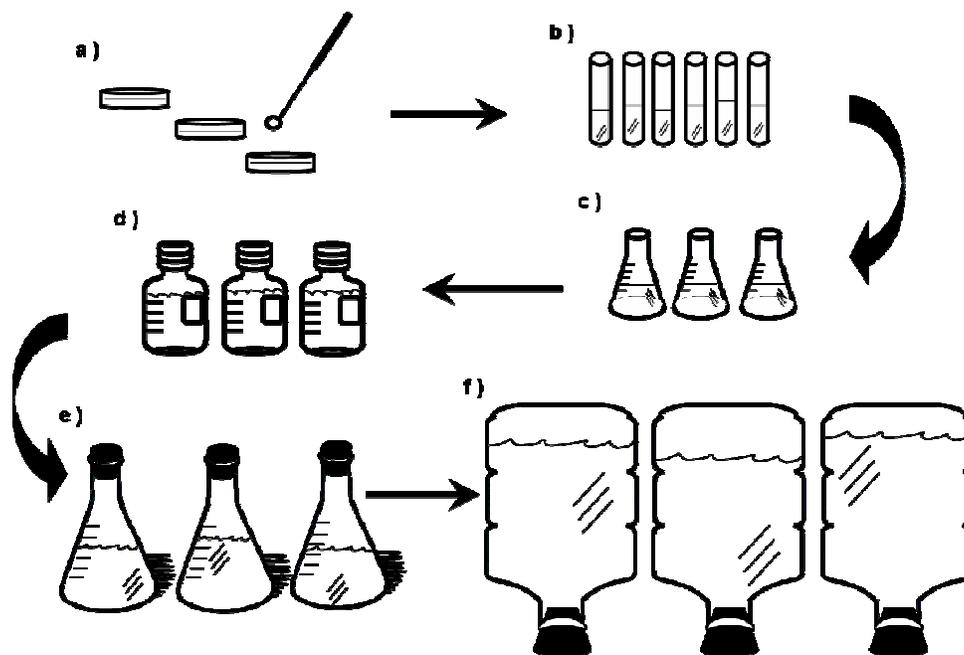


Figura 4. Escalamiento de cultivos de microalgas bajo condiciones de laboratorio en: a) Placas con agar, b) Tubos de ensayo de 50 ml con 5 ml de medio f/2, c) Matraces de 250 ml con 50 ml de medio f/2, d) Botellas de 250ml con 200 ml de medio f/2, e) Matraces de 2000 ml con 1500 ml de medio f/2, f) Garrafones de 19 l con 15 l de medio f/2.

5.2.3. Determinaciones bioquímicas

La evaluación y caracterización de las microalgas se realizó cada 24 h durante 5 días de cultivo a partir de la siembra en garrafones, de acuerdo a contenido de clorofilas, densidad, peso seco y contenido de carbón orgánico, todos los estudios se llevaron a cabo por triplicado y de acuerdo a la siguiente metodología:

5.2.3.1. Densidad

Para determinar la densidad celular se fijó una muestra de los cultivos de cada microalga con lugol y formol al 4% amortiguado con borato de sodio previo al conteo de la muestra, se homogenizó y se evaluó la densidad por conteo directo con un hematocitómetro marca Hausser Scientific de 100 μm de profundidad y se observó en un microscopio compuesto Zeiss a 40x de aumento.

5.2.3.2. Peso seco

El peso seco de las microalgas, se obtuvo filtrando 30 ml de cada cultivo en filtros de fibra de vidrio GF/F de 25 mm, previamente puestos a peso constante mediante la calcinación en una mufla a 400 °C por 2 h. Las muestras se secaron en una estufa de convección marca Thelco (60 °C por 24 h), después de este periodo de secado, fueron pesados a temperatura ambiente por lo menos 3 veces consecutivas, mediante el uso de una balanza analítica marca OHAUS Analytical plus con 0.00001 g de precisión.

5.2.3.3. Carbón orgánico

La determinación del contenido de carbón orgánico, se realizó en el laboratorio analítico del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Santa Bárbara en California, E. U. A., por combustión, mediante un analizador orgánico elemental de alta temperatura – CHN marca Exeter Analytical Corp. modelo CEC 440HA, para lo cual se usaron filtros de fibra de vidrio a peso constante y con muestras previamente filtradas y secadas de igual manera a peso constante. Los filtros fueron colocados en cápsulas de aluminio e incineradas a 1000 °C. Los productos de combustión CO₂, N₂ y H₂O fueron separados por trampas químicas selectivas y medidos con 3 pares de detectores de conductividad de alta precisión térmica, con los cuales se determinó simultáneamente carbón, hidrógeno y nitrógeno como porcentaje de peso.

5.2.3.4. Pigmentos

El contenido de clorofila *a*, *b* y *c* se obtuvo mediante la técnica de Parsons *et al.*, (1989), que consistió en filtrar un volumen conocido de muestra en filtros de fibra de vidrio GF/F de 25 mm mediante una torre de filtración triple marca Nalgene, se colocaron los filtros en tubos de vidrio de 50 ml, donde se agregaron 10 ml de acetona (90 %) y se molieron con una varilla de vidrio. Los volúmenes de acetona adicionados se marcaron y los tubos se sellaron con cinta de parafina. La extracción de pigmentos se realizó manteniendo las muestras en oscuridad y en refrigeración a 5 °C durante 24 h. Posteriormente se recuperaron los volúmenes

de acetona al nivel original de los tubos, en caso de haber pérdidas por evaporación, se completó el volumen adicionando acetona hasta la marca previamente establecida y se centrifugaron por 10 minutos a 3,000 RPM. Se registró la absorbancia en un espectrofotómetro marca Perkin Elmer, a 750, 665, 645 y 630 nm en cubetas de cuarzo de 1 cm de paso de luz.

5.3. Cultivo de *Euterpina acutifrons*

5.3.1. Alimentación

Se evaluó la diferencia en desarrollo y crecimiento de *E. acutifrons* a partir de nauplios del primer estadio (n1) aislados de una misma cohorte, alimentados con las microalgas *I. galbana*, *C. calcitrans* y *D. tertiolecta* proporcionadas como alimento individualmente.

Con la finalidad de comparar la calidad y la cantidad de las especies de microalgas para estimar las tasas poblacionales de diversas especies de copépodos, se ha estudiado el contenido de carbón orgánico en células microalgales (Williams y Jones, 1999; Bonnet y Carlotti, 2001; Thor *et al.*, 2002), por lo que se uniformizaron los tratamientos con base al contenido de carbono, determinado en los experimentos realizados con anterioridad, proporcionando una cantidad de 8,800 μg de carbón orgánico l^{-1} (anexo 3). Las microalgas se suministraron durante la fase de crecimiento de cada uno de los cultivos.

5.3.2. Densidad de nauplios

Para la separación de los nauplios de una misma cohorte, se seleccionaron hembras con sacos ovígeros maduros y se incubaron a una temperatura de 21 °C por 24 h, después de este tiempo se retiraron las hembras desovadas y no desovadas mediante una malla de 100 μm . Para evaluar la cantidad de nauplios por mililitro, se concentraron todos los individuos en una probeta de cristal de 1000 ml de volumen y se aforo con agua de mar filtrada, con aireación vigorosa. Se tomaron 10 alícuotas con una pipeta de 5 ml y se determinó el número total de nauplios contenidos en cada una de las muestras. Con estos datos se obtuvo un promedio de 30 nauplios ml^{-1} y se extrapoló a la cantidad total de la siembra.

5.3.3. Diseño experimental

Para cada tratamiento, se utilizaron simultáneamente 52 botellas de plástico de 500 ml de capacidad, llenados con un volumen de 300 ml con cada especie de microalga.

Se incubaron 60 nauplios del copépodo *E. acutifrons* por cada bote. Cada tratamiento se realizó por triplicado renovando el cultivo con medio fresco cada 24 h. Los copépodos de *E. acutifrons* bajo estas condiciones se mantuvieron durante 17 días en cultivo.

5.3.4. Condiciones de cultivo

Los contenedores se colocaron en el interior de tanques de fibra de vidrio de 0.70 m de ancho x 1.40 m de largo y 0.38 m de profundidad, semi sumergidos en agua a una temperatura de 21 ± 1 °C manteniéndose homogénea mediante un calentador de agua con termostato e inyección de aire (Figura 5).

Estas pruebas, se desarrollaron bajo una salinidad de 37 ± 1 ups y un fotoperiodo de 12 h luz y 12 h oscuridad para favorecer la actividad alimenticia de los copépodos harpacticoides (Souza-Santos *et al.*, 1995). Los cultivos se realizaron dentro del laboratorio de alimento vivo de la Unidad Piloto de Maricultivos (UPIMA), dentro de las instalaciones de CICIMAR-IPN.

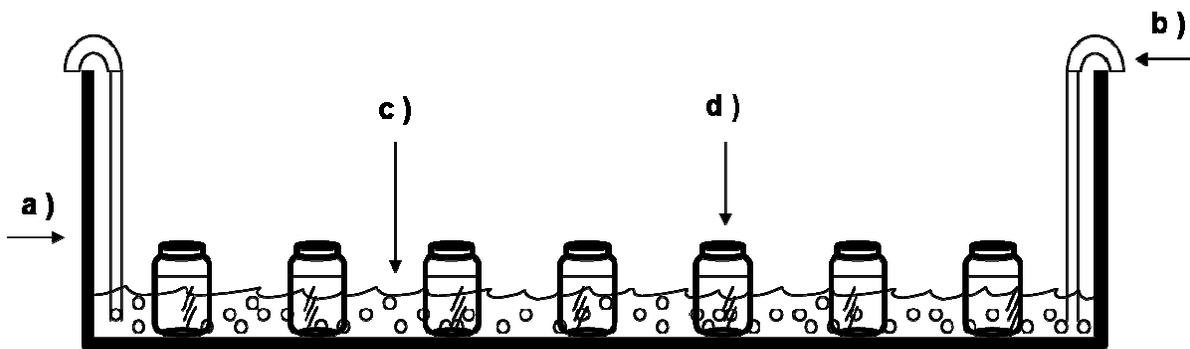


Figura 5. Módulo experimental de cultivo del copépodo *Euterpina acutifrons*. a) Tanque de fibra de vidrio, b) Inyección de aire, c) Agua, d) Unidades experimentales.

5.3.5. Procesamiento de muestras

Cada 24 h se filtró el contenido de 3 botellas tomados aleatoriamente del módulo experimental de cultivo (Fig. 5) a través de un tamiz con una luz de malla de 25 μm cada 24 h. Los individuos cosechados se fijaron en formol al 4 % neutralizado con borato de sodio y se concentraron en viales de 10 ml.

Para el censo y reconocimiento de cada estadio de desarrollo, se utilizó un analizador de imágenes Image Pro plus versión 4.5 para Windows 98, con un microscopio estereoscópico Olympus SZ4C45 conectado a una cámara digital Hitachi XP-D50 de color. Los individuos de *E. acutifrons* se sexaron y se contabilizó el número de hembras, registrando la presencia o ausencia de sacos ovígeros, estos datos fueron utilizados para calcular las tablas de vida.

Se observó cada estadio de vida de *E. acutifrons* siguiendo los criterios propuestos por El-Maghraby (1964) y Fanta (1973) para los estadios naupliares, copepoditos y adulto, se asumió el cambio de un estadio a otro, considerando dominante el estadio que presentó una abundancia del 50 % o mayor (Landry, 1975; Berggreen *et al.*, 1988; Fryd *et al.*, 1991).

5.4. Tablas de vida para *Euterpina acutifrons*

Para obtener los parámetros de la población, se determinó la tabla de vida de *E. acutifrons* alimentados con cada una de las microalgas proporcionadas calculadas con la metodología propuesta por Krebs (1985) y Caswell (1989):

5.4.1. Índice de mortalidad:

$$q_x = \frac{d_x}{n_x}$$

Donde:

q_x = Índice de mortalidad durante el intervalo x a $x + 1$.

d_x = Abundancia de individuos que mueren durante el intervalo x a $x + 1$.

n_x = Abundancia de sobrevivientes al inicio del intervalo de edad x .

5.4.2. Proporción de organismos que sobreviven al inicio del intervalo x :

$$l_x = \frac{n_x}{n_0}$$

Donde:

l_x = Proporción de organismos que sobreviven al inicio del intervalo x .

n_x = Abundancia de sobrevivientes al inicio del intervalo de edad x .

n_0 = Abundancia de individuos al inicio del experimento.

5.4.3. Abundancia promedio de individuos vivos:

$$L_x = \frac{n_x + n_{x+1}}{2}$$

Donde:

L_x = Abundancia promedio de individuos vivos en el intervalo de edad que va de x a $x + 1$.

n_x = Abundancia de sobrevivientes al inicio del intervalo de edad x .

5.4.4. Abundancia de individuos por intervalo de tiempo:

$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x$$

Donde:

T_x = Abundancia de individuos por intervalo de tiempo.

L_x = Abundancia promedio de individuos vivos, durante el intervalo de edad que va de x a $x + 1$.

5.4.5. Esperanza de vida

$$e_x = \frac{T_x}{n_x}$$

Donde:

e_x = Esperanza promedio de vida para los organismos vivos al comienzo del periodo de edad x .

T_x = Abundancia de individuos por intervalo de tiempo.

n_x = Abundancia de sobrevivientes al inicio del intervalo de edad x .

5.4.6. Tasa de reemplazamiento:

$$R_o = \sum_0^{\infty} l_x m_x$$

R_o = Tasa de reemplazamiento (Indice reproductivo neto).

l_x = Proporción de organismos que sobreviven al inicio del intervalo x .

m_x = Abundancia descendente producida en un intervalo de edad.

5.4.7. Tasa intrínseca de crecimiento poblacional:

$$r_m = \frac{1}{D} \ln PN_e$$

r_m = Tasa intrínseca de crecimiento poblacional (Indice de multiplicación por generación).

D = Tiempo de generación (Aparición de nauplios de la generación F1).

P = Abundancia promedio de hembras con saco de huevos

N_e = Tamaño de puesta

5.4.8. Número de individuos en el tiempo t :

$$N_t = N_0 e^{r_m t}$$

N_t = Abundancia de individuos en el tiempo (t)

N_0 = Abundancia de individuos al inicio del experimento

e = 2.71828

r_m = Tasa intrínseca de crecimiento poblacional (Índice de multiplicación por generación).

t = Tiempo

5.5. Crecimiento somático de *Euterpina acutifrons*

Se evaluó la diferencia en crecimiento entre individuos de *E. acutifrons* alimentados con las microalgas *I. galbana*, *C. calcitrans* y *D. tertiolecta*.

En los estadios naupliares se midió la longitud total (μm), para los estadios de copepodito y adulto se midió la longitud total a partir de múltiples líneas sobre el contorno del cuerpo desde el rostro hasta la rama caudal, adicionalmente como complemento comparativo, fue registrada la longitud cefálica desde el rostro hasta la unión del cefalotórax y el abdomen con el fin de identificar malformaciones.

Se midieron al menos 30 individuos o en su caso la totalidad de los individuos del estadio que representó ese intervalo de tiempo. Para medirlos se utilizó el programa analizador de imágenes SigmaScan Pro, versión 5.0 para Windows XP (SPSS, Inc. 1987-1999). La escala de medición utilizada para este programa se ajustó previamente con la imagen de una reglilla de 1000 μm tomada con el mismo aumento con el que se tomaron las imágenes de todas las etapas de desarrollo de *E. acutifrons*.

