

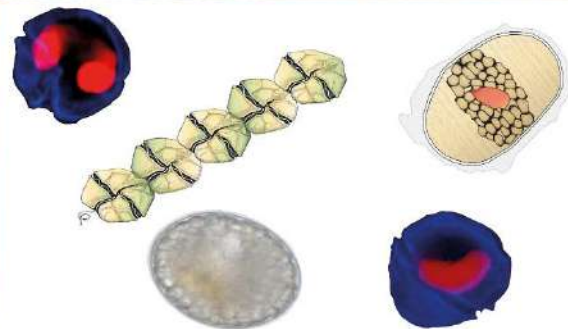


UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
DIRECCIÓN DE POSTGRADO  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS, MENCIÓN  
CONSERVACION Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

TESIS DOCTORAL

**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE QUISTES DE  
*Alexandrium catenella* EN LA PATAGONIA NOROCCIDENTAL:  
EVALUANDO EL EFECTO DE FACTORES FÍSICO-QUÍMICOS E  
INTERACCIONES BIOLÓGICAS**



Por:

Camilo Augusto Rodríguez Villegas



UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS

---

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
ESCUELA DE POSTGRADO  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS, MENCIÓN  
CONSERVACION Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE QUISTES DE *Alexandrium  
catenella* EN LA PATAGONIA NOROCCIDENTAL: EVALUANDO EL EFECTO DE  
FACTORES FÍSICO-QUÍMICOS E INTERACCIONES BIOLÓGICAS

Tesis presentada a la Universidad de Los Lagos como parte de los requisitos para optar al  
grado de Doctor en Ciencias mención Conservación y Manejo de Recursos Naturales.

Por:

Camilo Augusto Rodríguez Villegas

Profesor Guía: Dr. Patricio Díaz

Profesor Co-Guía: Dr. Daniel Varela

Comisión de Tesis: Dr. Carlos Molinet

Dra. Paulina Gebauer

Dr. Iván Pérez-Santos

Octubre, 2021

## RESUMEN

*Alexandrium catenella* es un dinoflagelado que durante las últimas décadas ha desarrollado de manera recurrente Floraciones Algales Nocivas (FAN) en el sur de Chile. Esta especie autotrófica —productora de Saxitoxinas (STXs) y agente causal del síndrome por envenenamiento de toxina paralizante de los mariscos (VPM)— posee un ciclo de vida complejo que involucra la formación de quistes de resistencia producto de la reproducción sexual. Ecológicamente, los quistes son importantes ya que permiten mantener sus poblaciones viables durante años en el sedimento, facilita la dispersión de la especie a través mecanismos naturales como su germinación/resuspensión del sedimento o por vía antropogénica como por medio de aguas de lastre. Además, son un mecanismo de resistencia frente a condiciones desfavorables y de resiliencia que por causa de la variabilidad genética permite a sus poblaciones persistir ante diversos agentes de selección natural.

Un vacío de información, considerado como prioridad en esta investigación, fue el estudio de la dinámica poblacional de los quistes de *A. catenella* en la región sur austral de Chile. Esta especie exhibe una amplia variabilidad, y diferentes registros demuestran que existen predominantemente bajas densidades de quistes de *A. catenella* en los sedimentos de fiordos y canales del sur de Chile. Diversos estudios indican que localmente su abundancia normalmente no supera los 10 quistes  $\text{cm}^{-3}$ , mientras que, en otras áreas del mundo, este valor alcanza 3000 quistes  $\text{cm}^{-3}$ . Lo enigmático de estas comparaciones es que en Chile se producen altas abundancias de quistes durante la finalización de una FAN (e.g., 2000-14000 quistes  $\text{cm}^{-3}$ ), pero un 90% de estos, desaparece del sedimento en un periodo  $\leq 90$  días.

El presente estudio, con colaboraciones interdisciplinarias locales e internacionales, incorporó diferentes aproximaciones para explicar la dinámica poblacional de los quistes de *A. catenella* observada en fiordos y canales del sur de Chile. Éstas abarcaron:

i) el análisis de la granulometría, contenido de materia orgánica total (MOT), potencial de óxido-reducción (redox), temperatura y pH del sedimento, junto con

potenciales interacciones biológicas con grupos de meiofauna (Formaninirea, Nematoda, Harpacticoida), con una perspectiva histórica de ecoregiones australes (serie tiempo de 10 años en toda la región sur-austral) y presente (Patagonia Noroccidental, con dos diferentes campañas oceanográficas que abarcaron las regiones de Los Lagos y Aysén). En este estudio, además, se describen y analizan por primera vez, muestreos de sedimento en la zona oceánica de las regiones mencionadas; áreas afectadas por diferentes episodios FAN de *A. catenella* y donde este problema es recurrente. La existencia de quistes en zonas oceánicas es una señal que debe ser considerada en la dinámica de las FAN de *A. catenella* en este sector, y que no se había considerado en otras investigaciones hasta el momento.

