

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES



**EFFECTO DE DIETAS DEL DINOFLAGELADO
TÓXICO *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid)
Balech, 1985, EN EL DESARROLLO NAUPLIAR DEL
COPÉPODO CALANOIDEO *Acartia tonsa* (Dana,1846)**

Marco Antonio Pinto Torres

Director: Dr. Máximo Jorge Frangópulos Rivera

Co-Director: M.Sc. Juan Iván Cañete Aguilera

2013

**EFFECTO DE DIETAS DEL DINOFLAGELADO TÓXICO *Alexandrium catenella*
(Whedon & Kofoid) Balech, 1985, EN EL DESARROLLO NAUPLIAR DEL
COPEÓPODO CALANOIDEO *Acartia tonsa* (Dana,1846)**

Por: Marco Antonio Pinto Torres

Departamento de Ciencias y Recursos Naturales

Fecha : 23 de Octubre del 2013

Decano Facultad Ciencias

Jefe de Carrera

Aprobado por Comisión de Calificación

Director Tesis

Co-director

Evaluador 1

Evaluador 2

Tesis entregada como requerimiento para obtener el Título
de Biólogo Marino en la Facultad de Ciencias

2013

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Ciencias y Recursos Naturales

**EFFECTO DE DIETAS DEL DINOFLAGELADO TÓXICO *Alexandrium catenella*
(Whedon & Kofoid) Balech, 1985, EN EL DESARROLLO NAUPLIAR DEL
COPÉPODO CALANOIDEO *Acartia tonsa* (Dana,1846)**

Tesis presentada para optar al Título de Biólogo Marino

Marco Antonio Pinto Torres

Punta Arenas, Octubre 2013

*“Puedo cantar
hablar de mis viajes,
tiempos de dura navegación
Amargas carencias
Y a menudo he aprendido
es un barco en una tormenta,
en la ardua noche de vigía
viendo pasar los acantilados.
aprimados por el hielo
Torturado por el frío,
Acongojado mi corazón,
Mi cansada mente de marino... ..Y todavía una vez más
La sangre en mi corazón
me empuja a intentarlo
El mar parecen montañas,
El impulso de mi corazón
A emprender un nuevo viaje,*

*mi propia historia,
y como a menudo he sufrido
y días de mucho afán;
a menudo en muchos puertos,
que difícil morada
cuando llegaba mi turno
a la proa del navío
A menudo estuvieron mis pies
en helados calzados,
dominado por la angustia
anhelando una ayuda
otra vez más
juegan las saladas olas;
me urge nuevamente
visitar lejanas tierras
en mares muy distantes... “*

Conocer a otras gentes

Exeter

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es la culminación de un periodo largo en la historia de mi existencia, en la cual he podido apreciar la grandeza de la vida, y disfrutar de los buenos momentos, donde he tenido grandes profesores, amigos, y maestros, todos los cuales han dejado en mí algún grado de enseñanza, no solo basado en elementos, cálculos, historia y ciencia, sino que sobre algo más noble como es la paciencia, perseverancia y entereza, los cuales son muchos más significativos durante el desarrollo de la vida y lo profesional. En este momento pienso, reflexiono y logro deslumbrar que los años no pasan en vano y que he de recordar no solo los buenos momentos de mi existencia, sino que también los malos, aquellos que duran y dejan marca, eso que uno siempre recuerda y utiliza, para mejorar y convertirse en un hombre de bien. Por lo mismo desde hoy comienza una nueva senda por la cual transitaré, por supuesto que no solo, ya que mis amigos, hermanos y pareja, me acompañan en esta travesía, ya he dejado atrás todos estos años de jolgorio y ahora se aproximan vientos de cambios y de madures, es hora de dejar el nido y crecer, ver con otras expectativas los nuevos desafíos que se acercan a pasos agigantados, es por eso que el día hoy y antes de partir, deseo agradecer a todos y cada uno de los diferentes actores que han aportado en mi progreso.

En primer lugar a los tres ex coordinadores de la carrera de Biología Marina Sr. Iván Cañete, la Sra. María Luisa Salmerón y Srta. Bibiana Jara, con quienes a pesar de los diferentes inconvenientes que les ocasionaron, supieron creer, guiar y encausar mi camino, para poder resaltar lo mejor de mí.

Así también a mi mentor Dr. Máximo Frangópulos, el cual no solo es una guía sino que un gran amigo, el cual confió en mí y me apoyó desde que comenzamos con el desarrollo de esta tesis, le doy las más infinitas gracias por sus infinitos consejos, ayuda y entrega sabiduría, además por ser un apoyo en un momento oscuro en mi vida y por otorgar un lugar donde poder desarrollarme como profesional y permitirme que siga creciendo bajo su alero. Espero que en estas nuevas etapas la fuerza se mantenga de nuestro lado.

