

# “Historia del Huirihue en Chile”

## Florecimientos Algales Nocivos

---

Autora:  
**Carolina Luxoro**

# ÍNDICE

---

<b>I.</b>	<b>Glosario</b>	<b>Página 3</b>
<b>II.</b>	<b>Historia</b>	<b>Página 6</b>
<b>III.</b>	<b>FAN en las costas chilenas</b>	<b>Página 10</b>
<b>IV.</b>	<b>Especies causantes y sus efectos</b>	<b>Página 12</b>
<b>V.</b>	<b>Dinámica poblacional asociada las FAN</b>	<b>Página 19</b>
<b>VI.</b>	<b>Ciclo de vida de los Dinoflagelados</b>	<b>Página 20</b>
<b>VII.</b>	<b>Ciclo de vida (tentativo) de <i>Pseudochattonella</i></b>	<b>Página 23</b>
<b>VIII.</b>	<b>Principales recomendaciones de los expertos</b>	<b>Página 24</b>
<b>IX.</b>	<b>Referencias</b>	<b>Página 27</b>

## I. GLOSARIO

- ✓ **Ácido Domoico:** tipo de toxina que producen algunas diatomeas y algas rojas; tiene efecto amnésico en los humanos.
- ✓ **Ácido eicosapentaenoico:** tipo de ácido graso poliinsaturado  $\Omega 3$  (contiene 20 átomos de carbono y 5 dobles enlaces).
- ✓ **Ácido estearidónico:** tipo de ácido graso poliinsaturado  $\Omega 3$  (contiene 18 átomos de carbono y 4 dobles enlaces).
- ✓ **Antropogénica:** de origen humano.
- ✓ **Antrópicas:** relativas a los humanos.
- ✓ **Apoptosis:** muerte celular programada. Mecanismo intrínseco y autónomo de las células que les permite auto eliminarse en determinadas condiciones.
- ✓ **Azaspirácidos:** familia de toxinas producidas por dinoflagelados, solubles en solventes orgánicos (grupo químico de los éteres policíclicos) y caracterizada a partir del dinoflagelado *Azadinium*.
- ✓ **Bacillariophyta:** categoría taxonómica de microalgas fotosintetizadoras que comprende a las diatomeas; carecen de movimiento autónomo.
- ✓ **Bentónicos:** que habita o existe asociado al fondo, al bentos o fondo marino.
- ✓ **Cadena trófica:** relación alimentaria en cadena, cadena de alimentación.
- ✓ **Cardiotóxico:** tóxico para el corazón o células cardíacas.
- ✓ **Citólisis:** ruptura o lisis de la célula.
- ✓ **Citoesqueleto:** esqueleto interno de las células constituido por una red tridimensional de proteínas.
- ✓ **Diatomeas:** denominación general o coloquial para la Clase (taxonómica) Bacillariophyta.
- ✓ **Dinofisistoxinas:** tipo de toxinas que producen dinoflagelados del género *Dinophysis*.
- ✓ **Dinoflagelados:** categoría taxonómica que agrupa a una cantidad importante de microalgas, principalmente fotosintetizadoras y a veces mixótrofas, que se mueven autónomamente gracias a un par de flagelos.
- ✓ **Discoloraciones:** cambio de color. En este contexto se refiere a cambios de las tonalidades de las aguas.
- ✓ **Endocitosis:** proceso celular mediante el que se integra elementos sólidos desde el exterior al interior de las células.