5.6. Análisis estadístico

A las mediciones promedio de la longitud total de los estadios de nauplio, copepodito y adulto de cada incubación con diferente microalga, se les calculó la normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y con la prueba de homogeneidad de varianza de Levin. Si se cumplía la prueba de homogeneidad se compararon las medias utilizando un análisis de varianza de una vía, con la finalidad de comparar las posibles diferencias entre tratamientos se realizó una prueba a posteriori de Tukey HSD y una prueba de diferencia mínima detectable (MDS) ($\alpha = 0.05$) (Sokal y Rohlf, 1981), mediante el programa Statistica (Statsoft, Inc. 1984–2001).

6. RESULTADOS

6.1. Evaluación de microalgas

6.1.1. Densidad

La microalga *Isochrysis galbana* incrementó su densidad de forma constante y presentó un máximo en el día 4. La diatomea *Chaetoceros calcitrans* mostró un ligero aumento en su densidad celular hasta el día 3, a partir de este día y al final del cultivo no aumentó su población. La microalga *Dunaliella tertiolecta* incrementó paulatinamente su densidad hasta alcanzar su máximo al día 5 (Figura 6).

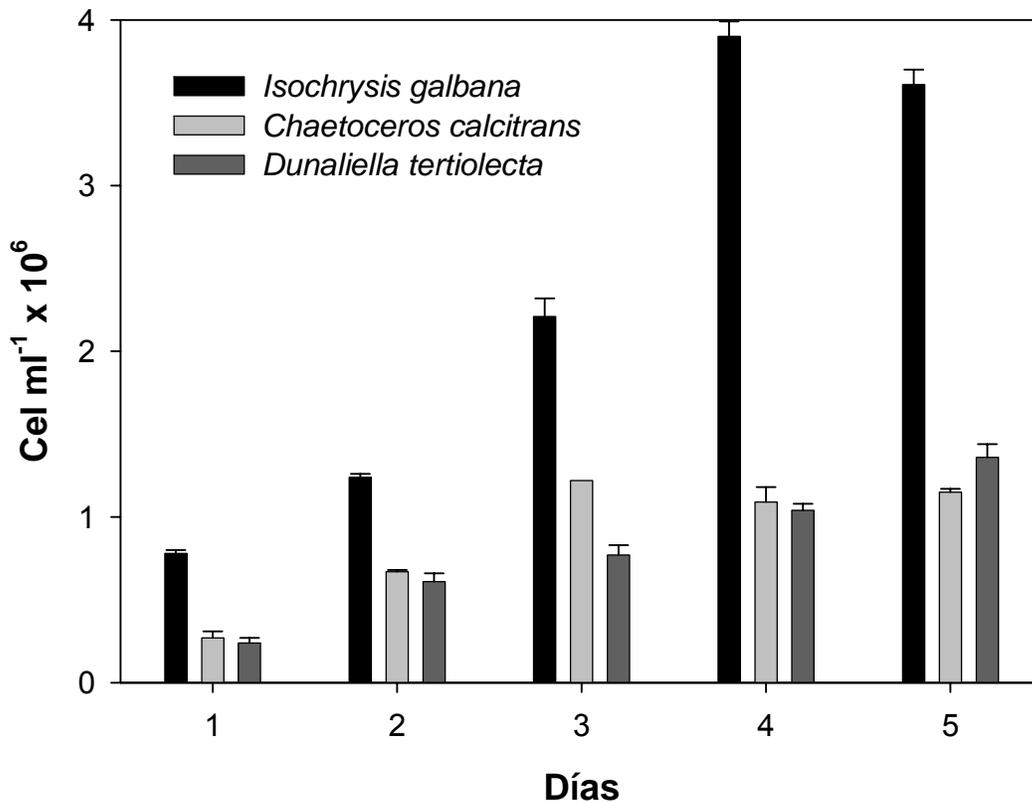


Figura 6. Densidad celular (cél/ml $\pm \sigma$, n=3) de *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).

6.1.2. Peso seco

Las microalgas cultivadas mostraron diferencias en su peso seco a partir del día 3 (Figura 7). *Isochrysis galbana* incremento su peso paulatinamente a lo largo del cultivo, a partir del día 3 disminuyó ligeramente su incremento alcanzando un peso máximo en el día 5. *Chaetoceros calcitrans* incrementó su peso seco marcadamente desde el día 3. Al final del cultivo alcanzo su peso seco máximo en el día 5. Por otra parte, la microalga *Dunaliella tertiolecta* mostró un ligero incremento al inicio del día 3. A partir del día 4 redujo su peso seco y presentó una concentración máxima en el día 5.

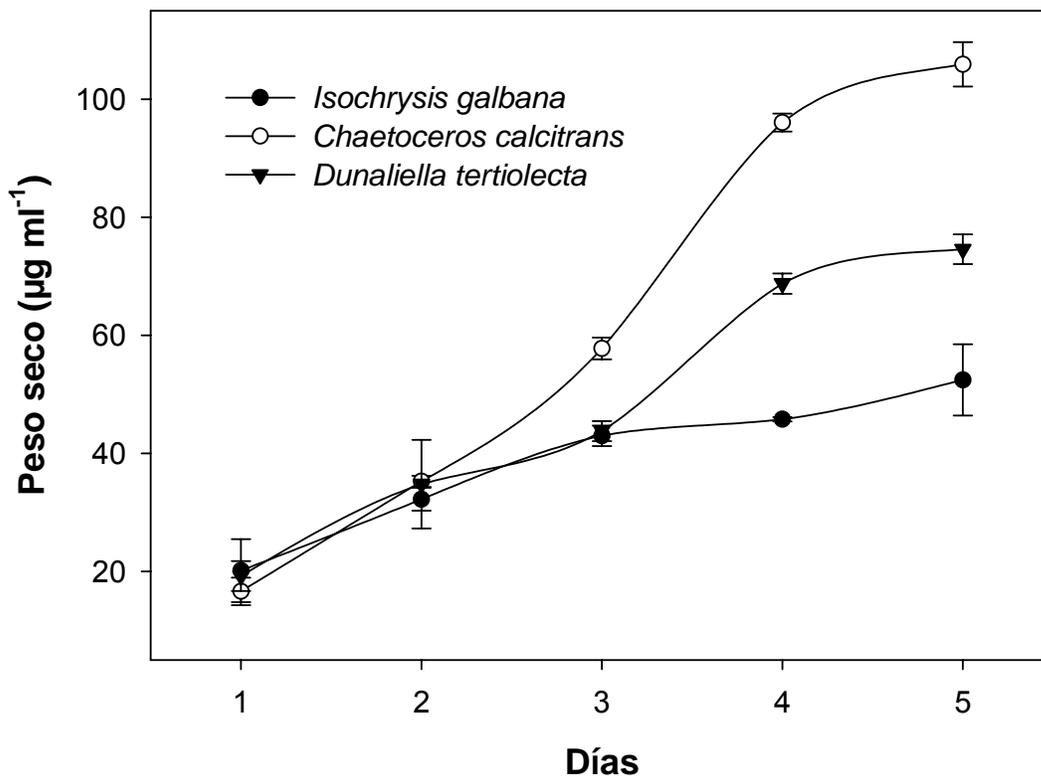


Figura 7. Peso seco ($\mu\text{g/ml} \pm \sigma$, $n=3$) de las microalgas *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).

6.1.3. Carbón orgánico

El contenido de carbón orgánico en cada una de las microalgas analizadas fue muy semejante en el transcurso del cultivo (Figura 8). *I. galbana* presentó el mayor contenido de carbón orgánico hasta el día 3. En la microalga *C. calcitrans* se observó un incremento progresivo en su contenido de carbón orgánico desde el día 2 hasta el día 4, esta microalga presentó el mayor valor al final del cultivo. La microalga *D. tertiolecta* demostró desde el inicio del cultivo un incremento constante en su concentración de carbón orgánico.

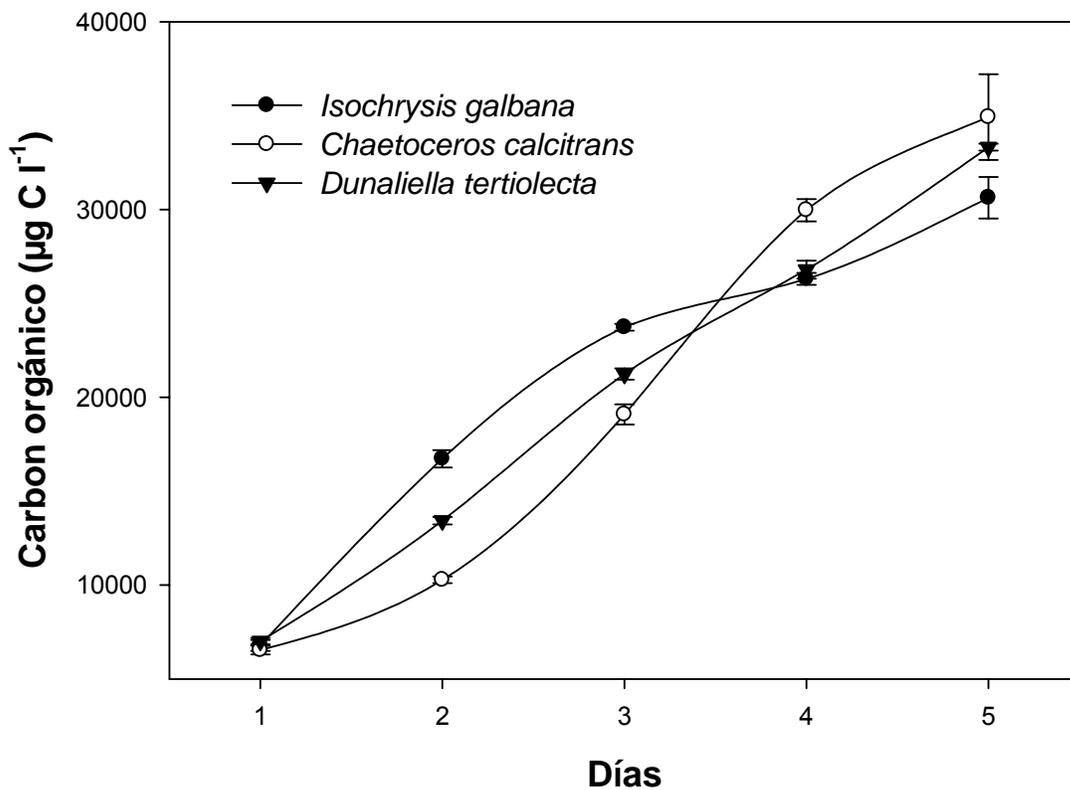


Figura 8. Contenido de carbón orgánico ($\mu\text{g/l} \pm \sigma$, $n=3$) de las microalgas *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).

6.1.4. Pigmentos

Se determinó que la concentración promedio de clorofila *a* (Chl *a*) para *I. galbana* (Figura 9 a) se incrementó paulatinamente con el tiempo, hasta alcanzar un máximo en el día 5, mientras que la clorofila *c* (Chl *c*) se presentó en bajas cantidades con un ligero incremento a partir del día 3. *Chaetoceros calcitrans* (Figura 9 b) presentó una concentración máxima de Chl *a* en el día 4, por otra parte la Chl *c* se mostró estable a partir del día 3. En *D. tertiolecta* (Figura 9 c) se observó que la concentración de Chl *a* fue la mayor de las 3 microalgas al final del cultivo, mientras que la clorofila *b* (Chl *b*) restringida a clorofíceas, aumentó ligeramente a lo largo del cultivo, la Chl *c* se presentó en bajas cantidades con un ligero incremento a partir del día 3.

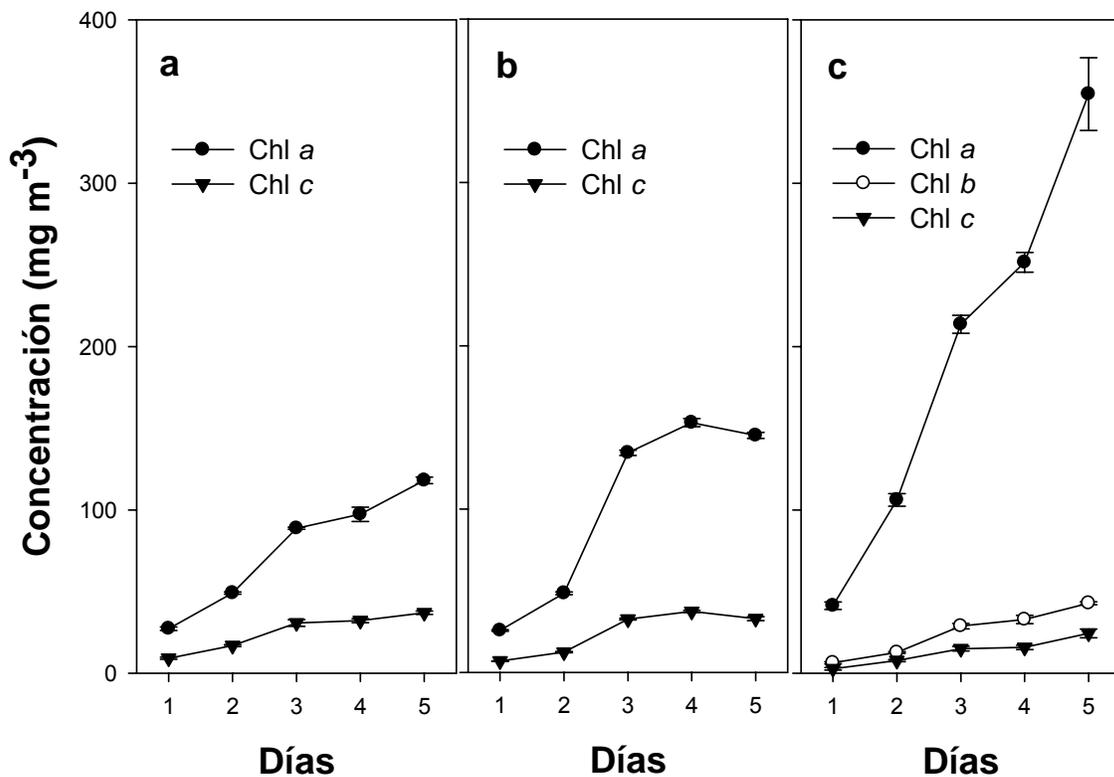


Figura 9. Concentración promedio de clorofilas (Chl *a*, *b* y *c*) ($\text{mg m}^{-3} \pm \sigma$, $n=3$) de las microalgas a) *Isochrysis galbana*, b) *Chaetoceros calcitrans* y c) *Dunaliella tertiolecta* cultivadas en medio f/2 a 23 °C, 36 ups y fotoperiodo (L,O 12:12).

6.2. Desarrollo de *Euterpina acutifrons*

El tiempo de desarrollo para cada estadio del copépodo *E. acutifrons* se determinó en cada una de las microalgas utilizadas, en el caso de los copépodos alimentados con la microalga *I. galbana*, se observó que los estadios naupliares 2 y 6 tuvieron mayores frecuencias porcentuales debido al poco traslapamiento por estar en los extremos de la distribución y por un tiempo de residencia relativamente largo. El estadio de nauplio 4 se estimó menor a 24 h por haberse presentado en bajos porcentajes. El 50 % de la población de *E. acutifrons* alcanzó el estadio de nauplio 6 en 5 días (Figura 10).