ii) considerando la importancia de pesquerías y de la acuicultura en la zona austral, se evaluó la acumulación pasiva y activa de quistes de *A. catenella* en redes de pesca artesanal y en choritos (*Mytilus chilensis*), durante la fase de decaimiento de una intensa FAN registrada en verano de 2009, destacando su potencial riesgo de dispersión antropogénica fundamentado en una dinámica poblacional fuente/sumidero.

iii) interacciones entre *A. catenella* y parasitoides generalistas de dinoflagelados (*Parvilucifera corolla* y *P. sinerae*), generaron nuevos horizontes para el entendimiento de los eventos FAN. Con aproximaciones de laboratorio, utilizando técnicas de cultivo *in vitro* aplicando protocolos de tinciones fluorescentes para citometría de flujo y microscopia confocal se estudió el ciclo de vida (sexualidad) que da lugar a la formación de quistes. Alta y baja proporción de hospedero/parasitoide mostró efectos relevantes en el crecimiento vegetativo y la toxicidad de *A. catenella*.

Los hallazgos descritos anteriormente, generaron nueva información que permitió la identificación de una serie de patrones de distribución y abundancia de quistes de *A. catenella* asociado principalmente a aspectos físico-químicos del sedimento e interacciones biológicas. Se discuten las implicaciones en la dinámica poblacional de *A. catenella* respecto de la ausencia de grandes bancos de quistes en la zona de estudio. Esto permite concluir un cambio de paradigma referente al patrón predictor globalmente reconocido: el que establece que las FAN se forman a partir de dichos bancos de quistes.

**Palabras clave:** Patagonia Chilena, Quistes de dinoflagelados, Meiofauna, Parasitoides generalistas, Redox.

## ABSTRACT

In the last decades, the dinoflagellate *Alexandrium catenella* have been developed recurrent Harmful Algal Blooms (HABs) in southern Chile. This autotrophic species -a Saxitoxins (STXs) producer and the causal agent of Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) syndrome- has a complex life cycle that involves the formation of the resting cyst from sexual reproduction. Ecologically, the resting cysts can be maintained viable in the sediments for many years that favours the species dispersion through natural mechanisms such as cysts germination and/or resuspension into the water column, or anthropogenically as ballast waters. Besides this, resting cysts allow coping with harsh environmental conditions and can act as resilience mechanisms owing to their genetic variability rising its persistence over natural selection agents.

The priority of this research was the population dynamics of *A. catenella* resting cysts in the south-austral region of Chile. Its abundance in recent sediments from fjords and channels showed wide variability and records from different sampling efforts indicate predominantly *A. catenella* low resting cysts densities. Several studies demonstrated that locally the resting cysts abundance mode was 10 cysts  $\text{cm}^{-3}$ , while in other areas from the world this value reach 3000 cysts  $\text{cm}^{-3}$ . The enigma behind these comparisons is that in Chile *A. catenella* resting cysts yield is higher in the bloom decline phase (e.g., 2000-14000 cysts  $\text{cm}^{-3}$ ), but around 90% of these, disappear from sediments in as long as  $\leq 90$  days.

In the present investigation, a national and international network was fundamental to include different methodological and analytical approaches focused to explain the resting cysts dynamics of *A. catenella* mainly observed in fjords and channels of the Chilean south-austral region, that encompassed:

i) the granulometry, total organic matter content (TOC), oxidation-reduction potential (redox), temperature, and pH of sediments, related to other potential biological

interactions with meiofauna groups (Foraminifera, Nematoda, Harpacticoida), in a historical perspective of austral marine ecoregions (10 years of time series sediment sampling from the south-austral region). Moreover, from a contemporary point of view, the study involves two different oceanographic campaigns from Los Lagos and the Aysén region. In this case, for the first time, we analysed sediment records from oceanic areas affected by the 2016 HAB. The presence of *A. catenella* resting cysts in the oceanic areas was a significant finding that was not considered previously in other investigations.

ii) considering the importance of the fisheries (wild and farmed) in the south-austral region, we evaluate the resting cysts accumulation role of aquaculture implements such as fishing nets and farmed *Mytilus chilensis*, during the decline phase of the 2009 HAB event. Interestingly, passive (nets) and active (*M. chilensis*) accumulate resting cysts and constitute a spreading risk of *A. catenella* to neighbouring regions based on sink/source population dynamic framework.

iii) the ecological interactions among *A. catenella* and dinoflagellates generalist parasitoids (*Parvilucifera corolla* y *P. sinerae*), develop new horizons for the understanding of HAB events, using *in vitro* techniques, toxicological analysis, and cell-staining protocols for confocal microscopy and flow cytometry. High and low host/parasitoid ratio showed relevant effects over *A. catenella* vegetative growth and toxins content.

In general terms, the findings reported here develop new information that allowed the identification of *A. catenella* resting cysts distribution and abundance patterns mainly related to sediment physical-chemical characteristic and biological interactions. Their implications framed in the *A. catenella* population dynamic are discussed creating a change of paradigm from global patterns accepted, considering that in southern Chile *A. catenella* seedbanks were not detected.

**Key words:** Chilean Patagonia, Dinoflagellate cysts, Meiofauna, Generalist Parasitoids, Redox.