Al centro de Estudios del Cuaternario, Fundación CEQUA, son muchos motivos por los cuales debo destacarlos, primero por aceptarme y hacerme uno más de esta linda familia, segundo agradecer a la Directora Ejecutiva Sra. Paola Acuña, por confiar en mí y en mis capacidades y darme la

oportunidad desarrollarme como científico dentro de la institución, al Dr. Rodrigo Villa por sus constantes consejos, para que terminara mi tesis y los motivos de porque la tenía que terminar. Así también al Msc. Jorge Acevedo, el cual a pesar de ser una persona callada, apporto de forma alegre y entusiasta al desarrollo de esta tesis y en la evaluación de ella, como también siempre me sorprendió con comentario asertivo hacia mi persona alegrando las jornadas de trabajo, muchas gracias. Al Ingeniero Carlos Olave por su consulta constante sobre cómo va el desarrollo de mi tesis y sus constantes desbordes de alegría y amistad, al Sr. Oscar Mancilla un gran amigo y gran compañero de terreno, el cual brindo todo su apoyo y disposición al desarrollo logístico de esta tesis, y al resto del equipo de trabajo humano de la fundación, quienes siempre estuvieron pendiente de los resultados de esta.

Al personal del Instituto Fomento Pesquero (IFOP) tanto a su director Zonal Sr, Erik Daza, la Dra. Gemita Pizarro, a los Licenciados Hernán Pacheco y Cesar Alarcón, y a la Bióloga Marina Claudia Zamora, por permitirme utilizar las dependencias de la institución para la realización de mis experimentos, además de su ayuda y por su apoyo constante en toda la realización de mi experimento, gracias por la colaboración entregada.

A mis Familia Juan Marco, Sandra, Michael y Zhaulo, por ser los rayos de luz en mi vida, por estar siempre a mi lado y por hacerme más interesante mi desarrollo, ciertamente ustedes son los cimientos más importantes dentro de mi formación, de mi crecimiento y de mi vida, para simplificar son lo mas grande y bellos que tengo hasta el día de hoy y siempre los tendré en el corazón pase a la adversidad, donde existamos y a la época en que vivamos, por lo mismo soy un agradecido por ser parte de esta Familia, LOS AMO MUCHO. A mi Cuñada Paola Burgos, mis sobrinitos Agatha y Joaquín, que son relativamente nuevos dentro de mi familia, pero saben que los amo mucho a los tres gracias por estar su apoyo y estar conmigo siempre.

A mis amigos Cristian, Cristóbal, Guillermo, y Sebastián, los pongo por orden alfabético para que no se sienta, y citando a Ceratti “Gracias totales” no tengo más palabras para ustedes por el apoyo brindado, y por incentivarme de maneras muy radicales, para poder culminar esta tesis ya, con algunos de ustedes ya son años y con otros no tantos, pero es el sentimiento de amistad es el que

motiva, les agradezco mucho estimados caballeros por el aguante y por la motivación, además de esa partidas incasables y carretes varios de los cuales tengo buenos recuerdos espero poder seguir disfrutando de su compañía por mucho tiempo más.

A mi Gran amigo, hermano y compadre, Sergio Zamora, por ser unos de los que ha mantenido en el tiempo, por compartir las cosas buenas y malas de la vida, y apoyarme eternamente cuando las cosa ha estado más oscura que de costumbre, por ser uno más de mi familia y por convertirte en uno de los grande pilares de mi formación, no solo académica si no que espiritual y por ser siempre una de las personas por con la que puedo contar, Gracias Hermano.

Así también quiero agradecer aun excepcional Familia, la cual es muy querida para mí y quienes me llenan con orgullo mi corazón, ellos son los Mora - Otey, Tío Carlos Tía Rosa y Edgar, eternamente estaré agradecido por toda su paciencia, cariño y ayuda entregada durante estos años, su hogar siempre un ha sido refugio y un lugar de meditación para mí durante en numerosos eventos que han trascendido durante esta etapa de mi vida, les agradezco por los consejos brindados en muchas en reiteradas ocasiones, así también tengo que reconocer y agradecer a cada uno de ustedes por convertirse en una segunda familia para mí, ya que me han cobijaron y cuidado desde hace mucho tiempo, por los mismo les estaré eternamente agradecidos, los quiero mucho a todos.