- ✓ **Estuarinas:** relacionado o relativo a los estuarios.
- ✓ **Eutroficación antrópica:** eutroficación por causa de la actividad antrópica, humana; proceso dinámico de degradación de un ecosistema o desbalance de los nutrientes disponibles como consecuencia del incremento de la densidad poblacional de alguno o varios de sus componentes.
- ✓ **Ficotoxinas hidro y lipofílicas:** toxinas de origen algal o producidas por algas, solubles en agua (hidrofílicas) o en solventes orgánicos (lipofílicas).
- ✓ **Fitoflagelados:** microorganismos vegetales unicelulares que son móviles gracias a estructuras llamadas flagelos que mueven en forma de látigo.
- ✓ **Fitoplancton:** conjunto de organismos acuáticos, básicamente microscópicos, que obtienen su energía mediante fotosíntesis.
- ✓ **Hemólisis:** lisis o ruptura de glóbulos rojos.
- ✓ **Hepatotóxico:** tóxico para el hígado.
- ✓ **Hipocampo:** estructura al interior del cerebro que forma parte del sistema límbico, el cerebro emocional primitivo; entre sus funciones, están aquellas relativas a la memoria.
- ✓ **Homeostasis:** balance metabólico, conjunto de signos y estado interno de un organismo que se mantienen en equilibrio dinámico cuando se considera sano.
- ✓ **Ictiotóxico:** tóxico para los peces.
- ✓ **Miocitos:** células del músculo cardíaco.
- ✓ **Mixótrofos:** organismos que obtienen su energía alternativamente, tanto a partir de fotosíntesis como alimentándose de otros organismos.
- ✓ **Necrosis:** muerte celular y/o de tejidos, localizada.
- ✓ **Neoplásicos:** que produce desregulación del crecimiento y multiplicación celular y genera masas anormales de células.
- ✓ **Neurotoxicidad:** tóxico para el sistema nervioso o células nerviosas.
- ✓ **Pectenotoxinas:** tipo de toxinas que producen dinoflagelados del género *Dinophysis*; descubiertas a partir de intoxicaciones humanas con ostiones de la familia de los pectínidos.
- ✓ **Pelágico:** que habita o existe en la columna de agua, suspendido en la columna de agua que no está sobre la plataforma continental (habitante del pelagos).
- ✓ **Procariontes:** denominación general de enorme (bio)diversidad que designa a los microorganismos más simples que no tienen núcleo celular verdadero; es decir, sus células

no tienen compartimentos internos; categoría que contiene a los diferentes tipos de bacterias.

- ✓ **Proteínas fosfatasas:** familia de proteínas que regulan múltiples actividades celulares por ruptura de grupos fosfato.
- ✓ **Protistas:** Reino (categoría taxonómica de nivel superior) de organismos de gran (bio)diversidad, que contiene a todos aquellos organismos micro y macroscópicos que tienen verdadero núcleo celular en un compartimento delimitado y que no han sido clasificados como Hongos, Plantas o Animales.
- ✓ **Salobres:** con mayor salinidad que el agua dulce y menor que el agua de mar.
- ✓ **Taxonómica:** relativo a su clasificación. En este contexto, clasificación biológica de acuerdo con criterios de consenso utilizados por los especialistas.
- ✓ **Trofodinámico:** relativo a la dinámica de la nutrición o alimentación.
- ✓ **Tumorigénesis:** generación de tumores.
- ✓ **Yesotoxinas:** tipo de toxinas que producen dinoflagelados de los géneros *Protoceratium*, *Lingulodinium* y *Gonyaulax*, entre otros.

## II. HISTORIA

La historia del *Huirihue* o *Virigüe* en lengua mapudungún, también denominado como *Ardentía* en lengua castiza, es antigua (Rodríguez 1966, 1985). Su primer registro en Chile data de 1827 en que Poepping, un naturalista alemán, lo reporta para las costas valdivianas (Avaria, 1982). También Darwin, surcando los mares del Sur a bordo del Beagle entre 1832 y 1835, notó una particular tonalidad de las aguas tanto al Norte de la costa de Concepción, como al Sur de Valparaíso. Luego de observar muestras de esas aguas con mayor detalle, señalaba: *“Esa agua puesta en un vaso, ofrecía un color rojizo pálido; examinada al microscopio, rebullía de pequeños animalículos”*. Más adelante dice: *“En los mares que rodean la Tierra del Fuego, a poca distancia de la costa, he visto espacios donde el agua presenta un color rojo brillante”* (Yudilevich y Castor, 1996). No obstante, la más antigua asociación entre estos eventos naturales de floraciones algales y cuadros de intoxicación humana, publicada en una revista científica chilena, data de 1970 y se refiere a un evento acaecido en el Seno de Reloncaví (Guzmán y Campodónico, 1975).

Actualmente, este mismo fenómeno que ocurre en condiciones naturales - por causa de una intrincada interacción de múltiples factores - se conoce ampliamente con la poco afortunada e imprecisa denominación de Marea Roja. Porque no todas las discoloraciones de las aguas que impactan nocivamente a los ecosistemas y/o provocan consecuencias negativas sobre actividades humanas, son rojizas; de hecho, también hay discoloraciones conocidas como marea café, y porque no en todas las aguas que adquieren esas tonalidades por multiplicación explosiva de microorganismos, se genera alteraciones negativas para los ecosistemas. Entonces, para designar este fenómeno, actualmente de distribución geográfica global, se utilizará de aquí en más la denominación empleada por los expertos, de Floraciones (o Florecimientos, *blooms*) Algales Nocivas (FAN).