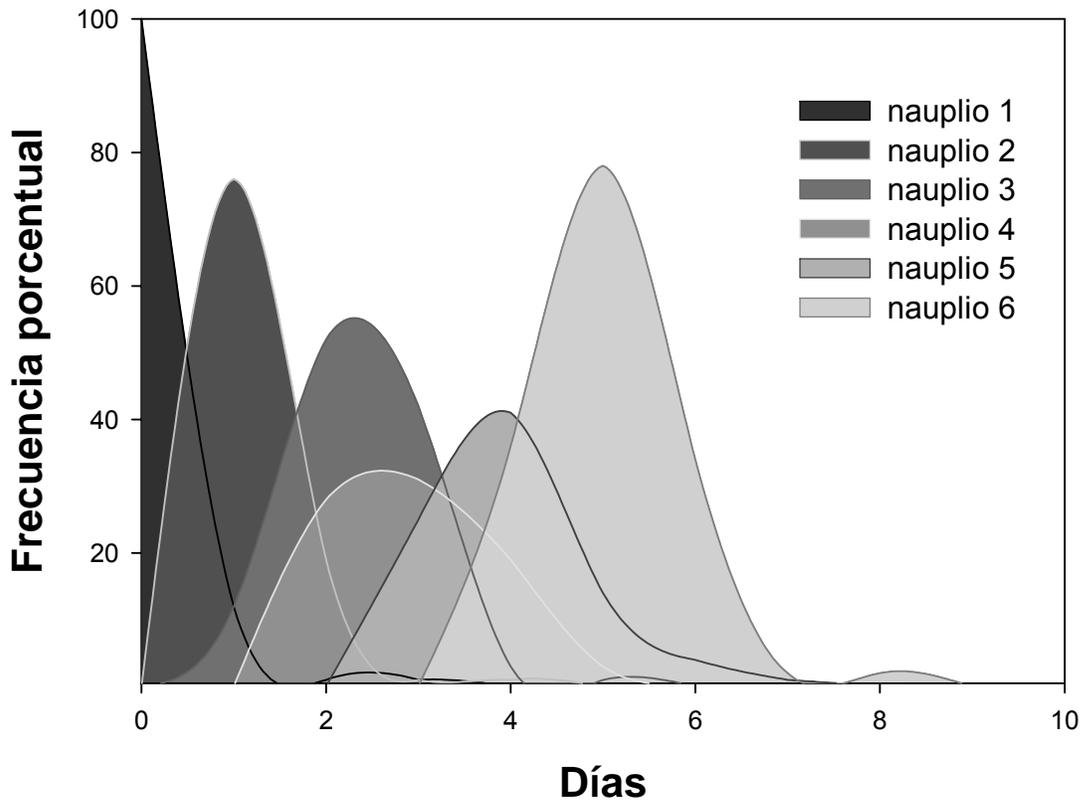


Figura 10. Desarrollo de nauplios de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Isochrysis galbana* a 21 \pm 1 $^{\circ}$ C y 37 \pm 1 ups.

Durante el desarrollo de *E. acutifrons* alimentados con la microalga *I. galbana*, el estadio de copepodito 2 se observó en bajos porcentajes sugiriendo un tiempo de residencia corto en este estadio. Los estadios de copepodito 3, 4 y 6 presentaron la mayor dominancia a lo largo del cultivo. El estadio de copepodito 6 fue el más extenso prolongándose 8 días y a partir del día 11 se presentó en cerca del 100 % de la población (Figura 11).

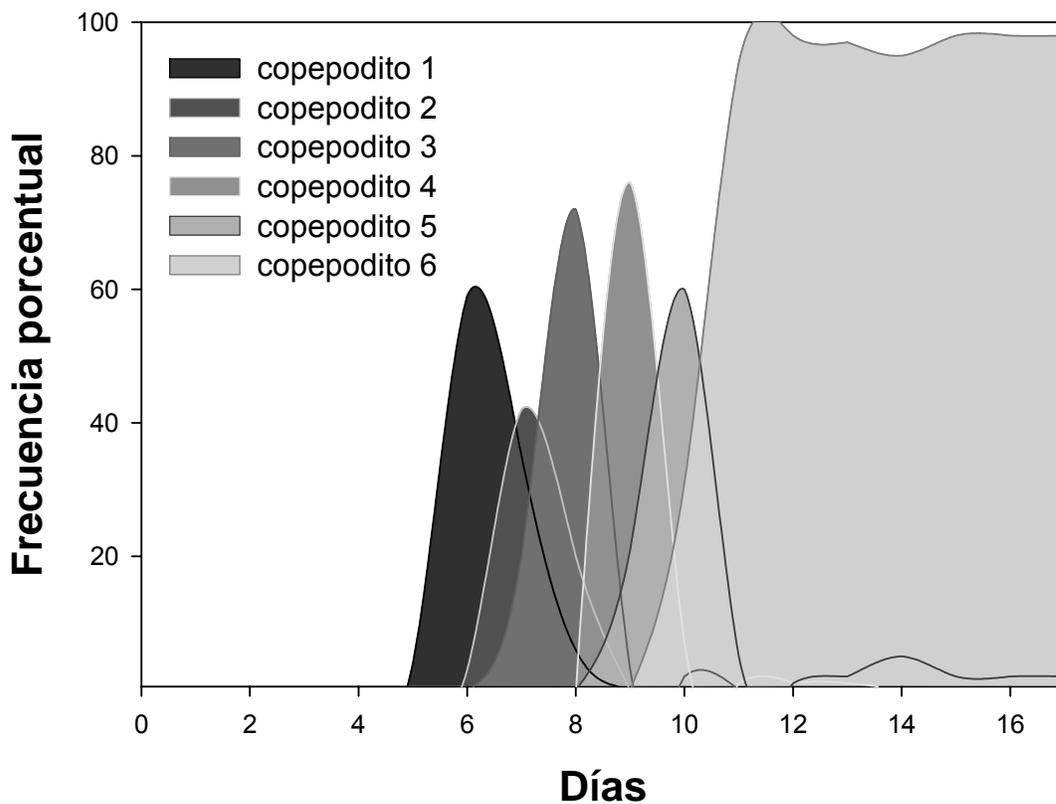


Figura 11. Desarrollo de copepoditos de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Isochrysis galbana* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

En el caso de los copépodos de *E. acutifrons* alimentados con la microalga *Chaetoceros calcitrans* (Figura 12), el estadio de nauplio 5 mostró la menor dominancia del desarrollo naupliar presentando una duración en su tiempo de desarrollo menor a 24 h, por lo que los días donde se encuentran este estadio presentan bajos porcentajes en la población, demostrando que la duración entre estadios son altamente dependientes del tipo de alimento. Un 69 % de la población alcanzó el estadio de nauplio 6 en el día 4.

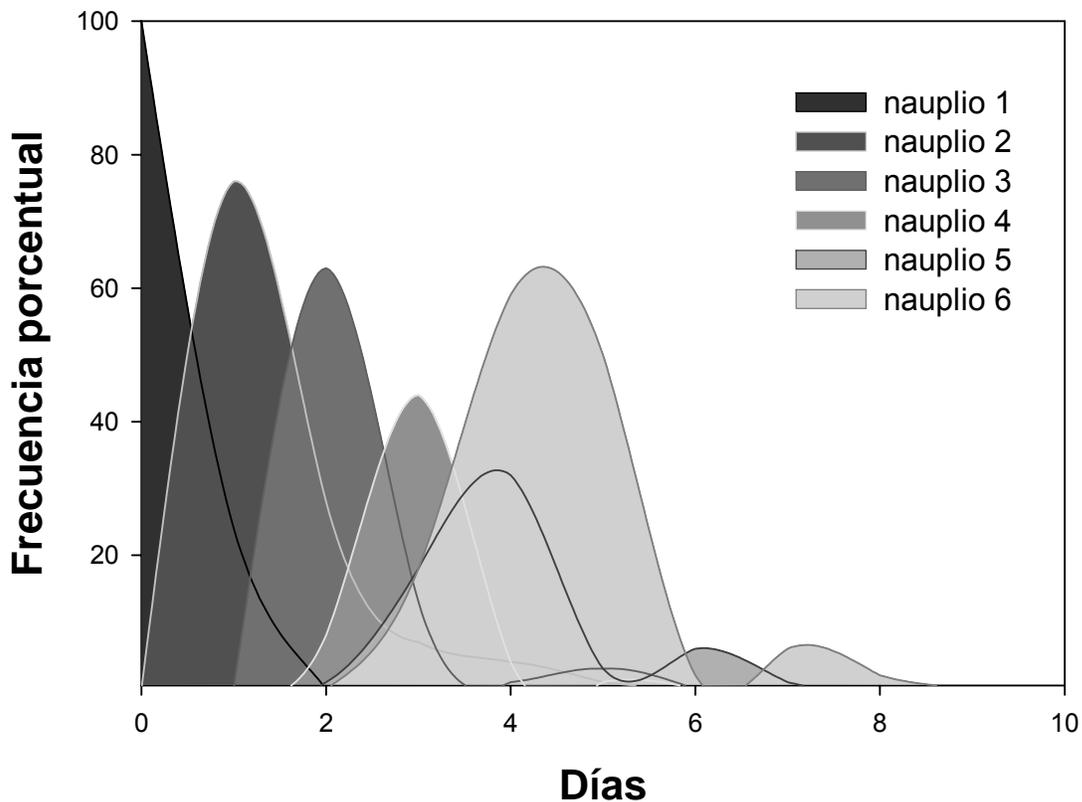


Figura 12. Desarrollo de nauplios de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Chaetoceros calcitrans* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

Durante el desarrollo de *E. acutifrons* alimentados con la microalga *C. calcitrans* el estadio de copepodito 5 mostró la menor dominancia del desarrollo de copepoditos, por lo cual se observó en bajos porcentajes. El estadio de copepodito 6 mostró ser el más extenso en permanencia con una duración de 10 días. En el día 11 se presentó el 99 % de la población como copepodito 6 (Figura 13). Con este alimento se observaron algunos individuos machos de tamaño similar al de las hembras los cuales se definen para esta especie como machos dimorficos (Stancyk y Moreira, 1988).

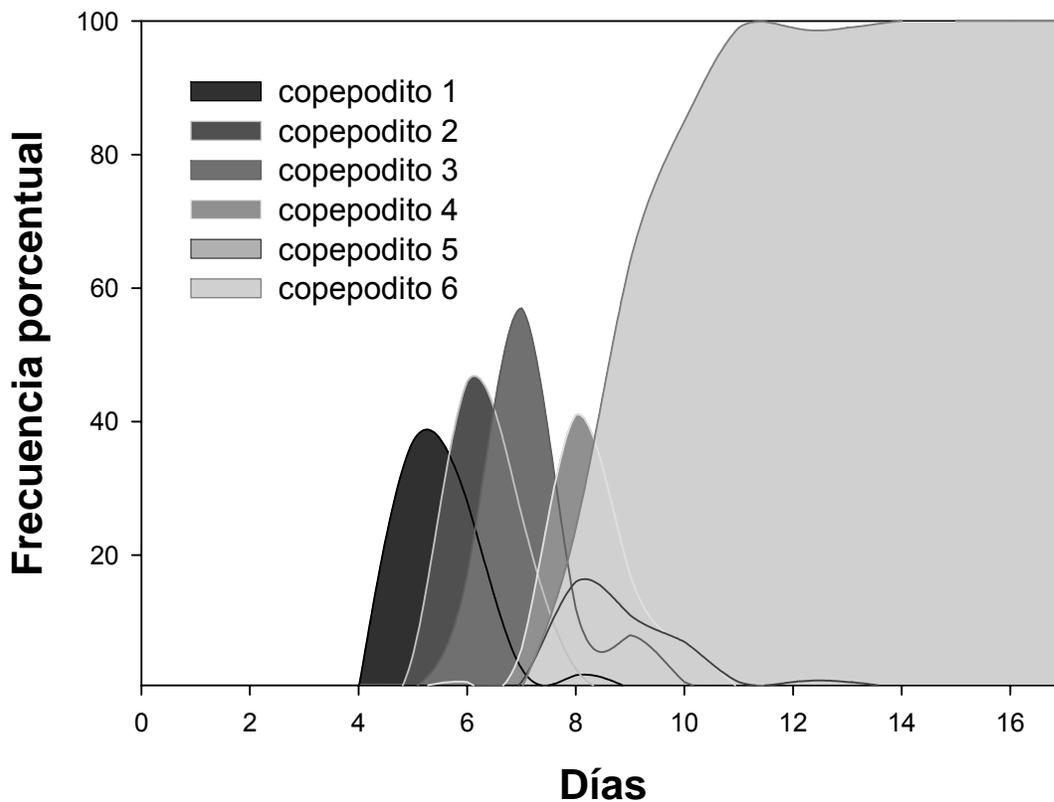


Figura 13. Desarrollo de copepoditos de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Chaetoceros calcitrans* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

En el caso de los copépodos de *E. acutifrons* alimentados con la microalga *Dunaliella tertiolecta* (Figura 14) los estadios de desarrollo naupliares se extendieron hasta el día 15. Los estadios de nauplio 3 y nauplio 4 mostraron mayor duración en su tiempo de desarrollo, debido a que se encontraron en una totalidad de 13 días cada uno. Solo los estadios de nauplio 1 - 4 presentaron frecuencias superiores al 50 % del total de la población durante el cultivo.

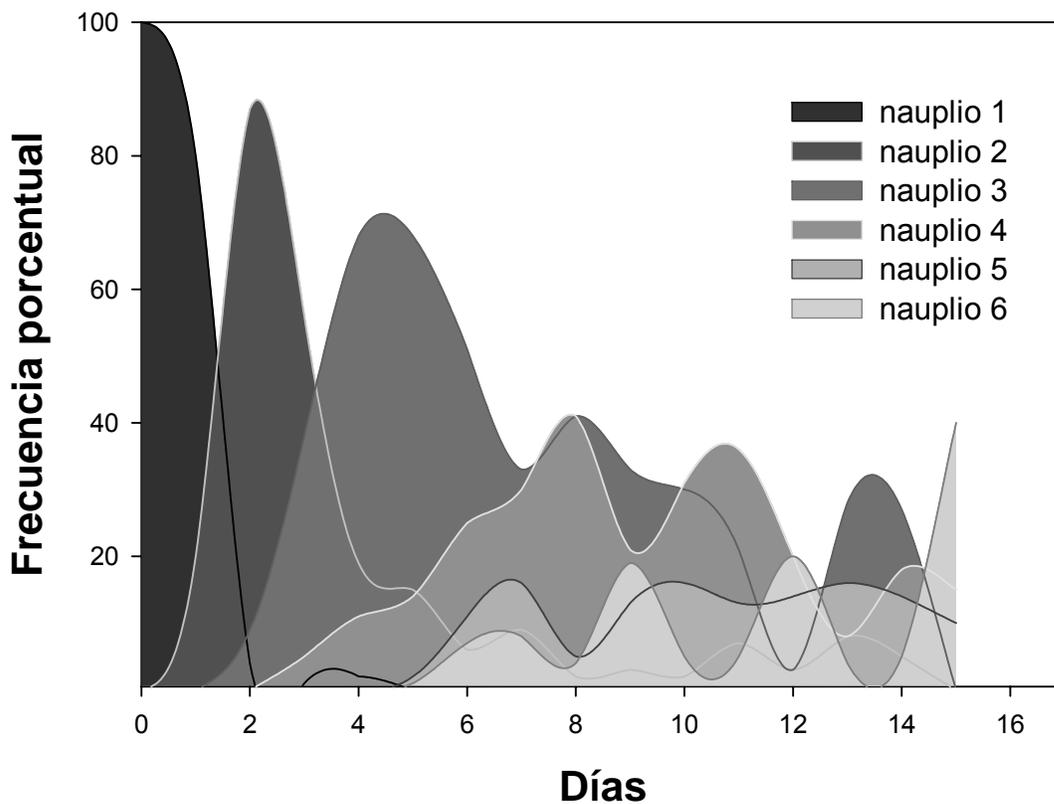


Figura 14. Desarrollo de nauplios de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Dunaliella tertiolecta* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

En el desarrollo de *E. acutifrons* los copepoditos alimentados con la microalga *D. tertiolecta* se presentaron con bajas frecuencias porcentuales a lo largo del cultivo, debido principalmente al traslape ocasionado con los estadios naupliar. Ningún individuo alcanzó el estadio de copepodito 4 al ser alimentados con esta microalga. Estos copépodos no alcanzaron la madurez sexual, por lo que no se presentó descendencia. y se registró la mortalidad total de los individuos en el día 16 (Figura 15).