A mi querida abuelita Ellys Cornejo, quien me es la voz de sabiduría del esfuerzo y de la perseverancia, ella me enseñó que la vida puede ser dura, fría y cruel, pero siempre hay que sonreírle, quererla y apreciarla, ya que es lo más valioso que tenemos, gracias por esos cariños y esa gran bondad que hay en tu corazón, me alegro mucho de tenerte a mi lado hasta el día de hoy, y permitirme disfrutar de ti hasta hora. Eres importante en mi vida y gracias por enseñarme a disfrutar de la ella te quiero mucho.

A mi querida abuelita Adriana Ahumada, quien es, fue y será mi eterno norte, mi luz en el firmamento y mi conciencia dormida, será hoy y siempre la mejor dentro de mi vida, ya que gracias a ti, veo la vida de otra forma, seguiré tus pasos para convertirme en una gran persona, y formare una gran familia como lo hiciste tú, espero algún día poder mírate a los ojos y darte las infinitas

gracias por lo que has significado para mí, a pesar de no estar conmigo desde ya varios años, espero que donde te encuentres me sigas guiando e iluminado con tu cariño y amor....

Finalmente tengo que agradecer a la persona más importante en mi vida mi amada pareja Carla Mora, quien en causo mi camino, me motivo y me ayudo no solo en lo académico, sino también en lo espiritual, en lo mundano y profesional, desde que estas a mi lado haz y seguirás siendo un soporte en mi vida, eres única y marcaste un antes y un después en mí, estoy seguro que sin ti este camino jama subiera terminado, te doy las gracias por todas esas largas horas de estudio, los eternos consejos y los grande momentos vividos juntos, eres la energía vital que me motiva hacer mejor, que me hace crecer y me incentiva a mejorar, eres el centro de mi formación como persona y como pareja y espero que la vida me prepare muchas y mayores sorpresa a tu lado, te amo y espero que este nuevo camino nos haga ser más felices junto.

Para Finalizar quiero agradecer a todos aquellos que de alguna u otra manera me ayudaron, apoyaron y me entendieron, muchas gracias por los consejos entregados y durante toda mi carrera y espero con gran alegría el final de esto para poder comenzar a ser una contribución a la sociedad y la ciencia de mi país y de la región.

RESUMEN

Las Floraciones de Algas Nocivas (FAN) del dinoflagelado tóxico *Alexandrium catenella* en el sur de Chile se han vuelto un fenómeno recurrente sobre todo en la última década, ampliando su distribución hacia el norte desde la región de Magallanes (Decimosegunda), hasta la región de los Lagos (Décima). Dichas floraciones tóxicas provocan efectos negativos sobre todo en el sector pesquero artesanal y en la acuicultura, además de impactar el turismo y la salud pública. Una de las consecuencias directas de estas manifestaciones naturales es la transferencia de toxinas a eslabones superiores de la cadena trófica en los ecosistemas marinos, teniendo efectos deletéreos tanto en organismos del plancton, como en niveles superiores, por lo que si los organismos tóxicos consumidos por sus predadores son lo suficientemente nocivos, se pueden registrar eventos de mortalidad tanto a nivel de estadios tempranos como en adultos. Aunque el estudio del efecto y transferencia de toxinas marinas en los consumidores primarios (copépodos) ha sido bastante abordado en los últimos años, poco se ha investigado acerca del efecto de las toxinas al ser consumidas por copépodos en diferentes estadios naupliares de desarrollo. Bajo esta premisa, la presente tesis determinó, en condiciones de laboratorio, el impacto de diferentes concentraciones (dietas) de *A. catenella* sobre el desarrollo naupliar del copépodo *Acartia tonsa*, evaluando los efectos sobre el tiempo de desarrollo larval y tasas de supervivencia de los nauplios expuestos a dietas tóxicas, comparados con dietas controles del alga *Tetraselmis suecica*.

Los copépodos fueron colectados en dos zonas del estrecho de Magallanes con diferente historial de exposición de blooms de *A. catenella*. Las hipótesis a testear fueron: 1) Si el copépodo *A. tonsa* es alimentado en sus primeros estadios de desarrollo (nauplio) con diferentes concentraciones del dinoflagelado tóxico *A. catenella*, entonces se esperaría observar un efecto progresivo de las toxinas consumidas por los nauplios a medida que la concentración de *A. catenella* disponible como alimento sea mayor y 2) Si existe una diferencia de exposición histórica a blooms de *A. catenella* en poblaciones de *A. tonsa* extraídas en estas dos áreas de estudio, entonces se esperaría que los nauplios eclosionados de copépodos que provengan de zonas con mayor historial de exposición a *A. catenella* sean más resistentes al consumo de toxinas paralizantes que aquellos provenientes de zonas sin o con escasa exposición a las floraciones de *A. catenella*.