**Las FAN se definen como proliferaciones desmesuradas de microorganismos fotosintetizadores o mixótrofos acuáticos, que tienen lugar en lapsos relativamente cortos. Constituyen eventos naturales de desbalance de la dinámica poblacional de una o dos especies del fitoplancton, que en tanto y cuanto nocivas, provocan impacto negativo a nivel de ecosistemas y en consecuencia, afectan estructuras sociales, sanitarias, políticas y económicas específicas de un país o región.**

Sus efectos se concretan en un muy variado rango de los niveles de organización biológica y pueden alterar directa y dramáticamente la vida de invertebrados, vertebrados, la salud humana y diversas actividades socio-económicas (Smayda 1997). Ya desde hace más de veinte años, se reporta su expansión como un proceso global en las aguas costeras alrededor del mundo (Anderson 1989; Hallegraef 1995, Smayda 1997a, Heisler y cols., 2008; Anderson y cols. 2012).

Luego de miles de eventos nocivos registrados a lo largo y ancho del planeta y citados incluso entre las Plagas Egipcias que menciona la Biblia (Éxodo, VII, 20-21), es de amplio conocimiento que no todos ellos provocan cambios en la coloración de las aguas; operacionalmente se habla de FAN cuando el florecimiento sobrepasa un determinado umbral, ya sea en la densidad de una o dos especies potencialmente nocivas del fitoplancton y/o en la concentración de toxina(s) específica(s), producida por dichas especies, en el agua (Smayda, 1997 a y b).

De acuerdo con el tipo de impacto que las FAN ocasionan, es posible clasificarlas en tres grupos principales:

1. **Impactos en ecosistemas:** La mayor y más compleja categoría de efectos incluye a aquellos en los cuales se produce impacto ecológico, obviamente *in situ*; las especies causantes afectan parcial o severamente la fisiología y homeostasis de otras especies, incluso provocándoles la muerte; es el caso de masivas mortandades de peces, invertebrados y mamíferos, en condiciones naturales (Glibert y cols. 2014; Pyenson y cols., 2014). La disrupción del equilibrio trofodinámico y la forma en la que las FAN subyacen en la variabilidad de eventos catastróficos naturales es uno de sus aspectos más relevantes, que además se ha ido complejizando al paso de los años; ello a consecuencia del efecto de la globalización geográfica del problema, el incremento de la eutroficación antrópica, el uso y abuso de las zonas costeras y también debido al incremento del conocimiento en el área, que ha ido progresivamente incluyendo diversos elementos inicialmente menos conocidos (Smayda 1977b, 2008; Coper y cols. 1987; Glibert y cols. 2005a y b; Heisler y cols., 2008; Anderson y cols. 2012). Aun cuando su enorme relevancia, el impacto cuantitativo y cualitativo de las microalgas nocivas sobre el ecosistema es complejo de evaluar, dada su magnitud y complejidad; afortunadamente, su comprensión ya se aborda desde la perspectiva global.

Desde fines de los años 80, diversas instancias de cooperación internacional y agencias gubernamentales a lo ancho del mundo, han implementado programas específicos cuyo principal objetivo ha sido incrementar el conocimiento sobre las FAN y sus efectos en diferentes niveles. Entre esas agencias, figuran la *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)* de UNESCO, el *International Council for Exploration of the Seas (ICES)*, el *Scientific Committee for Oceanic Research (SCOR)*, el Programa de la Unión Europea y el Asia Pacífico para la Cooperación Económica (APEC) y el Programa *ECology and Oceanography of Harmful Algal Blooms (ECOHAB)*<sup>1</sup>. En Chile, el Comité Oceanográfico Nacional (CONA) a través de su grupo de trabajo multidisciplinario sobre FAN, elaboró un Plan Nacional Sobre Floraciones de Algas Nocivas en 1994; su objetivo fue abordar las contingencias ocurridas en esa época, en razón al incremento de la frecuencia de este fenómeno, especialmente en las zonas australes de fiordos y canales, especialmente en relación al uso y abuso de las aguas costeras por la industria acuícola (Avaria y cols., 1999).