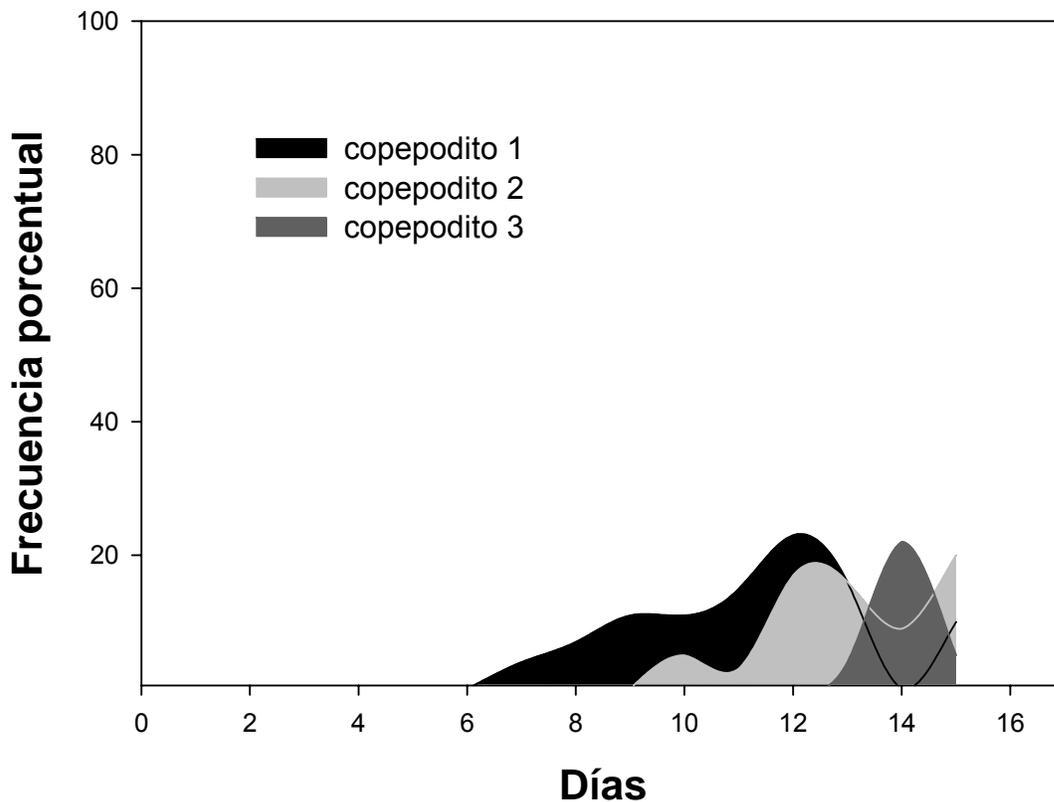


Figura 15. Desarrollo de copepoditos de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Dunaliella tertiolecta* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

6.3. Proporción de sexos de *Euterpina acutifrons*

Durante el desarrollo de *E. acutifrons* se observaron los primeros individuos diferenciados sexualmente (copepodito 6), a partir del día 10 en los alimentados con la microalga *I. galbana* y a partir del día 8 en el caso de los alimentados con la diatomea *C. calcitrans*.

La proporción de sexos de los copépodos de *E. acutifrons* alimentados con las microalgas *I. galbana* y *C. calcitrans* (Tabla 1) se observó baja en relación a que la cantidad de hembras por macho fue menor a 1. La relación promedio a lo largo del experimento para ambos alimentos fue de 0.4 hembras por macho y 0.6 hembras por macho respectivamente.

Se observó que ambos sexos se presentaron relativamente a la par para cada uno de los alimentos durante el cultivo.

Tabla 1. Proporción de sexos de individuos de *Euterpina acutifrons*, alimentados con *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

Día	<i>I. galbana</i>	<i>C. calcitrans</i>
	Hembras/Macho	Hembras/Macho
8	—	0.8
9	—	0.8
10	0.7	0.9
11	0.3	0.4
12	0.4	0.5
13	0.5	0.3
14	0.4	0.3
15	0.6	0.7
16	0.3	0.7
17	0.2	0.5

6.4. Tablas de vida para *Euterpina acutifrons*

En la tabla de vida horizontal por edad para los copépodos alimentados con *I. galbana* (Tabla 2) se estimaron tres intervalos de tiempo que corresponden a los estadios nauplios (n1-n6), copepoditos (c1-c5) y copépodos adultos (c6). La fase naupliar se observó del día 0 al 5 ($l_x = 0.86 \pm 0.08 \sigma$ y $e_x = 11.52 \text{ días} \pm 0.92 \sigma$), la fase de copepoditos se observó desde el día 6 hasta el día 10 ($l_x = 0.72 \pm 0.07 \sigma$ y $e_x = 7.81 \text{ días} \pm 0.87 \sigma$) y la fase adulta (c6) del día 11 hasta el día 17 ($l_x = 0.56 \pm 0.06 \sigma$ y $e_x = 3.14 \text{ días} \pm 1.83 \sigma$). La mayor tasa de mortalidad se observó entre los estadios de nauplio 1 a nauplio 2. La esperanza de vida disminuyó en mayor medida durante los estadios nauplios en el intervalo de los días 3 y 4. Esta misma tendencia se observó durante el estadio de los copépodos adultos (c6) en el intervalo de los días 11 y 12.

Tabla 2. Tabla de vida horizontal específica por edad de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Isochrysis galbana* a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 37 ± 1 ups.

Estadio	Días	Tasa de mortalidad Instantánea	Tasa de supervivencia Instantánea	Esperanza de vida Instantánea (Días)
		q_x	l_x	e_x
Nauplios	0	0.07	1.00	12.18
	1	0.09	0.93	12.07
	2	0.04	0.84	12.27
	3	0.00	0.81	11.78
	4	0.02	0.81	10.78
	5	0.00	0.79	10.01
Copepoditos	6	0.02	0.79	9.01
	7	0.07	0.77	8.20
	8	0.07	0.72	7.77
	9	0.05	0.67	7.34
	10	0.00	0.63	6.72
Copépodos adultos	11	0.00	0.63	5.72
	12	0.06	0.63	4.72
	13	0.06	0.60	3.97
	14	0.06	0.56	3.19
	15	0.07	0.53	2.37
	16	0.00	0.49	1.50
	17	1.00	0.49	0.50

En la tabla de vida horizontal por edad para los copépodos alimentados con *C. calcitrans* (Tabla 3) se observaron también tres intervalos de tiempo que corresponden a los estadios nauplios (n1-n6), copepoditos (c1-c5) y copépodos adultos (c6). La fase naupliar se observó desde el día 0 hasta el día 4 ($l_x = 0.68 \pm 0.23 \sigma$ y $e_x = 9.81 \text{ días} \pm 1.76 \sigma$), la fase de copepoditos desde el día 5 hasta el día 8 ($l_x = 0.48 \pm 0.01 \sigma$ y $e_x = 8.21 \text{ días} \pm 1.09 \sigma$) y la fase adulta (c6) se observó a partir del día 9 hasta el día 17 ($l_x = 0.34 \pm 0.08 \sigma$ y $e_x = 3.48 \text{ días} \pm 1.94 \sigma$). La fase naupliar mostró una tasa de mortalidad máxima al día 1 ($q_x = 0.38 \pm 0.06 \sigma$). La esperanza de vida disminuyó en mayor medida durante los estadios de copepoditos en el intervalo de los días 6 y 7. Este mismo comportamiento se observó en la fase de los copépodos adultos (c6) en el intervalo de los días 9 - 10 y 13 - 14.

Tabla 3. Tabla de vida horizontal específica por edad de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Chaetoceros calcitrans* a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y $37 \pm 1 \text{ ups}$.

Estadio	Días	Tasa de mortalidad Instantánea	Tasa de supervivencia Instantánea	Esperanza de vida Instantánea (Días)
		q_x	l_x	e_x
Nauplios	0	0.14	1.00	7.89
	1	0.38	0.86	8.10
	2	0.03	0.53	11.79
	3	0.00	0.52	11.14
	4	0.03	0.52	10.14
Copepoditos	5	0.03	0.50	9.44
	6	0.00	0.48	8.73
	7	0.03	0.48	7.73
	8	0.03	0.47	6.97
Copépodos adultos	9	0.00	0.45	6.19
	10	0.17	0.45	5.19
	11	0.04	0.38	5.17
	12	0.09	0.36	4.37
	13	0.00	0.33	3.74
	14	0.14	0.33	2.74
	15	0.11	0.28	2.11
	16	0.19	0.25	1.31
	17	1.00	0.20	0.50

Los copépodos alimentados con la microalga *D. tertiolecta* solo se lograron desarrollar hasta el estadio de copepodito 3, por lo que en la tabla de vida horizontal por edad (Tabla 4) para *E. acutifrons* con esta microalga solo se estimaron dos intervalos de tiempo que corresponden a los estadios nauplios (n1-n6) y copepoditos (c1-c3). La fase naupliar se observó desde el día 0 hasta el día 12 ($l_x = 0.53 \pm 0.29 \sigma$ y $e_x = 4.80 \text{ días} \pm 1.11 \sigma$) y la fase de copepoditos se observó desde el día 13 hasta el día 15 ($l_x = 0.14 \pm 0.02 \sigma$ y $e_x = 1.34 \text{ días} \pm 0.81 \sigma$). La fase naupliar mostró una tasa de mortalidad máxima en el día 10 ($q_x = 0.41 \pm 0.15 \sigma$) correspondiendo por frecuencia porcentual al estadio de nauplio 3.

La esperanza de vida de los copépodos alimentados con *D. tertiolecta* disminuyó en mayor medida durante los estadios naupliares, en el intervalo de los días 9 – 10 (n3), 11 – 12 (n4) y 12 – 13 (n6), en este último se presentó el cambio de nauplio 6 a copepodito 1.

Tabla 4. Tabla de vida horizontal específica por edad de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Dunaliella tertiolecta* a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 37 ± 1 ups.

Estadio	Días	Tasa de mortalidad Instantánea	Tasa de supervivencia Instantánea	Esperanza de vida Instantánea (Días)
		q_x	l_x	e_x
Nauplios	0	0.02	1.00	6.77
	1	0.09	0.98	5.93
	2	0.23	0.89	5.45
	3	0.13	0.68	5.95
	4	0.06	0.60	5.72
	5	0.07	0.56	5.07
	6	0.19	0.52	4.38
	7	0.20	0.43	4.27
	8	0.21	0.34	4.21
	9	0.00	0.27	4.23
	10	0.41	0.27	3.23
	11	0.00	0.16	4.12
	12	0.00	0.16	3.12
Copepoditos	13	0.15	0.16	2.12
	14	0.09	0.13	1.41
	15	1.00	0.12	0.50

Se calculó el índice reproductivo neto también conocido como tasa de reemplazamiento (Tabla 5) para los copépodos alimentados con las distintas microalgas. Los copépodos alimentados con la microalga *I. galbana* presentaron una R_o de 57.96 en el caso de los copépodos alimentados con la microalga *C. calcitrans* presentaron un R_o de 231.38

La tasa intrínseca de crecimiento poblacional de *E. acutifrons* con la microalga *I. galbana* se calculó con a una r_m de 0.25 d^{-1} y con la microalga *C. calcitrans* se obtuvo una r_m de 0.37 d^{-1} .

Con ambas dietas el tamaño de puesta (N_e) fue directamente proporcional al tamaño de la hembra.

Los copépodos alimentados con la microalga *D. tertiolecta* no alcanzaron el estadio de adulto (copepodito 6) por lo que no pudo ser calculada la tasa de reemplazamiento ni la tasa de crecimiento poblacional.

Tabla 5. Tasa de reemplazamiento (R_o), tiempo de generación (D), tamaño de puesta (N_e), abundancia promedio de hembras con saco de huevos (P) y tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m) de *Euterpina acutifrons* alimentados con *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 37 ± 1 ups.

	<i>I. galbana</i>	<i>C. calcitrans</i>
R_o	57.96	231.38
D	16	12
N_e	22	33
P	2.42	2.68
r_m	0.25 d^{-1}	0.37 d^{-1}

6.5. Crecimiento somático de *Euterpina acutifrons*

La longitud total de cada estadio naupliar del copépodo *E. acutifrons* se estimó para cada una de las especies de microalgas suministradas como alimento (Fig. 16). Se observaron diferencias significativas en el crecimiento somático de los nauplios en cada una de las microalgas ($p < 0.05$), excluyendo a los estadios nauplio 2 y 3 los cuales estadísticamente no mostraron diferencias significativas.

Los nauplios 1 de menor tamaño se presentaron en los individuos alimentados con *C. calcitrans* ($Lt = 84.10 \mu\text{m} \pm 5.77 \sigma$) y los de mayor tamaño con *D. tertiolecta* ($Lt = 87.53 \mu\text{m} \pm 5.06 \sigma$). A partir del nauplio 5, el mayor crecimiento significativo lo registran los individuos alimentados con *C. calcitrans* e *I. galbana*. Finalmente en el estadio de nauplio 6, existen diferencias significativas en el crecimiento de los individuos alimentados con las tres microalgas, observándose el mayor crecimiento para *C. calcitrans* y el menor para *D. tertiolecta*.