El desarrollo del experimento fue realizado por un período de 6 días, donde se le suministraron a ambas poblaciones de nauplios de *A. tonsa* diferentes proporciones de alga tóxica y no tóxica a dos concentraciones experimentales de alimento (baja, equivalente a $400 \mu\text{g C L}^{-1}$ y alta, equivalente a $800 \mu\text{g C L}^{-1}$). Los resultados mostraron mayores tasas de supervivencia naupliar ($\sim 40\%$) para la localidad de bahía Agua Fresca versus la localidad de bahía Chabunco que registró un promedio $< 25\%$ a concentraciones de alimento bajas ($400 \mu\text{g C L}^{-1}$). En el caso de las concentraciones de alimento alta ($800 \mu\text{g C L}^{-1}$), ambas localidades presentaron una baja tasa de supervivencia naupliar, lo que indicaría que no se observaron efectos diferenciados relacionados con el consumo de *A. catenella* el cual estaría siendo determinado probablemente por la alta concentración del alga disponible en el medio de cultivo. lo que término inhibiendo el desarrollo naupliar en ambas localidades.

Los resultados con las concentraciones de $400 \mu\text{g C L}^{-1}$ en las poblaciones de copépodos, permiten inferir que la concentración de la microalga tóxica *A. catenella*, influyó considerablemente sobre las poblaciones de nauplios de *Acartia tonsa*, manifestándose una tolerancia diferenciada a la resistencia al consumo de las toxinas en poblaciones que cuentan con un exposición histórica y a su vez disminuyendo la supervivencia y reduciendo los estadios larvales primarios con mayor notoriedad, en aquellas poblaciones que no tiene un historial de exposición a esta microalga tóxica.

Palabras clave: *Alexandrium catenella*, *Acartia tonsa*, FAN, copépodos, nauplios, supervivencia.

La presente tesis estuvo inserta en el marco del proyecto FONDECYT 1080548.

ÍNDICE GENERAL	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Plancton	1
1.2. Fitoplancton marino	2
1.2.1. Dinoflagelados	3
1.2.2. <i>Alexandrium catenella</i>	7
1.2.3. Toxinas: efecto en los organismos marinos	9
1.3. Zooplancton marino	12
1.3.1. Copépodos	13
a. Morfología	13
b. Adaptaciones al medio marino	14
c. Clasificación	15
d. Reproducción y desarrollo	17
e. Dieta y cultivo de copépodos calanoideos	18
1.3.2. Características de Copépodos Calanoideos	19
1.3.3. Género <i>Acartia</i>	20
1.3.3.1. Especie <i>Acartia tonsa</i>	21
1.3.3.2. Ciclo de vida	23
Efecto del Consumo de fitoplancton tóxico en copépodos	23
1.4. Identificación del Problema y Marco teórico	22
1.5. Identificación del problema y marco teórico	25
2. HIPÓTESIS	26
3. OBJETIVOS	27
3.1. Objetivo general	27
3.2. Objetivos específicos	27

4. MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1. Área de estudio	27
4.2. Muestras de zooplancton	30
4.3. Cultivo de género <i>Acartia</i>	31
4.4. Medio de cultivo de microalgas	32
4.5. Diseño experimental	35
4.6. Análisis estadísticos	38
5. RESULTADOS	39
5.1. Efectos subletales y letales sobre nauplios	41
5.2. Relación entre supervivencia y concentraciones	43
5.3. Supervivencia de nauplios según las concentraciones de alimento	45
5.4. Análisis de supervivencia	49
6. DISCUSIÓN	51
7. CONCLUSIÓN	56
8. FINANCIAMIENTO	57
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁGINA
1. Morfología de dinoflagelados	5
2. Representación esquemática de <i>Alexandrium</i> sp.	7
3. <i>Alexandrium catenella</i>	8
4. Rutas de transmisión de toxinas	11
5. Características fisiológicas de los copépodos marinos	14
6. Morfología de copépodos marinos	16
7. Fases desarrollo	18
8. Estructura externa copépodo calanoideo	20
9. Identificación hembra/macho de <i>Acartia</i>	22
10. Área de estudio	29
11. Fases de cultivo	34
12. Representación del esquemática del experimento	38
13. Funciones lineales (A y B)	45
14. Curvas de supervivencia concentraciones baja (400 $\mu\text{g C L}^{-1}$)	48
15. Curvas de supervivencia concentraciones alta (800 $\mu\text{g C L}^{-1}$)	49

ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA
1. Componentes para L1 medio	33
2. Solución de elementos traza L1	33
3. f/2 Solución de Vitaminas	34
4. Concentraciones Experimentales	37
5. Resumen de datos Experimentales	40
6. Concentraciones y tablas de supervivencia de Nauplios	42
7. Correlaciones entre supervivencia y proporciones	44
8. Prueba de Mantell-Cox	51