2. **Impactos en individuos / organismos:** Envenenamiento de invertebrados y vertebrados marinos y de humanos, como consecuencia del consumo, directo o indirecto, de fitoplancton tóxico en alguno de los eslabones de la cadena trófica (Fig. 1) (Anderson 1989; Hallegraeff, 1995; Pyenson y cols., 2014). Diversas ficotoxinas hidro y lipofílicas se van concentrando a partir de los filtradores, consumidores primarios de fitoplancton, a lo largo de la cadena trófica; así, el potencial nocivo de del fitoplancton se va incrementando progresivamente a medida que se asciende en los niveles tróficos, constituidos por los diversos vectores involucrados. Entre los efectos celulares de las toxinas sobre los organismos afectados, hay citólisis, apoptosis, hemólisis, necrosis, neurotoxicidad y tumorigénesis, lo cual desestabiliza la homeostasis celular y provoca finalmente la muerte si la exposición a ellas, en cantidad y tiempo, ha sido suficiente (Daneshian y cols., 2013). En Chile, el impacto de las FAN sobre la salud humana se ha abordado a través de diferentes estrategias y decisiones tomadas a nivel del gobierno central. A partir de 1995, el Ministerio de Salud (MINSAL) implementa el Programa Nacional de Vigilancia de Fenómenos Algales Nocivos, con carácter de permanente (Ord.4B/6518). En marzo de 2007, se realiza el convenio entre el Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca) y la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile para que el Laboratorio de Toxinas Marinas de esta última, se constituya como Laboratorio de Verificación Oficial para Toxinas Marinas, para

---

<sup>1</sup>The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. A National Research Agenda. [Extraído el 9 de noviembre de 2016]. Disponible en: <https://www.whoi.edu/science/B/redtide/nationplan/ECOHAB/2.ECOHABProgram.html>

el Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos y Programa de Aseguramiento de la Calidad en Plantas de Proceso (Resolución N° 195). La sede Santiago del Laboratorio de Toxinas Marinas, existe desde 1994 y en 2002 abre una segunda filial en Castro<sup>2</sup>.

3. **Impactos en individuos / organismos:** Pérdidas económicas considerables que afecta la estructura sociopolítica y sanitaria a nivel de países y regiones, que recaen sobre actividades específicas como la acuicultura, pesquerías y turismo. Ello, principalmente como consecuencia de mortandades masivas de peces en cultivo, alteraciones de sus rutas migratorias y mortalidades masivas de invertebrados que sostienen la economía en localidades determinadas (Shirota, 1989; Hoagland y Scatasta, 2006; Aqua, 2016<sup>3</sup>).



**Fig. 1.** Varazón de Machas en la Región de Los Lagos, durante el episodio de mayo de 2016. Foto de la Armada de Chile. Fuente Emol<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Laboratorio de Toxinas Marinas. Facultad de Medicina – Universidad de Chile. [Extraído el 9 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://labtox.cl/>

<sup>3</sup> Subpesca. Gobierno extiende bono por Marea Roja. [Extraído el 9 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.subpesca.cl/sitioprensa/614/w3-article-94669.html>  
<https://www.salmonexpert.cl/noticias/detallan-perdidas-por-bloom-de-algas/>.

<sup>4</sup> Emol. "Minsal investiga tres casos de intoxicación por marea roja en Puerto Montt". [Extraído el 9 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/05/07/801698/Minsal-investiga-tres-casos-de-intoxicacion-por-marea-roja-en-Puerto-Montt.html>