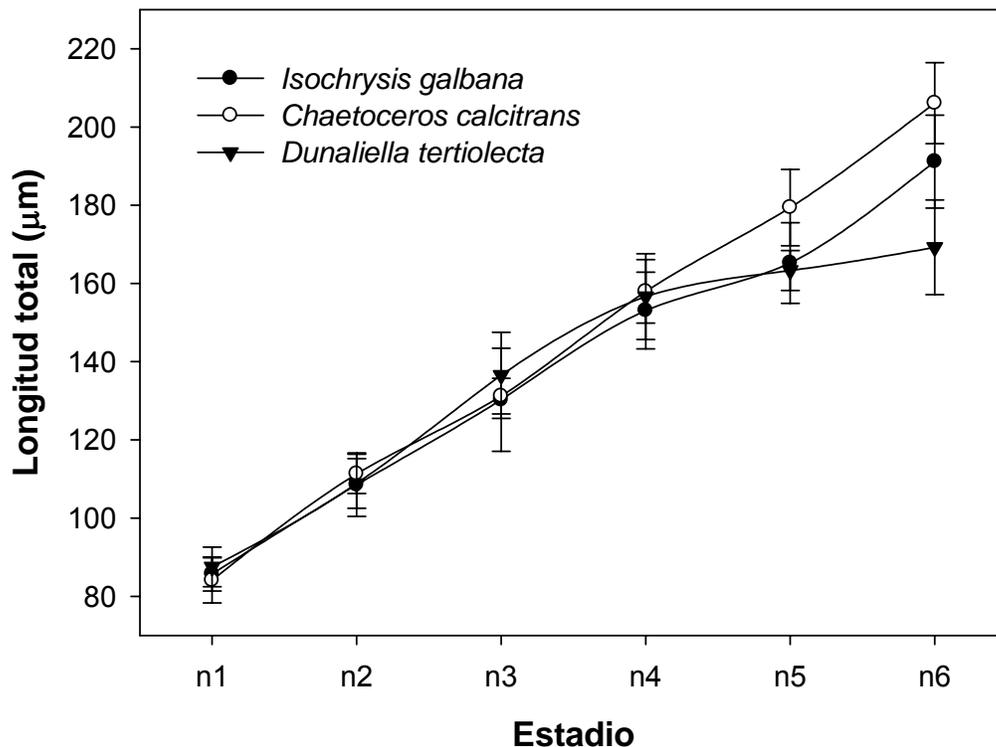


Figura 16. Longitud total ($\mu\text{m} \pm \sigma$) de los estadios naupliar de *Euterpina acutifrons*, alimentados con *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 37 ± 1 ups.

En el crecimiento somático de los copepoditos (c1-c5) de *E. acutifrons* para cada una de las microalgas suministradas como alimento se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para todos los estadios (Fig. 17).

El estadio de copepodito 1 de menor longitud total se presentó en los individuos alimentados con *D. tertiolecta* ($L_t = 395.22 \mu\text{m} \pm 18.82 \sigma$) que resulto en una elevada mortalidad en el estadio de copepodito 3. A partir del estadio de copepodito 1 los individuos alimentados con *I. galbana* registraron el mayor crecimiento significativo hasta alcanzar el estadio de copepodito 5 ($L_t = 701.95 \mu\text{m} \pm 87.15 \sigma$), observándose una marcada diferencia con respecto a los individuos alimentados con *C. calcitrans* para el mismo estadio ($L_t = 607.99 \mu\text{m} \pm 40.06 \sigma$).

Aunado a las mediciones de longitud total en copepoditos, se efectuaron las mediciones de longitud cefálica donde no se encontraron diferencias significativas.

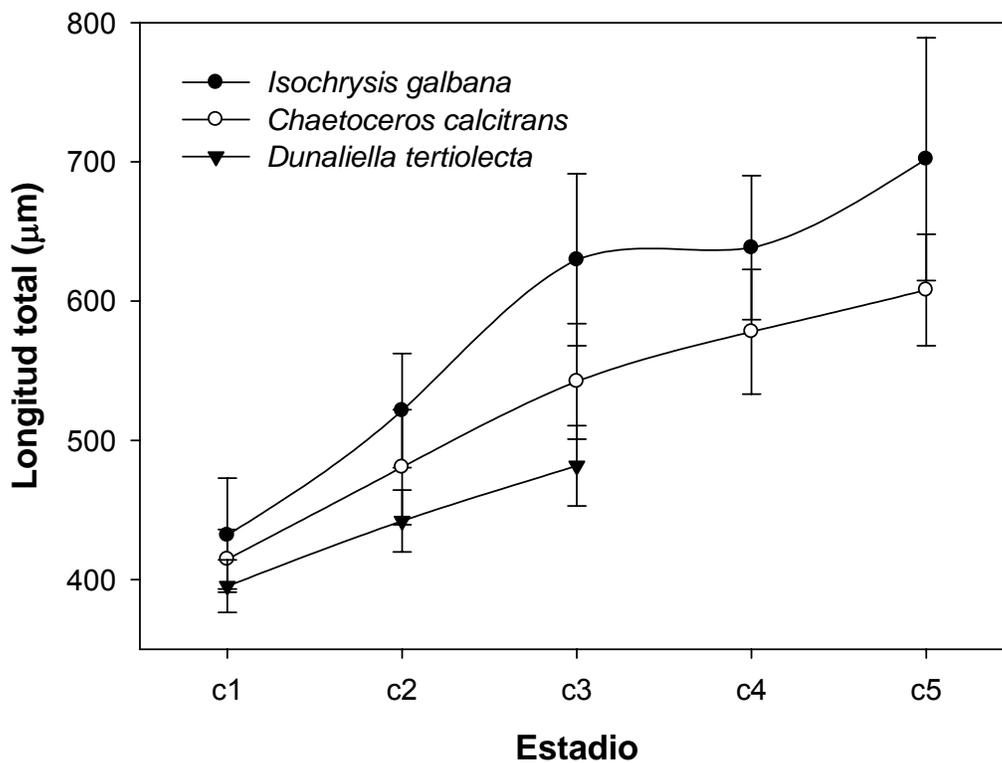


Figura 17. Longitud total ($\mu\text{m} \pm \sigma$) entre los estadios de copepodito de *Euterpina acutifrons*, alimentados con *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* a $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y 37 ± 1 ups.

En el estadio adulto o copepodito 6, se determinó la longitud cefálica y total del copépodo harpacticoide *E. acutifrons*, solamente para las microalgas *I. galbana* y *C. calcitrans* (Tabla 6).

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el crecimiento somático entre ambos alimentos. Las hembras alimentadas con la microalga *C. calcitrans*, presentaron mayor longitud cefálica y total en comparación a las alimentadas con la microalga *I. galbana*. En ambos alimentos las hembras mostraron mayor tamaño que los machos. En el caso de los machos, los individuos alimentados con la microalga *I. galbana*, presentaron mayor tamaño en ambas mediciones de longitud, en comparación con los individuos alimentados con la microalga *C. calcitrans*.

Tabla 6. Longitudes cefálica y total promedio ($\mu\text{m} \pm \sigma$) de individuos adultos (copepodito 6) del copépodo *Euterpina acutifrons* con *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* a 21 ± 1 °C y 37 ± 1 ups.

Estadio	Microalga	Longitud cefálica	Longitud total
C6 Hembras	<i>I. galbana</i>	$344.41 \pm 28.53 \sigma$	$837.82 \pm 94.02 \sigma$
C6 Hembras	<i>C. calcitrans</i>	$348.06 \pm 19.99 \sigma$	$856.17 \pm 57.79 \sigma$
C6 Machos	<i>I. galbana</i>	$243.80 \pm 19.59 \sigma$	$656.60 \pm 45.93 \sigma$
C6 Machos	<i>C. calcitrans</i>	$238.37 \pm 25.43 \sigma$	$633.66 \pm 67.52 \sigma$

7. DISCUSIÓN

7.1. Desarrollo de *Euterpina acutifrons*

En este estudio, se observó que las microalgas *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* suministradas como alimento tuvieron un efecto distinto sobre el tiempo de desarrollo del copépodo harpacticóide *Euterpina acutifrons*. El tipo de alimento disponible en cantidad y calidad puede ser factor determinante para un buen desarrollo de esta especie, como se ha observado en otros copépodos harpacticóides (Nilsson, 1987).

Los individuos alimentados con la microalga *C. calcitrans* presentaron en general más altas tasas en desarrollo de los tres alimentos, ya que el tiempo necesario para alcanzar el estadio de copepodito 6 fue de 9 días, seguido de la microalga *I. galbana*, que requirió de 11 días, mientras que todos los individuos alimentados con *D. tertiolecta* murieron en el estadio de copepodito 3.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los mostrados por Sciandra (1986) que obtuvo el estadio de copepodito 6 de *E. acutifrons* en diez días a una temperatura de 23 °C y proporcionó como alimento la diatomea *Phaeodactylum tricornutum*, lo cual podría indicar que las diatomeas promueven un desarrollo en menos tiempo en comparación con otras microalgas.

En este estudio, el copépodo *E. acutifrons* presentó estadios de mayor o menor tiempo de duración en función de la especie de microalga proporcionada a una temperatura constante (21 °C) y fotoperiodo de 12:12 h, lo que sugiere un desarrollo asincrónico. Esto ha sido previamente informado para esta misma especie por Neunes y Pongolini (1965), quienes suministraron una mezcla de microalgas como alimento y se presentaron tiempos de residencia variados entre estadios, desde 1 día para el nauplio 6 hasta 2.2 días para el estadio de copepodito 5. En otro estudio reciente, se utilizó un modelo de crecimiento para simular el desarrollo por estadios de una población de *E. acutifrons*, y también se concluyó que se presentan diferencias en los tiempos de residencia de cada estadio (Carlotti y Nival, 1992).

Lo anterior concuerda con lo observado por Sciandra (1986) y Landry (1983), que mencionaron que este comportamiento es común en copépodos, señalando que los estadios de las primeras fases naupliares que dependen del vitelo son relativamente cortos, asumiendo una clara interpretación energética, mientras que al comienzo de la alimentación exógena, los tiempos de desarrollo de los estadios naupliares son comparativamente más largos.

A pesar de que en los estadios de copepodito 4 y 5 de *E. acutifrons* se ha observado una permanencia más prolongada en relación a los estadios de desarrollo restantes a lo largo de su ciclo de vida (Hartnoll, 1982), en este estudio se encontraron diferencias en tiempo para los individuos alimentados con *I. galbana* y *C. calcitrans*.

En los individuos de *E. acutifrons* alimentados con *I. galbana* el estadio de copepodito 5 se presentó en 8 días, en contraste con *C. calcitrans* que se observó en 6 días, esta diferencia relativa de tiempo pudo ser originada por cambios fisiológicos relacionados a la preparación de la madurez, ya que los copépodos tienden a almacenar grandes cantidades de lípidos durante el estadio de copepodito 5 (Landry, 1983). Esto puede indicar que la microalga *I. galbana*, no contó con el tipo y cantidad suficiente de lípidos u otro tipo de nutrimento (proteínas, carbohidratos) requeridos por *E. acutifrons*, por lo que tiende a prolongar la permanencia de este estadio. Esto coincide con lo observado por Neunes y Pongolini (1965) para esta misma especie y con lo descrito para los calanoides *Centropages hamatus* y *C. typicus* (Fryd et al., 1991).

La permanencia prolongada del estadio de copepodito 5 ha sido observada en otros harpacticoides como *Amonardia normani* y *Mesochra lilljeborgi* al ser alimentados con la microalga *Nitzschia frustulum*, en comparación con la microalga *Navicula* sp. que homogeniza la duración de los estadios de copepodito (Nilsson, 1987).

El lento desarrollo y la variabilidad en los tiempos de permanencia de los estadios del copépodo *E. acutifrons* con la microalga *D. tertiolecta* fue notable. Esto puede ser explicado quizás por las deficiencias nutricionales de la microalga, que no cubrió las demandas en cantidades suficientes, en relación a aminoácidos

específicos y lípidos que no satisfacen por completo ciertas microalgas (Raymont, 1983), aunque este punto debe ser profundizado con la finalidad de determinar la principal razón por la cual esta microalga produjo un desarrollo tan variable en individuos de una misma cohorte.

Euterpina acutifrons posiblemente consumió la microalga *D. tertiolecta*, sin satisfacer por completo su requerimiento energético diario, lo que provocó la mortalidad total. Esto concuerda con Sciandra (1986) que mencionó que *E. acutifrons* cuando tiene un suplemento limitado de alimento reduce su tasa de desarrollo promedio afectando el tiempo de residencia promedio y su variabilidad.

Al igual que *E. acutifrons*, otros copépodos como el calanoide *Centropages typicus* al suministrarle diversas especies de microalgas en su cultivo, mostraron cierta preferencia por células más pequeñas durante los estadios naupliares cuando se les alimentó con la microalga *Isochrysis galbana* (5 μm) y por células de mayor tamaño como *Thalassiosira weissflogii* (12 μm) durante los estadios de copepodito a adulto (Bonnet y Carlotti, 2001).

El tiempo de desarrollo para machos y hembras de *E. acutifrons* fue menor con la microalga *C. calcitrans*, seguida de *I. galbana*. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de aparición entre machos y hembras, en contraste, se han reportado diferencias marcadas en tiempos de desarrollo entre sexos para esta misma especie, detectando a partir de la eclosión machos adultos desde el día 16 y hembras adultas en el día 21 con una alimentación a base de la diatomea *Phaeodactylum tricornutum* (Bernard, 1963).

La proporción de sexos promedio de *E. acutifrons* a lo largo del cultivo estuvo influenciada por el alimento suministrado, ya que con *C. calcitrans* se presentó una mayor proporción de hembras por machos que con *I. galbana* a razón de 0.6 y 0.4 respectivamente, sin embargo estas diferencias son parte de la variabilidad de las poblaciones (Ara, 2001). Estos valores obtenidos son relativamente similares a los reportados en poblaciones naturales de *E. acutifrons*, como en el Golfo de San Matías (Argentina) y el Golfo de Marsella (Francia) donde la proporción de sexos es 1:1 a lo largo del año (Viñas, 1991).

Uno de los principales problemas encontrados en este trabajo, fue el seguimiento a lo largo del cultivo de la proporción de sexos, la cual fue altamente variable de una réplica a otra a partir de que se presentó la madurez sexual, por lo que deberá ser investigada quizás con una mayor cantidad de individuos.

En condiciones naturales la presencia de machos dimorficos del copépodo *E. acutifrons* puede estar determinada genéticamente o afectada por el contenido nutricional del alimento (Ginsburger-Vogel y Charniaux-Cotton, 1982; Viñas, 1991; Ara, 2001).

Los machos dimorficos representan estrategias alternativas para maximizar el número de puestas y por ende incrementan la fecundidad en hembras del copépodo *E. acutifrons* en periodos donde las condiciones son favorables (Stancyk y Moreira, 1988).

Esto puede indicar una respuesta fisiológica en relación al éxito reproductivo, donde la alimentación ingerida aporta los nutrientes necesarios para el incremento poblacional, lo cual puede explicar la presencia de grandes machos con la microalga *C. calcitrans* en este estudio.

El tiempo de eclosión del copépodo *E. acutifrons*, a temperatura constante (21 °C). Para la microalga *C. calcitrans* se observó que fue menor a 24 h y para *I. galbana* mayor a 24 h, similar a los valores reportados por Hopcroft y Roff (1996) que observaron la duración del tiempo de eclosión en huevos de *E. acutifrons* en aguas tropicales de Jamaica a 28 °C, en un intervalo de 21.3 a 20.4 h.

Aunque el intervalo de tiempo tomado en este trabajo para la obtención de muestras se efectuó cada 24 h, con la microalga *I. galbana* se apreció que el tiempo de eclosión es superior a 24 h, sugiriendo que dependiendo de la especie de microalga suministrada se puede afectar el tiempo de eclosión de *E. acutifrons*. Variaciones similares en el tiempo de eclosión fueron observadas en el copépodo harpacticoide *Tisbe carolinensis*, que presentó amplios intervalos al suministrar distintos alimentos durante su cultivo a temperatura constante, desde 68 h con la diatomea *Cylindrotheca* sp., hasta 96 h con el alga verde-azul *Anabaena* sp. (Lee *et al.*, 1985).