### III. FAN EN LAS COSTAS CHILENAS

La investigación en el ámbito de las FAN y el registro disponible de los eventos acaecidos en Chile son heterogéneos y en algunos casos éste no es muy sistematizado; ello se debe a la gran diversidad de aspectos que abordan los estudios y los énfasis que otorgan sus autores. Existe abundancia de publicaciones que proveen información de variada índole, según los ámbitos de interés y objetivos de sus diversos autores. Los hay investigadores, académicos, profesionales y técnicos expertos. La información disponible incluye tesis doctorales (Luxoro, 2001; Del Campo, 2014), abundantes artículos de investigación original (Rodríguez, 1966; Campodónico y Guzmán 1974; Guzmán y Campodónico, 1978; Avaria, 1982; Rodríguez 1985; Uribe y Ruiz, 2001; Molinet y cols., 2003; Seguel y cols., 2005, 2010; Álvarez y cols. 2010; Pizarro y cols., 2011; Del Campo y cols., 2013; Alves de Sousa y cols. 2014; García y cols. 2015; Engesmo y cols. 2016; Mardones y cols., 2016; Apablaza y cols. 2017; Tillmann y cols. 2017) y libros (Palma y Kaiser, 1993; Suárez y Guzmán 1998; Suárez Isla y cols. 2002; Rodríguez, 2004; Lembeye, 2008). También existen numerosas notas y noticias en revistas especializadas (Mardones y cols. 2010, 2012; Cabello y Godfrey 2016; Clément y cols., 2016), una asesoría técnica solicitada por el parlamento nacional (Vivanco, 2016), informes varios elaborados por especialistas mandatados por servicios públicos como el MINSAL) y el Ministerio de Economía Fomento y Turismo (Avaria y cols., 1999; MINSAL-ISP, 2006; Buschmann y cols., 2016; INDH, 2016) o solicitados por entidades privadas, ante situaciones de contingencia específica relativas a sus intereses, como la Global Aquaculture Alliance™ (Anderson y cols., 2016). Adicionalmente, existe literatura especializada solicitada por Organizaciones No Gubernamentales (Buschmann 2005).

Los informes anuales del Programa Nacional de Vigilancia de FAN, entre 2002 y 2013, están disponibles en la página web del Instituto de Salud Pública<sup>5</sup> y en diversas páginas web nacionales; no se ha encontrado un registro unificado de todos estos informes.

Según reporta Rodríguez (1985), entre el primer avistamiento de Poepping en 1827 y 1985, se produjeron cerca de 50 eventos de FAN en diferentes localidades de las costas chilenas, entre Arica a Punta Arenas. Como se mencionó, el primer registro de intoxicación humana asociada a

---

<sup>5</sup> ISP Chile. Informes Programa Marea Roja 2002 – 2009 [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <http://www.ispch.cl/informes-programa-marea-roja-2002-2009>

una floración algal lo proveen Guzmán y Campodónico (1979) para la región de Magallanes en 1970; para la zona central, los registros se inician en Valparaíso durante ese mismo año (Avaria y Muñoz, 1982). Un detallado análisis de Avaria y cols. (1999) amplía el rango de los informes hasta 1996, donde reportan 133 eventos de Florecimientos Algales entre Arica y Magallanes, aunque no en todos ellos las especies de microalgas involucradas fueron tóxicas. A contar de 1990, se observa un notorio incremento de los registros de FAN en Chile (Avaria y cols., 1999; Vivanco, 2016). Entre 1972 y 2009, se reportan 32 eventos de FAN tóxicos (Vivanco, 2016); destaca aquel ocurrido ese último año, el cual desde zonas costeras interiores relativamente acotadas, se extendió hacia zonas más abiertas al océano (Mardones y cols., 2010).

En Chile, los eventos FAN han adquirido mayor notoriedad mediática desde que comenzaron a afectar a la economía debido a su impacto directo sobre la acuicultura. El ingreso al país de especies exóticas de interés acuícola se inicia en 1850<sup>6</sup>, ya en 1910 se introducen alevines de salmónidos en la región de Valparaíso y en diversos cauces fluviales del Sur de Chile, aunque la implementación de un programa de cooperación con Japón, focalizado en las Regiones de Aysén y Magallanes y destinado a introducir sistemáticamente salmones en el país data del año 1969 (Salgado Reyes, 2005). Las FAN en Chile, comienzan a reportarse más sostenidamente en relación a dicha actividad productiva, en los inicios de su mayor auge durante los años 1980. Algunas de las especies de microalgas que generan estos fenómenos, comenzaron a detectarse solamente a partir de la instalación de la salmonicultura en los fiordos del Sur de Chile (Mardones y cols. 2012). Un FAN ictiotóxico histórico del tipo marea café, provocado por *Heterosigma akashiwo*, fue reportado durante la primavera de 1988 en la Región de Los Lagos; en esa ocasión se generaron pérdidas económicas de gran consideración para la salmonicultura (Avaria y cols., 1999). Sucesos similares se repitieron en 2000, 2002, 2004, 2005, 2009 y 2011, aunque con menor notoriedad e impacto que el de 1988 (Mardones y cols., 2012). La marea café ocurrida en 2004, fue más extensa geográficamente y abarcó la zona más al Norte del mar interior de Chiloé, el Centro-Sur de la isla, la zona de Calbuco, el Seno de Reloncaví y hasta el Seno de Quintupeu; ésta provocó severa intoxicación de salmones en cultivo en dichas áreas. En el evento de 2011, se detectó co-ocurrencia de los fitoflagelados *H. akashiwo* y *Pseudochattonella verruculosa* (Mardones y cols., 2012).

---

<sup>6</sup>SalmonChile. Historia en Chile [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <http://www.salmonchile.cl/es/historia-en-chile.php>

A fines del verano y durante el otoño de 2016, se produjo el FAN que mayor impacto registra la historia para Chile y aun cuando no constituye el único evento nocivo de intensidad significativa y amplia extensión geográfica conocido (Molinet y cols., 2003; Mardones y cols., 2010), es el que mayor impacto mediático y difusión ha tenido (Clément y cols., 2016; Buschmann y cols., 2016; Anderson y cols., 2016). Dicho suceso, no sólo representó un incremento de la extensión geográfica de los FAN que tradicionalmente se había observado en el país, pues desde las costas chilotas alcanzó hasta la Región de Los Ríos por el Norte, sino que tuvo además un catastrófico impacto social sobre algunas comunidades costeras de la isla de Chiloé, cuya economía dependía casi exclusivamente del cultivo, la extracción y comercialización de los recursos naturales directamente afectados (INDH, 2016; Aqua, 2016). Ello, obligó a las autoridades centrales primero, a prohibir la extracción de las principales fuentes de sustento económico de dichas comunidades entre las Regiones de Aysén a Los Ríos, como medida preventiva (Buschmann y cols., 2016) y luego, a decretar estado constitucional de catástrofe (Decreto 499 de abril de 2016). Ello, con la consecuente asignación de recursos económicos en la forma de subsidios directos (bonos en dinero) a cerca de 6000 familias afectadas, durante casi 8 meses en once comunas; su objetivo fue paliar de algún modo, el creciente descontento social que se generó en la zona más afectada que fue la Isla de Chiloé (INDH, 2016; Aqua, 2016). Según los especialistas indican, dicho megaevento tuvo lugar en dos etapas sucesivas: la primera a partir de la mitad de enero de 2016, un FAN tipo marea café, con un impacto directo sobre peces de cultivo, especialmente en el Seno de Reloncaví, provocado por florecimiento de un fitoflagelado dictiocophyceo (*Pseudochattonella* cf. *verruculosa*) y la segunda a partir de marzo de 2016, un evento provocado por un fitoflagelado dinophyceo (*Alexandrium catenella*), amplia y mundialmente conocido por su toxicidad que puede ser fatal para humanos y otros mamíferos (Buschmann y cols. 2016; Anderson y cols. 2016).

#### **IV. ESPECIES CAUSANTES Y SUS EFECTOS**

De las aproximadamente 4500 especies de fitoplancton descritas, y que pertenecen a diversos grupos taxonómicos, sólo alrededor de 300 producen FAN y ello puede ocurrir por florecimientos de una, o menos frecuentemente más de una, especie(s) ocurriendo simultáneamente (Anderson, 1989; Hallegraeff, 1995; Smayda 1997a y b).

La clasificación taxonómica actual, ubica a estos microorganismos en los Dominios Bacteria y Eukarya (Woese y cols., 1990; Van den Hoek y cols. 1995); la inmensa mayoría son microalgas de las Divisiones Dynophyta a la que pertenecen los dinoflagelados y Bacillariophyta, a la que pertenecen las diatomeas. También, hay otros protistas del Phylum Ciliophora y organismos procariontes como Cyanobacteria. La diversidad de estos microorganismos es notable, puesto que se integran en el grupo de las especies potencialmente nocivas por ser generadoras de FAN, lo cual no constituye *per se* una característica taxonómica, un clado o linaje filético, sino más bien dicha agrupación obedece a una necesidad operacional de clasificarlas y conocerlas, desde la perspectiva del impacto que provocan sobre ecosistemas, comunidades y muy particularmente sobre las personas. Los microorganismos que generan FAN pueden tener o carecer de la capacidad de sintetizar diferentes ficotoxinas. La nocividad a la que aluden los sucesos FAN, dice relación con su capacidad de impactar negativamente al ecosistema cuando afectan a diversos organismos animales, incluidos los humanos. El tipo de impacto también obedece a esta diversidad y puede ocurrir por efecto directo de sus ficotoxinas sobre diferentes animales especialmente vertebrados, por acción mecánica sobre organismos que respiran mediante branquias que son funcionalmente alteradas por la gran densidad de microorganismos presentes en las aguas, o también, por la depleción de nutrientes provocada por las enormes densidades de microorganismos que los requieren en su proliferación explosiva (Hallegraeff, 1995; Smayda, 1997 a y b). Naturalmente, ninguna de estas alternativas es excluyente entre sí. El efecto nocivo sobre diversas actividades antrópicas, es consecuencia del impacto inicial sobre los ecosistemas acuáticos. Por lo anterior, hay FAN tóxicas y no tóxicas que impactan negativamente en ecosistemas y actividades antrópicas. Los FAN, pueden producirse en cualquier ecosistema acuático que incluya a estos microorganismos, ya sea en aguas dulces, estuarinas, salobres o marinas. Para Chile no se conoce, reportados como tales, eventos de FAN ocurridos en agua dulce, por lo cual toda la información que se provea corresponderá a eventos acaecidos en la costa, incluidas zonas estuarinas como los fiordos del Sur del país, cuyas aguas tienen menor salinidad que aquella registrada normalmente en aguas marinas y proveen condiciones óptimas para los FAN.