7.2. Tabla de vida para *Euterpina acutifrons*

La mejor tasa de supervivencia (I_x) se observó en los individuos de *E. acutifrons* alimentados con la microalga *I. galbana*, en comparación con los individuos alimentados con las microalgas *C. calcitrans* y *D. tertiolecta*. Esta preferencia alimenticia fue también presentada para el copépodo calanoide *Gladioferens imparipes*, ya que tuvo una supervivencia del 90 % al suministrar como alimento la microalga *I. galbana*, en comparación con *C. calcitrans* y *D. tertiolecta* (Payne y Ripplingale, 2000).

Durante los primeros días de cultivo del copépodo *E. acutifrons* se registró una alta mortalidad en nauplios en estadio 2 al ser alimentados con *C. calcitrans* ($q_x = 0.38$), seguido en menor grado por *D. tertiolecta* ($q_x = 0.23$). En varias especies de copépodos se ha observado que en el n2 se inicia la alimentación exógena (Landry, 1983), aunque esto no ha sido definido directamente para *E. acutifrons*.

La principal causa de la típica elevada mortalidad en los primeros estadíos naupliares, puede ser atribuida a la cantidad y calidad de la primera ingesta de microalgas. Esto es debido a que la eficiencia de captura está determinada principalmente por la talla de la partícula, la capacidad relativa de retención, la concentración y la calidad del alimento suministrado son considerados como algunos de los factores bióticos más importantes que afectan la mortalidad larval de los copépodos herbívoros (Guisande *et al.*, 1999).

El ciclo reproductivo de las diatomeas presenta múltiples divisiones secuenciales con grandes variaciones en tamaños entre células (Lee, 1980; Moreno *et al.*, 1996), lo cual pudo afectar el desarrollo y supervivencia de los nauplios de *E. acutifrons*. A pesar de que se suministró la microalga *C. calcitrans* con una concentración elevada en relación a la densidad de copépodos, posiblemente no contó con la suficiente cantidad de partículas de adecuado tamaño para su ingesta y su correspondiente supervivencia como lo encontrado por Sautour y Castel (1993a).

La mortalidad presentada con *D. tertiolecta* pudo ser debido a la dificultad para digerir esta microalga como alimento por la presencia de una gruesa pared celular que puede ser significativa como lo observado en *Pseudodiaptomus elongatus* (Urry, 1965). El tamaño de esta microalga (12 μm) (Brown *et al.*, 1997) puede ser demasiado grande para los primeros estadios naupliar de *E. acutifrons*. Esto coincide con lo informado por Davis y Alatalo (1992) y Sautour y Castel (1993a).

La mayor mortalidad observada en la fase de los copepoditos (c1-c5) se presentó en los individuos alimentados con la microalga *I. galbana*, en comparación con los alimentados con la diatomea *C. calcitrans*. Esto puede ser debido a que *I. galbana* (5 μm) (Brown *et al.*, 1997) es un alimento favorable para nauplios, sin embargo puede no ser propicio para los últimos estadios de copepodito y adulto.

Por otra parte, estas fluctuaciones en la mortalidad naupliar y de copepoditos en las tablas de vida, posiblemente también estén relacionadas con el contenido nutricional de las microalgas suministradas, en particular al de los ácidos grasos esenciales (Sargent *et al.*, 2002). Los requerimientos específicos de estos lípidos en copépodos varían de nauplios a copepoditos y adultos (c6) y se ha observado que son indispensables para incrementar la supervivencia y las tasas de crecimiento (Koski y Klein Breteler, 2003; Klein Breteler *et al.*, 2004).

La esperanza de vida (e_x) con la microalga *D. tertiolecta* fue muy baja en comparación a *I. galbana* y *C. calcitrans*. En la fase naupliar de los individuos alimentados con *I. galbana* se observó que la esperanza de vida es mayor en relación a la microalga *C. calcitrans*, sin embargo la esperanza de vida en la fase de los copépodos adultos (c6) se observó relativamente más alta para los individuos alimentados con la microalga *C. calcitrans* en comparación con *I. galbana*. En la fase de los copepoditos no se apreciaron diferencias significativas entre estos dos tipos de alimentos. Por ello sería recomendable usar *I. galbana* y *C. calcitrans* secuencialmente o en mezclas apropiadas para el cultivo de *E. acutifrons*.

Lo anterior confirma que la tasa de ingestión diferencial en relación con el tamaño de la partícula entre nauplios, copepoditos y adultos (Sautour y Castel, 1993a, b), es provocada por diferencias en la naturaleza del alimento (Weiss *et al.*, 1996; Pinto *et al.*, 2001) y por variaciones del metabolismo por estadio de los individuos (Trujillo-Ortíz y Arroyo-Ortega, 1991). Sin embargo esta relación necesita ser investigada con mayor detalle, ya que no se cuenta actualmente con estudios sobre tasa de ingesta en *E. acutifrons*.

A lo largo de los cultivos del copépodo *E. acutifrons*, la proporción de sexos se mantuvo baja para ambos alimentos, con valores promedio de 0.4 hembras/macho para la microalga *I. galbana* y 0.6 hembras/macho para *C. calcitrans*, aunque estas proporciones de sexos son producto de la variabilidad de la muestra, cabe mencionar que una mayor mortalidad de hembras, puede ser debida a la diferencia de tamaños de los apéndices masticatorios, de aquí que los pequeños machos adultos pueden beneficiarse de pequeñas partículas alimenticias, por que sus pequeños apéndices mandibulares, les permiten utilizar más eficientemente el alimento que las grandes hembras. Esto conlleva por ende a preferencias alimenticias entre sexos como lo observado por Lee *et al.* (1985) con el copépodo harpacticoide *Tisbe carolinensis*. Otros estudios en varias especies de copépodos calanoides han reportado que las características y las condiciones del tipo de alimento suministrado afectan la longevidad de las hembras (Ianora *et al.*, 1995, 1996; Ianora, 1998).

El número promedio de hembras con sacos ovígeros de *E. acutifrons* a lo largo del cultivo, tuvo un ligero incremento en las hembras alimentadas con la diatomea *C. calcitrans* que con *I. galbana*. Esta misma preferencia de las diatomeas, fue observada para hembras de *Tisbe carolinensis* al incrementar el número promedio de sacos ovígeros a 0.3 d^{-1} , bajo un régimen de alimentación a base de la diatomea *Cylindrotheca* sp. en comparación con las hembras alimentadas con la clorofícea *Chlorella autotrophica*, con solo 0.2 sacos ovígeros d^{-1} en promedio (Lee *et al.*, 1985).

La microalga *D. tertiolecta* ya ha sido reportada como un alimento poco favorable para la producción de huevos de copépodo en *Acartia tonsa*, debido a que inhibe su producción de huevos después de 4 días de ser alimentado exclusivamente con esta microalga, posiblemente asociado a su reducido contenido de ácidos grasos esenciales (Støttrup y Jensen, 1990).

Diversos autores han determinado que existen diferencias significativas en la tasa de reemplazamiento (R_0) en copépodos harpacticoides dependiendo de la dieta suministrada (Tabla 7), en este estudio fue muy similar, ya que se obtuvo la mejor tasa con *C. calcitrans*, lo cual indica que esta especie de diatomea favorece el incremento poblacional de *E. acutifrons*.

Tabla 7. Tasas de reemplazamiento (R_0) en copépodos harpacticoides publicadas por diversos autores y en *Euterpina acutifrons* en este estudio.

Copépodo	Microalga	R_0	Autor
<i>Euterpina acutifrons</i>	<i>Chaetoceros calcitrans</i>	231.4	Este estudio
	<i>Isochrysis galbana</i>	58	
<i>Amonardia normani</i>	<i>Navicula</i> sp.	152.7	Nilsson, 1987; Souza-Santos et al., 1999
	<i>Nitzschia frustulum</i>	94.3	
	<i>N. constricta</i> (no axénica)	165.8	
	<i>N. constricta</i> (axénica)	222.5	
<i>Mesochra lilljeborgi</i>	<i>Navicula</i> sp.	46.2	Nilsson, 1987
	<i>N. frustulum</i>	15.7	
<i>Tisbe biminiensis</i>	<i>N. closterium</i>	95.7	Pinto et al., 2001
	<i>Tetraselmis gracililis</i>	113.4	
	<i>N. closterium</i> / <i>T. gracililis</i>	78.3	
<i>Tisbe furcata</i>	<i>Dunalilella</i> sp.	94	Hagiwara et al., 1995
<i>Tigriopus japonicus</i>	<i>Tetraselmis tetrathele</i>	286.	Hagiwara et al., 1995

7.3. Crecimiento somático de *Euterpina acutifrons*

El crecimiento somático de los nauplios de *E. acutifrons* fue estadísticamente similar con las tres especies de microalgas, sin embargo los individuos alimentados con la microalga *C. calcitrans* crecieron de manera más uniforme y eficiente en comparación con las otras dos microalgas.

Los individuos alimentados con la microalga *D. tertiolecta* presentaron a partir del estadio de nauplio 5 la talla más corta en comparación con el resto de los alimentos, lo que puede indicar un efecto nutricional desfavorable (Abu-Rezq *et al.*, 1997; Sipaúba-Tavares *et al.*, 2001) y una menor tasa de ingestión en relación a la eficiencia de captura del tamaño de partícula (Sautor y Castel, 1993a, b; Guisande *et al.* 1999).

Las mediciones de longitud total registradas para los estadios naupliares de *E. acutifrons* con las tres microalgas suministradas fueron similares a los reportados por El-Maghraby (1964) y Fanta (1973) (Tabla 8).

Las tallas mayores en los estadios naupliares se presentaron con *C. calcitrans*, en contraste con lo observado en los estadios de copepodito 1 al 5 que presentaron la mayor longitud cefálica y total con la microalga *I. galbana*, esta variación puede deberse a un cambio preferencial alimenticio al pasar de nauplios a copepoditos, originado quizás por una necesidad fisiológica por la preparación a la madurez (Landry, 1983; Berggreen *et al.*, 1988; Trujillo-Ortíz y Arroyo-Ortega, 1991).

Algunos autores (Mayr, 1979; Abele, 1982; Moreira y McNamara, 1984; Viñas, 1991) mencionan que las tallas de copepoditos y adultos al igual que la proporción de sexos pueden estar influenciadas por variaciones geográficas de poblaciones diferentes, particularmente por la latitud, donde probablemente los individuos de una población pueden registrar distinta talla, como modificación de las condiciones donde habitan. Las mediciones reportadas por El-Maghraby (1964) se realizaron en campo en el mar de Alejandría y los de Fanta (1973) se realizaron en laboratorio suministrando fitoplancton filtrado del medio, en ambos, el tipo de alimento consumido por los copépodos contó con una amplia diversidad

de microalgas con diversos tamaños y contenidos nutricionales, lo que probablemente determinó las diferencias con respecto a este estudio.

Tabla 8. Longitud total (μm) de cada estadio de desarrollo de individuos del copépodo harpacticoide *Euterpina acutifrons*, publicados por El-Maghraby (1964), Fanta (1973) y para los individuos alimentados con *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans* y *Dunaliella tertiolecta* reportados en este estudio.

Estadio	El-Maghraby	Fanta	Este estudio		
	(1964)	(1973)	<i>I. galbana</i>	<i>C. calcitrans</i>	<i>D. tertiolecta</i>
	Longitud total	Longitud total	Longitud total	Longitud total	Longitud total
n1	84 – 112	65 – 107	78.9 – 100.5	69.9 – 115.1	70.3 – 111.8
n2	112 – 128	114 – 128	94.5 – 130.2	94.5 – 135.1	93.0 – 165.7
n3	120 – 140	135 – 149	95.6 – 158.5	121.7 – 164.5	107.0 – 160.9
n4	140 – 182	157 – 165	116.9 – 169.7	134.1 – 170.3	119.8 – 179.3
n5	182 – 224	171 – 185	142.5 – 201.5	147.1 – 202.8	143.5 – 185.2
n6	210 – 250	192 – 214	160.0 – 228.7	149.6 – 226.7	152.6 – 188.2
c1	290 – 340	–	340.4 – 517.8	366.6 – 458.3	307.6 – 422.5
c2	350 – 390	–	386.8 – 602.2	366.9 – 535.5	373.3 – 506.9
c3	360 – 490	–	441.1 – 759.4	399.8 – 612.2	442.0 – 572.1
c4	440 – 490	–	463.9 – 735.7	483.7 – 705.7	–
c5	460 – 530	–	522.7 – 854.1	477.3 – 820.1	–

Las hembras del copépodo *E. acutifrons* alimentadas con *C. calcitrans* alcanzaron mayor longitud que con *I. galbana* y los machos alimentados con la microalga *I. galbana* mostraron una mayor talla que los alimentados con *C. calcitrans*. Esta observación puede tener una repercusión de carácter reproductivo (Kjørboe y Sabatini, 1995; Guisande *et al.*, 1996), ya que para ambas microalgas, las hembras de *E. acutifrons* de mayor tamaño tuvieron la mayor producción de huevos. Esta respuesta mostró una gran similitud con otras especies de copépodos calanoides, ciclopoides y harpacticoides tropicales donde se observó que la producción de huevos se incrementó significativamente con el tamaño de la hembra (Hopcroft y Roff, 1998), sin embargo es necesario investigar con mayor detalle esta relación en *E. acutifrons*.

En el copépodo calanoide de aguas continentales *Diaptomus shoshone* se determinó que la cópula se incrementaba en proporción directa al tamaño de las hembras y que la cantidad de sacos espermáticos adheridos durante la copula era superior en hembras de mayor tamaño (Maly, 1973, 1978). En el presente estudio se observó algo muy similar, ya que el éxito reproductivo en *E. acutifrons* favoreció a las hembras de mayor talla alimentadas con la diatomea *C. calcitrans*.

El dimorfismo sexual en talla presentado con *E. acutifrons* ha sido observado para muchos copépodos harpacticoides, donde las hembras adultas tienden a ser más grandes que los machos (Pinto *et al.*, 2001), inclusive en los machos del copépodo harpacticoides *Tisbe carolinensis*, estos llegan a promediar cerca del 50 al 60 % de la longitud de las hembras (Lee *et al.*, 1985).

El significado ecológico del dimorfismo sexual en la longitud total observada en el copépodo *E. acutifrons*, puede ser manifestado para reducir la competencia intraespecífica por fuentes de alimento entre hembras y machos (Stancyk y Moreira, 1988).

Durante el desarrollo de esta tesis se logró obtener conocimiento valioso, ya que representa un importante avance para el cultivo en condiciones controladas de copépodos harpacticoides con fines acuícolas, con la información obtenida se puede mejorar un sistema de cultivo a nivel piloto y servir de base a trabajos futuros para incrementar la tasa poblacional en función de la cantidad y calidad nutricional del tipo de alimento suministrado.

8. CONCLUSIONES

Se corrobora que el copépodo *Euterpina acutifrons* presenta un desarrollo asincrónico a lo largo de su ciclo de vida. El menor tiempo registrado al alcanzar la madurez fue de 9 días con la microalga *Chaetoceros calcitrans* como alimento.

El principal cuello de botella en el desarrollo larvario de *E. acutifrons* se encuentra en el estadio de nauplio 2 donde probablemente se presente el inicio de la alimentación exógena, ya que este estadio presentó las más altas mortalidades observadas.