En Chile, las especies causantes de FAN más importantes son dinoflagelados tóxicos como *Alexandrium catenella* (Whedon y Kofoid) Balech, que provocan extensas y viscosas mareas rojas especialmente en las Regiones de Los Lagos y Aysén (**Tabla 1**); otros dinoflagelados tóxicos

presentes en diversas localidades del Norte, Centro y Sur del país, son *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *Protoceratium reticulatum*, especies del género *Prorocentrum* y especies del género *Gymnodinium* conocidas por generar mareas café (Guzmán y Campodónico, 1975; Muñoz y cols. 1990; Suárez y Guzmán 1998; Avaria y cols., 1999; Uribe y Ruiz, 2001; Rodríguez, 2004; Seguel y Sfeir, 2010; García y cols., 2015); se ha reportado también la presencia de la diatomea tóxica *Pseudonitzschia australis* Frenguelli (Suárez-Isla y cols., 2002; Álvarez y cols. 2009). Fitoflagelados pertenecientes a la División taxonómica Heterokontophyta, Clase Dictiochophyceae como *Pseudochattonella* cf. *verruculosa* y el mixótrofo de la Clase Raphidophyceae, *Heterosigma akashiwo*, reconocidos como ictiotóxicos y generadores de mareas café, se han reportado para fiordos de la zona del Golfo de Ancud y el de Reloncaví, Calbuco y Quintupeu, entre otras (Avaria y cols. 1999; Mardones y cols., 2012; Buschmann y cols. 2016). Con cierta frecuencia, la presencia de especies de microalgas nocivas, aparentemente no detectadas previamente en el país se reporta en diversos medios de prensa y de divulgación<sup>7</sup>; no obstante, en muchas de estos nuevos registros lo que ocurre es que la especie o el género ha sido re-identificado o rectificado por los expertos, para organismos acerca de los cuales ya se tenía información de su presencia con otra denominación.

Las toxinas que producen estos microorganismos se han aislado y caracterizado químicamente, a partir de cultivos de las microalgas tóxicas, de muestras de sus quistes y de fitoplancton extraídas en terreno y de venenos detectados en moluscos filtradores, que al alimentarse concentran las microalgas<sup>8</sup> (Ono y cols., 2000; Marshall y cols. 2003; EFSA, 2008; Seguel y Sfeir, 2010; Pizarro y cols., 2011; Del Campo y cols., 2013; Daneshian y cols., 2013; García y cols. 2015; Eckford-Soper y Daugbjerg, 2016b; Tillmann y cols. 2017). La descripción y clasificación de estas toxinas, se ha realizado según su efecto sobre la salud humana y sobre los peces (**Tabla 1**); para un análisis exhaustivo de las diversas ficotoxinas ver Daneshian y cols. (2013). El MINSAL, ha establecido normas que definen concentraciones umbral de algunas de estas toxinas, permitidas en la carne de invertebrados de consumo humano, sobre los cuales la autoridad sanitaria está facultada para tomar decisiones sanitarias como prohibiciones de extracción y comercialización de estos recursos marinos (Tabla 1).