De acuerdo a las tasas de supervivencia y mortalidad registradas para *E. acutifrons*, una proporción diferencial de *I. galbana* y *C. calcitrans* a lo largo de la ontogenia puede mejorar significativamente la sobrevivencia, ya que *I. galbana* resulta ser un alimento benéfico para los estadios naupliares y *C. calcitrans* para los estadios de copepodito y adulto.

La microalga *Dunaliella tertiolecta* no fue un alimento favorable para el copépodo harpacticoide *E. acutifrons* en cualquier estadio de desarrollo, causando un lento desarrollo y elevadas mortalidades.

Las mediciones de longitud de los estadios naupliares de *E. acutifrons* fueron similares con las tres microalgas suministradas, sin embargo con *C. calcitrans* se obtuvieron las mayores tallas.

Las hembras de *E. acutifrons* de mayor tamaño tuvieron la mayor cantidad de huevos, sin embargo el éxito reproductivo favoreció a las hembras de mayor tamaño alimentadas con *C. calcitrans*.

En conclusión, con el objetivo de optimizar el cultivo del copépodo harpacticoide *E. acutifrons* con fines de alimento vivo en acuicultura y de acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda alimentar con la microalga *I. galbana* los estadios naupliares hasta alcanzar los primeros estadios de copepodito, ya que favorece la supervivencia y la esperanza de vida de este copépodo, seguido de una mezcla con la microalga *C. calcitrans* para incrementar la talla de las hembras y a su vez la producción de huevos.

9. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS

El desarrollo, las tasas vitales y el crecimiento de *Euterpina acutifrons* fueron evaluados con tres distintas especies de microalgas en este estudio, sin embargo como complemento de esta investigación se recomienda evaluar lo siguiente:

Se recomienda estudiar las tasas de ingestión de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* para *E. acutifrons* y con proporciones de 25:75, 50:50 y 75:25 a lo largo de toda su ontogenia a fin de optimizar el aporte de microalga y mejorar las condiciones de los cultivos.

Profundizar en los estudios que involucren el comportamiento alimenticio de nauplios, copepoditos y adultos de *E. acutifrons*, lo que permitirá visualizar si es posible mejorar los cultivos de este copépodo al proporcionar otras microalgas o en su caso partículas inertes como alimento.

Se sugiere investigar cual es el estadio de primera alimentación de *E. acutifrons*, permitiendo con esto disminuir las altas mortalidades presentadas en los primeros estadios de la etapa naupliar.

Se recomienda continuar con las investigaciones de *E. acutifrons* en relación al contenido de proteínas y al perfil de ácidos grasos esenciales, a fin de determinar si este copépodo es nutricionalmente adecuado como alimento vivo en la larvicultura de peces marinos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abele, L. G. 1982. Biogeography, 241-303 pp. En: D. E. Bliss (Ed). The biology of crustacea. Vol. 1. Systematic, the fossil record and biogeography. Academic Press, Inc., New York, E.U.A.
- Abu-Rezq, T. S., A. B. Yule y S. K. Teng. 1997. Ingestion, fecundity, growth rates and culture of the harpacticoid copepod *Tisbe furcata* in the laboratory. *Hydrobiologia* 347, 109-118.
- Amat-Domènech, F. 1993. Producción de zooplancton, 331-358 pp. En: F. Castelló-Orvay (Ed). Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Universidad de Barcelona, España.
- Ara, K. 2001. Temporal variability and production of *Euterpina acutifrons* (Copepoda: Harpacticoida) in the Cananéia Lagoon estuarine system, São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* 453/454, 177-187.
- Balon, E. K. 1984. Reflections on some decisive events in the early life of fishes. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 113, 178-185.
- Berggreen, U., B. Hansen y T. Kiørboe. 1988. Food size spectra, ingestion and growth of the copepod *Acartia tonsa* during development: implications for determination of copepod production. *Mar. Biol.* 99, 341-352.
- Bernard, M. 1963. Le cycle vital en laboratoire d'un copépode pélagique de Méditerranée *Euterpina acutifrons* Claus. *Pelagos* 1(2), 34-48.
- Blaxter, J. H. S y G. Hempel. 1963. The influence of egg size on herring larvae. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 28, 211-240
- Bonnet, D. y F. Carlotti. 2001. Development and egg production in *Centropages typicus* (Copepoda: Calanoida) fed different food types: a laboratory study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 224, 133-148.
- Bowman, T. E. y L. G. Abele. 1982. Classification of the Recent Crustacea, 1-27 pp. En: D. E. Bliss (Ed). The biology of crustacea. Vol. 1. Systematic, the fossil record and biogeography. Academic Press, Inc., New York, E.U.A.
- Brown, M. R., S. W. Jeffrey, J. K. Volkman y G. A. Dunstan. 1997. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture* 151, 315-331.
- Cabrera, T., J. Rosas, A. Velásquez y J. Millan. 2002. Cultivo de copépodos en Venezuela. *Panorama acuícola* 7(5), 16-17.
- Callan, C., A. Jordaan y L. J. Kling. 2003. Reducing *Artemia* use in the culture of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 219, 585-595.
- Cardona-Pascual, L. 1993. Alimentación larvaria en peces, 357-361 pp. En: F. Castelló-Orvay (Ed). Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Universidad de Barcelona, España.
- Carlotti, F. y P. Nival. 1992. Model of copepod growth and development: moulting and mortality in relation to physiological processes during an individual moult cycle. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 84, 219-233.
- Caswell, H. 1989. Matrix population models: Construction, analysis, and interpretation. *Sinauer Associates, Inc. E. U. A.* 328 pp.
- Chen, S. 1988. Laboratory culture of *Euterpina acutifrons* in Xiamen Harbour. *J. Fish. China* 12(4), 339-345.

- Chong-Carrillo, O. y F. Vega-Villasante. 2003. El dicamarón: Diccionario de camaricultura. Versión 1.0, CIBNOR-Universidad de La Habana.
- Davis, C. S. y P. Alatalo. 1992. Effects of constant and intermittent food supply on life-history parameters in a marine copepod. *Limnol. Oceanogr.* 37(8), 1618-1639.
- Delbare, D., P. Dhert y P. Lavens. 1996. Zooplankton, 252-282 pp. En: P. Lavens y P. Sorgeloos (Ed). Manual on the production and use of live food for aquaculture, FAO Fisheries Technical Papers 361, Roma.
- Diccionario esencial de la ciencias, 2000. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. ESPASA, Madrid, España, 1022 pp.
- El-Maghraby, A. M. 1964. The developmental stages and occurrence of the copepod *Euterpina acutifrons* Dana in the marine environment of Alexandria, U.A.R. *Ann. Mag. Nat. Hist. Ser.* 13(7), 223-233.
- Espinoza-Ávalos, J. 1977. Los principales parámetros físico-químicos de las aguas de La Ensenada de La Paz, B. C. S. *Inf. Gral. Labores, CIBNOR. Res. Invest.* 1977: 5-27.
- Fanta, E. S. 1973. Anatomy of the nauplii of *Euterpina acutifrons* (Dana) (Copepoda, Harpacticoida). *Crustaceana, Leiden.* 23(2), 165-181.
- Félix-Pico, E. 1976. Serie de cinco reportes de la residencia de acuicultura en el estado de Baja California Sur; Bahía Concepción, Estero San Lucas y Ensenada de La Paz. Secretaría de Pesca, nov. 1975 a dic. 1976, 46 pp.
- Fryd, M., O. H. Haslund y O. Wohlgemuth. 1991. Development, growth and egg production of the two copepod species *Centropages hamatus* and *Centropages typicus* in the laboratory. *J. Plankton Res.* 13(4), 683-689.
- García-Ulloa, M., F. Cox y P. Sorgeloos. 2000. Artemia en crisis. *Panorama acuícola* 5(3), 16-18.
- Gasca, R., L. Segura y E. Suárez. 1996. El zooplancton marino, 1-35 pp En: Gasca R. y E. Suárez (Eds). Introducción al estudio del zooplancton marino. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACYT, México.
- Ginsburger-Vogel, T. y H. Charniaux-Cotton. 1982. Sex determination, 257-281 pp. En: D. E. Bliss (Ed). The biology of crustacea. Vol. 2. Embryology, morphology and genetics. Academic Press, Inc., New York, E.U.A.
- Guillard, R. R. L. y J. H. Ryther. 1962. Studies on marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve). *Gran Can. J. Microbiol.* 8, 229-239.
- Guisande, C., J. Sánchez, I. Maneiro y A. Miranda. 1996. Trade-off between offspring number and offspring size in the marine copepod *Euterpina acutifrons* at different food concentrations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 143, 37-44.
- Guisande, C., I. Maneiro y I. Riveiro. 1999. Homeostasis in the essential amino acid composition of the marine copepod *Euterpina acutifrons*. *Limnol. Oceanogr.* 44(3), 691-696.
- Hagiwara, A., C.-S. Lee y D. J. Shiraishi. 1995. Some reproductive characteristics of the broods of the harpacticoid copepod *Tigriopus japonicus* cultured in different salinities. *Fisheries Science* 61(4), 618-622.
- Hagiwara, A., W. G. Gallardo, M. Assavaaree, T. Kotani, y A. B. de Araujo. 2001. Live food production in Japan: recent progress and future aspects. *Aquaculture* 200, 111-127.

- Hartnoll, R. G. 1982. Growth, 111-196 pp. En: D. E. Bliss (Ed). The biology of crustacea. Vol. 2. Embryology, morphology and genetics. Academic Press, Inc., New York, E.U.A.
- Helland, S., B. F. Terjesen y L. Berg. 2003. Free amino acid and protein content in the planktonic copepod *Temora longicornis* compared to *Artemia franciscana*. *Aquaculture* 215, 213-228.
- Hernández-Molejón, O. G. y L. Álvarez-Lajonchère. 2003. Culture experiments with *Oithona oculata* Farran, 1913 (Copepoda: Cyclopoida), and its advantages as food for marine fish larvae. *Aquaculture* 219, 471-483.
- Hirst, A. G. y T. Kiørboe. 2002. Mortality of marine planktonic copepods: global rates and patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 230, 195-209.
- Hopcroft, R. R. y J. C. Roff. 1996. Zooplankton growth rates: diel egg production in the copepods *Oithona*, *Euterpina* and *Corycaeus* from tropical waters. *J. Plankton Res.* 18(5), 789-803.
- Hopcroft, R. R. y J. C. Roff. 1998. Zooplankton growth rates: the influence of female size and resources on egg production of tropical marine copepods. *Mar. Biol.* 132, 79-86.
- Hulsemann, K. 1996. Copepoda, 249-295 pp. En: Gasca R. y E. Suárez (Eds). Introducción al estudio del zooplancton marino. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACYT, México.
- Ianora, A. 1998. Copepod life history traits in subtemperate regions. *J. Mar. Syst.* 15, 337-349.
- Ianora, A., S. A. Poulet y A. Miralto. 1995. A comparative study of the inhibitory effect of diatoms on the reproductive biology of the copepod *Temora stylifera*. *Mar. Biol.* 121, 533-539.
- Ianora, A., S. A. Poulet, A. Miralto y R. Grotoli. 1996. The diatom *Thalassiosira rotula* affects reproductive success in the copepod *Acartia clausi*. *Mar. Biol.* 125, 279-286.
- Inoue, M. y M. Aoki. 1969. Reproduction of copepoda, *Tisbe furcata*, cultured with seawater-acclimatized *Chlorella* as a basic diet. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 35(9), 862-867.
- Itoh, K. 1973. Food requirements of copepods estimated from their metabolic rates. *Bull. Plankton Soc. Japan* 20(1), 78-83
- Iwasaki, H., K. Endo, J. Ishii y S. Nishihara. 1984. Cultivation of marine copepod, *Acartia clausi* Giesbrecht-II fundamental experiments on mass culture. Faculty of fisheries, Mie University, Japón. 75-93.
- Izquierdo, M. S. 1996. Essential fatty acid requirements of cultured marine fish larvae. *Aquaculture Nutrition* 2, 183-191.
- Jackson, G. A. y T. Kiørboe. 2004. Zooplankton use of chemodetection to find and eat particles. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 269, 153-162.
- Jiménez-Quiroz, M. 1991. Contribución al conocimiento de los productores primarios de La Ensenada de La Paz, análisis de la comunidad de manglar. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. 223 pp.
- Kiørboe, T. y M. Sabatini. 1995. Scaling of fecundity, growth and development in marine planktonic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 120, 285-298.
- Kitajima, C. 1973. Experimental trials on mass culture of copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan* 20(1), 54-60.

- Klein Breteler, W. C. M., M. Koski y S. Rampen. 2004. Role of essential lipids in copepod nutrition: no evidence for trophic upgrading of food quality by a marine ciliate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 274, 199-208.
- Kolkovski, S. 2001. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles-implications and applications to formulated diets. *Aquaculture* 200, 181-201.
- Koski, M. y W. C. M. Klein Breteler. 2003. Influence of diet on copepod survival in the laboratory. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 264, 73-82.
- Kraul, S., H. Ako, K. Brittain, A. Ogasawara, R. Cantrell y T. Nagao. 1991. Comparison of copepods and artemia as feed for larval mahimahi, *Coryphaena hippurus*. En: Lavens, P., P. Sorgeloos, E. Jaspers y F. Ollevier (Ed) Larvi'91 – Fish and crustacean larviculture symposium. European Aquaculture Society, Special publication No. 15, Gent, Bélgica.
- Kraul, S., H. Ako, A. Nelson, K. Brittain y A. Ogasawara. 1992. Evaluation of live feeds for larval and postlarval mahimahi, *Coryphaena hippurus*. *J. World Aquaculture Soc.* 23(4), 299-306.
- Kraul, S., K. Brittain, R. Cantrell, T. Nagao, H. Ako, A. Ogasawara y H. Kitagawa. 1993. Nutritional factors affecting stress resistance in the larval mahimahi, *Coryphaena hippurus*. *J. World Aquaculture Soc.* 24(2), 186-193.
- Krebs, C. J. 1985. Ecología: estudio de la distribución y la abundancia. Ed. Harla, México. 753 pp.
- Kurokawa, T., M. Shiraishi y T. Suzuki. 1998. Quantification of exogenous protease derived from zooplankton in the intestine of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) larvae. *Aquaculture* 161, 491-499.
- Lally, C. M. Y T. R. Parsons. 1993. Biological oceanography: an introduction. Pergamon Press. Walton Hall, Milton Keynes. Oxford, Britain. 301 pp.
- Landry, M. R. 1975. The relationships between temperature and the development of life stages of the marine copepod *Acartia clausi* Giesbr. *Limnol. Oceanogr.* 20(3), 854-858.
- Landry, M. R. 1983. The development of marine calanoid copepods with comment on the isochronal rule. *Limnol. Oceanogr.* 28(4), 614-624.
- Lee, R. E. 1980. Phycology. Cambridge University Press (Ed), E.U.A. 478 pp.
- Lee, W. Y., X. K. Zhang, C. Van Baalen y C. R. Arnold. 1985. Feeding and reproductive performance of the harpacticoid *Tisbe carolinensis* (Copepoda, Crustacea) in four algal cultures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24, 273-279.
- Liao, I. C. 1996. Larviculture of finfish and shellfish in Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan* 23(4), 349-369.
- Maly, E. J. 1973. Density, size, and clutch of two high altitude diaptomid copepods. *Limnol. Oceanogr.* 18(6), 840-848.
- Maly, E. J. 1978. Some factors influencing size of *Diaptomus shoshone*. *Limnol. Oceanogr.* 23(4), 835-837.
- Mayr, E. 1979. Animal species and evolution, 6^a ed. The Belknap press of Harvard University press. London, Inglaterra. 797 pp.
- McEvoy, L. A., T. Naess, J. G. Bell y Ø. Lie. 1998. Lipid and fatty acid composition of normal and malpigmented Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed enriched *Artemia*: a comparison with fry fed wild copepods. *Aquaculture* 163, 237-250.

- McKinnon, A. D., S. Duggan, P. D. Nichols, M. A. Rimmer, G. Semmens y B. Robino. 2003. The potential of tropical paracalanid copepods as a live feeds in aquaculture. *Aquaculture* 223, 89-106.
- Morales, R. E. y H. Cabrera-Muro. 1982. Aplicación de un modelo numérico unidimensional a la Ensenada de La Paz, B. C. S. *Ciencias Marinas*, 8(2), 69-89.
- Moreira, G. S. y J. C. McNamara. 1984. Annual variation in abundance of female and dimorphic male *Euterpina acutifrons* (Dana) (Copepoda, Harpacticoida) from the Hauraki Gulf, New Zealand. *Crustaceana* 47, 298-302.
- Moreno, J. L., S. Licea y H. Santoyo. 1996. Diatomeas del Golfo de California. Ed. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 173 pp.
- Nanton, D. A. y J. D. Castell. 1998. The effects of dietary fatty acids on the fatty acid composition of the harpacticoid copepod, *Tisbe* sp., for use as a live food for marine fish larvae. *Aquaculture* 163, 251-261.
- Nanton, D. A. y J. D. Castell. 1999. The effects of temperature and dietary fatty acids on the fatty acid composition of harpacticoid copepods, for use as a live food for marine fish larvae. *Aquaculture* 175, 167-181.
- Neunes, H. W. y G. F. Pongolini. 1965. Breeding a pelagic copepod, *Euterpina acutifrons* (Dana), in the laboratory. *Nature* 208(5010), 571-573.
- Nilsson, P. 1987. Demography of *Mesochra lilljeborgi* and *Amonardia normani* (Copepoda: Harpacticoida) reared on two diatoms diets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 39, 267-274.
- Norsker, N. H. y J. G. Støttrup. 1994. The importance of dietary HUFA's for fecundity and HUFA content in the harpacticoid, *Tisbe holothuriae* Humes. *Aquaculture* 125, 155-166.
- Omori, M. 1973. Cultivation of marine copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan* 20(1), 3-5.
- Osorio-Galindo, M. 1998. Efecto de la temperatura y salinidad en parámetros poblacionales de *Pseudodiaptomus euryhalinus* Johnson (Crustácea: Copepoda: Calanoidea) en condiciones controladas. Tesis de maestría CICIMAR-IPN, México. 68 pp.
- Palomares-García, J. R. 1996. Estructura espacial y variación estacional de los copépodos en la ensenada de La Paz. *Oceánides* 11(1), 29-43.
- Palomares-García, J. R., E. Suárez-Morales y S. Hernández-Trujillo. 1998. Catalogo de los copépodos (Crustácea) pelágicos del Pacífico Mexicano. CICIMAR-IPN, México. 352 pp.
- Parsons, T. R., Y. Maita y C. M. Lalli. 1989. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon press. U. K. 173 pp.
- Payán-Aguirre, J. C. 1994. Aspectos biológico poblacionales de *Pseudodiaptomus euryhalinus* (Copepoda: calanoidea) para su utilización en acuicultura. Tesis de maestría CICIMAR-IPN, México. 63 pp.
- Payne, M. F. y R. J. Rippingale. 2000. Evaluation of diets for culture of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture* 187, 85-96.
- Payne, M. F., R. J. Rippingale y J. J. Cleary. 2001. Cultured copepods as food for West Australian dnufish (*Glaucosoma hebraicum*) and pink snapper (*Pagrus auratus*) larvae. *Aquaculture* 194, 137-150.

- Pinto, C. S. C., L. P. Souza-Santos y P. J. P. Santos. 2001. Development and population dynamics of *Tisbe biminiensis* (Copepoda: Harpacticoida) reared on different diets. *Aquaculture* 198, 253-267.
- Raymont, J. E. G. 1983. Plankton and productivity in the oceans, 2^a ed. Vol. 2. Zooplankton. Pergamon Press Ltd. 824 pp.
- Rønnestad, I., S. Helland y Ø. Lie. 1998. Feeding Artemia to larvae of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) results in lower larval vitamin A content compared with feeding copepods. *Aquaculture* 165, 159-164.
- Sargent, J. R., J. G. Bell, L. A. McEvoy, D. Tocher y A. Estevez. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 191-199.
- Sargent, J. R., D. R. Tocher y J. G. Bell. 2002. The Lipids, 181-257 pp. En: J. E. Halver (Ed). *Fish Nutrition*, 3^a ed. Academic Press, Inc., New York, E. U. A.
- Sautour, B. y J. Castel. 1993a. Feeding behavior of the coastal copepod *Euterpina acutifrons* on small particles. *Cah. Biol. Mar.* 34, 239-251.
- Sautour, B. y J. Castel. 1993b. Données sur le comportement alimentaire du copépode *Euterpina acutifrons*. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie/Life sciences* 316, 1500-1504.
- Schipp, G. R., J. M. P. Bosmans y A. J. Marshall. 1999. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepods, *Acartia* spp. *Aquaculture* 174, 81-88.
- Sciandra, A. 1986. Study and modelling of the development of *Euterpina acutifrons* (Copepoda: Harpacticoida). *J. Plankton Res.* 8(6), 1149-1162.
- Shansudin, L., M. Yusof, A. Azis y Y. Shukri. 1997. The potential of certain indigenous copepod species as live food for commercial fish larval rearing. *Aquaculture* 151, 351-356.
- Shields, R. J. 2001. Larviculture of marine finfish in Europe. *Aquaculture* 200, 55-88.
- Shields, R. J., B. Gara y M. J. S. Gillespie. 1999a. A UK perspective on intensive hatchery rearing methods for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 176, 15-25.
- Shields, R. J., J. G. Bell, F. S. Luizi, B. Gara, N. R. Bromage y J. R. Sargent. 1999b. Natural copepods are superior to enriched *Artemia* nauplii as a feed for halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus*) in terms of survival, pigmentation and retinal morphology: relation to dietary essential fatty acids. *J. Nutr.* 129, 1186-1194.
- Sipaúba-Tavares, L. H., M. A. Bachion y F. M. de Souza-Braga. 2001. Effects of food quality on growth and biochemical composition of a calanoid copepod, *Argyrodiaptomus furcatus*, and its importance as a natural food source for larvae of two tropical fishes. *Hydrobiologia* 453/454, 393-401.
- Sokal, R. y J. Rohlf. 1981. *Biometry*. W.H. Freeman and Company, New York, E.U.A. 859 pp.
- Sorgeloos, P., P. Dhert y P. Candevra. 2001. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture. *Aquaculture* 200, 147-159.
- Souza-Santos, L. P., J. Castel y P. J. P. Santos. 1995. Feeding rate cycle of the epibenthic harpacticoid copepod *Harpacticus flexus*: laboratory experiments using fecal pellet counts. *Vie Milieu* 45(1), 75-83.

- Souza-Santos, L. P., P. J. P. Santos y J. Castel. 1999. Development and population dynamics of *Amonardia normani* Brady reared on axenic and non-axenic diatoms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 235, 167-182.
- Stancyk, S. E. y G. S. Moreira. 1988. Inheritance of male dimorphism in Brazilian populations of *Euterpina acutifrons* (Dana) (Copepoda: Harpacticoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 120, 125-144.
- Støttrup, J. G. 2000. The elusive copepods: their production and suitability in marine aquaculture. *Aquaculture Research* 31, 703-711.
- Støttrup, J. G. y J. Jensen. 1990. Influence of algal diet on feeding and egg-production of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 141, 87-105.
- Støttrup, J. G. y N. H. Norsker. 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture* 155, 231-247.
- Støttrup, J.G., R. Shields, M. Gillespie, M. B. Gara, J. R. Sargent, J. G. Bell, R. J. Henderson, D. R. Tocher, R. Sutherland, T. Næss, A. Mangor Jensen, K. Naas, T. van der Meeren, T. Harboe, F. J. Sánchez, P. Sorgeloos, P. Dhert y R. Fitzgerald. 1998. The production and use of copepods in larval rearing of halibut, turbot and cod. *Bull. Aquacul. Assoc. Canada* 4, 41-45.
- Støttrup, J. G., J. G. Bell y J. R. Sargent. 1999. The fate of lipids during development and cold-storage of eggs in the laboratory-reared calanoid copepod, *Acartia tonsa* Dana, in response to different algal diets. *Aquaculture* 176, 257-269.
- Sun, B. y J. W. Fleeger. 1995. Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system. *Aquaculture* 136, 313-321.
- Szyper, J. P. 1989. Nutritional depletion of the aquaculture feed organisms *Euterpina acutifrons*, *Artemia* sp. y *Brachionus plicatilis* during starvation. *J. World Aquaculture Society* 20(3), 162-169.
- Theilacker, G. H. y A. S. Kimball. 1984. Comparative quality of rotifers and copepods as food for larval fishes. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Inv. Rep.* 25, 80-86.
- Thor, P., G. Cervetto, S. Besiktepe, E. Ribera-Maycas, K. M. Tang y H. G. Dam. 2002. Influence of two different green algal diets on specific dynamic action and incorporation of carbon into biochemical fractions in the copepod *Acartia tonsa*. *J. Plankton Res.* 24(4), 293-300.
- Trujillo-Ortiz, A. y J. E. Arroyo-Ortega. 1991. Análisis de la mortalidad y esperanza de vida de *Acartia californiensis* Trinast (Copepoda: Calanoida) bajo condiciones de laboratorio. *Ciencias Marinas* 17(4), 11-18.
- Urry, D. L. 1965. Observations on the relationship between the food and survival of *Pseudocalanus elongatus* in the laboratory. *J. Mar. Biol. Ass.* 45, 49-58.
- Vázquez-García, L. y A. Villalobos. 1987. Zoología del phylum arthropoda. Ed. Interamericana. México. 381 pp.
- Viñas, M. D. 1991. Proportion des sexes d'*Euterpina acutifrons* (Dana) (Copepoda: Harpacticoida) au laboratoire et dans deux populations naturelles de milieu tempéré. *Vie Milieu* 41(4), 255-261.

- Volkman, J. K., S. W. Jeffrey, P. D. Nichols, G. I. Rogers y C. D. Garland. 1989. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 128, 219-240.
- Voltolina-Lobina, D., Buckle-Ramírez, L. F. y Morales-Guerrero, E. R. 1989. Manual de metodologías y alternativas para el cultivo de microalgas. 2ª ed. CICESE, Informe especial. OC-89-01. 61 pp.
- Watanabe T. y V. Kiron. 1994. Prospects in larval fish dietetics. *Aquaculture* 124, 223-251.
- Weiss, G. M., G. B. McManus y H. R. Harvey. 1996. Development and lipid composition of the harpacticoid copepod *Nitocra spinipes* reared on different diets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 132, 57-61.
- Williams, T. D. y M. B. Jones. 1999. Effects of temperature and food quantity on the reproduction of *Tisbe battagliai* (Copepoda: Harpacticoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 236, 273-290.
- Yúfera, M. y E. Pascual. 1984. La producción de organismos zooplanctónicos para la alimentación larvaria en acuicultura marina. *Inf. Téc. Inv. Pesquera* 1119, 3-27.

Anexo 1

Diagnosis de *Euterpina acutifrons*

Hembra: Cuerpo con aspecto vermiforme, con los somitas torácicos ensanchados. Frente puntiaguda en vista lateral, estrechada, alargada y encorvada. Rostro prolongado hacia delante. Primeras antenas muy cortas, con siete segmentos. Segundas antenas trisegmentadas; exopodito corto, no segmentado. Mandíbula con el palpo birrámeo, monosegmentado. Úrosoma con cinco somitas, algo más estrechos que los del prosoma. Furca pequeña, con setas terminales alargadas. Exopodito y endopodito del primer par de patas, bisegmentados; del segundo, tercero y cuarto pares de apéndices, trisegmentados. Quinto par de apéndices, en forma de placa rectangular, monosegmentado, con cuatro setas terminales espinosas. Portan un saco ovígero en forma de racimo de uvas durante la reproducción, una vez alcanzado el estadio adulto (Palomares-García *et al.*, 1998).

Macho: Cuerpo semejante al de la hembra. Primeras antenas geniculadas terminadas en un gancho afilado. Úrosoma con los seis somitas más estrechos que los del prosoma. Quinto par de apéndices en forma de placas pequeñas, redondeado, monosegmentado, con dos setas terminales espinosas (Palomares-García *et al.*, 1998). Se presentan dos tipos de machos, diferenciados principalmente por su tamaño, llamados machos dimórficos (Stancyk y Moreira, 1988; Viñas, 1991).

Anexo 2

Composición química del medio f/2 por litro preparado

(Guillard y Ryther, 1962):

NaNO ₃	883 µg/l
NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O	36.3 µg/l
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	54 µg/l
EDTA·Fe	11.7 µg/l
FeCl ₃ ·6H ₂ O	11.7 µg/l
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.04 µg/l
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.08 µg/l
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.05 µg/l
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.9 µg/l
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.03 µg/l
Tiamina·HCl	0.1 µg/l
Biotina	0.5 µg/l
B ₁₂	0.5 µg/l

Anexo 3

Correlación Carbón - Densidad

Isochrysis galbana

Análisis de regresión entre la variable densidad celular y el contenido de carbón orgánico, como variable dependiente con una $R = 0.90587521$, $R^2 = 0.82060989$, R^2 ajustada = 0.80681065, $F(1,13)=59.468$ con un nivel de significancia de $p < 0.05$ Error estimado: 3.8050, para $Y = 6.5284 + 0.61E-5 X$.

Densidad vs. Carbón	Beta	Err. Std. de Beta	B	Err. Std. de B	t(13)	nivel de p
Intercep			6.528440	2.099750	3.109152	0.008299
Densidad	0.905875	0.117470	0.000006	0.000001	7.711534	0.000003

Chaetoceros calcitrans

Análisis de regresión entre la variable densidad celular y el contenido de carbón orgánico, como variable dependiente con una $R = 0.80970577$, $R^2 = 0.65562344$, R^2 ajustada = 0.62913293, $F(1,13)=24.749$ $p < 0.05$ Error estimado: 6.9198, para $Y = -1.477 + 0.25E-4 X$.

Densidad vs. Carbón	Beta	Err. Std. de Beta	B	Err. Std. de B	t(13)	nivel de p
Intercep			-1.47737	4.702220	-0.314186	0.758365
Densidad	0.809706	0.162759	0.00002	0.000005	4.974874	0.000254

Dunaliella tertiolecta

Análisis de regresión entre la variable densidad celular y el contenido de carbón orgánico, como variable dependiente con una $R = 0.98406925$, $R^2 = 0.96839229$, R^2 ajustada = 0.96596093, $F(1,13)=398.29$ $p < 0.05$ Error estimado: 1.7846, para $Y = 1.0449 + 0.24E-4 X$.

Densidad vs. Carbón	Beta	Err. Std. de Beta	B	Err. Std. de B	t(13)	nivel de p
Intercep			1.044871	1.071955	0.97473	0.347482
Densidad	0.984069	0.049309	0.000024	0.000001	19.95726	0.000000