---

<sup>7</sup> Sernapesca. Crucero científico en buque naval confirmó presencia de alga nociva en aguas del Golfo de Penas. [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: [http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2277:crucero-cientifico-buque-nava-confirmando-presencia-alga-nociva-aguas-golfo-penas&catid=1:ultimas&Itemid=69](http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=2277:crucero-cientifico-buque-nava-confirmando-presencia-alga-nociva-aguas-golfo-penas&catid=1:ultimas&Itemid=69)

<sup>8</sup> Laboratorio de Toxinas Marinas. ¿Qué es la marea roja? [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: [http://labtox.cl/?page\\_id=42](http://labtox.cl/?page_id=42)

En Chile, se ha descrito el **Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM)** constituido por saxitoxina (STX) y producido solamente (en Chile) por *A. catenella*. La STX, es una potente toxina que provoca parálisis muscular y por consecuencia, asfixia. Esta toxina, se une de manera covalente e irreversiblemente a los canales de sodio en la sinapsis neuromuscular e impide la comunicación entre nervios y músculos en los vertebrados (Ritchie y Rogart, 1977; Daneshian y cols., 2013; Suárez-Isla, 2015). Diversos eventos de intoxicación con VPM han provocado numerosos casos fatales en humanos; según consigna la prensa, entre 1970 y 2016 se habían registrado 23 muertes por esta causa<sup>9</sup>.

El veneno conocido hasta hace una década como **Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM)** actualmente forma parte de las toxinas lipofílicas (EFSA, 2008) y contiene cuatro componentes principales:

- i.) El grupo constituido por el Ácido Okadaico (AO), más dinofisistoxinas (DTX1, DTX2 y DTX3) que efectivamente tienen efecto diarreico, además de tumorigénico (Daneshian y cols., 2013; Del Campo y cols. 2013) y en Chile es producido por dinoflagelados del género *Dinophysis* (Seguel y Sfeir, 2010);
- ii.) El grupo de las yesotoxinas (YTXs), que tendrían efecto cardiotoxico a través de la modulación intracelular del ión  $Ca^{+2}$ , confirmado para miocitos en cultivo, pero no verificado en humanos (Daneshian y cols. 2013); los dinoflagelados asociados a síntesis de yesotoxinas para Chile son *Protoceratium reticulatum*, *Lingulodinium polyedrum* y *Gonyaulax spinifera*<sup>10</sup> (Avaria y cols., 1999; Seguel y Sfeir, 2010);
- iii.) El grupo de las pectenotoxinas (PTXs), producidas también por *Dinophysis* spp., tendrían efecto en hepatotóxico, verificado en ratones, aunque no se ha descrito en humanos y su efecto se puede confundir con el del AO puesto que la intoxicación con ambas toxinas parece ocurrir simultáneamente (Daneshian y cols. 2013) y
- iv.) El grupo de los azaspirácidos AZA1 AZA2 y AZA3, que en humanos provoca cuadros diarreicos; los azaspirácidos son producidas por dinoflagelados del género *Azadinium*, de los cuales en Chile se ha reportado *A. poporum* (Tillman y cols., 2017) y también presencia de

---

<sup>9</sup> T13. Qué es la marea roja por la que declararon zona de catástrofe en el sur del país [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <http://www.t13.cl/noticia/nacional/que-es-marea-roja-declararon-catastrofe-sur-del-pais>

<sup>10</sup> Laboratorio de Toxinas Marinas. ¿Qué es la marea roja? [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: [http://labtox.cl/?page\\_id=42](http://labtox.cl/?page_id=42);

AZA1 para bivalvos provenientes de la región de Coquimbo, no obstante en ese último caso, no fue asociado a presencia de alguna especie determinada de dinoflagelado (Álvarez y cols., 2010).

En general, todas estas toxinas alteran el funcionamiento de diversas proteínas fosfatasa que participan en la regulación de múltiples funciones celulares; se relacionan también con la muerte celular programada o apoptosis y algunas de ellas con procesos neoplásicos (Takai y cols., 1992; Del Campo, 2013). Se ha reportado que además los azaspirácidos afectan el citoesqueleto, a procesos celulares como la endocitosis y la concentración intracelular de  $Ca^{+2}$ , entre otros efectos (Daneshian y cols. 2013).

El Ácido Domoico (AD), es el principal componente del **Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM)**; en Chile, la especie de microalga que produce esta toxina es la diatomea *Pseudonitzschia australis* Frenguelli (Suárez y Guzmán, 1998); aunque en el país no se ha reportado casos de intoxicaciones humanas con AD, la especie es potencialmente nociva y se ha registrado para las Regiones de Atacama, Coquimbo y el Sur de la región de Aysén, entre otras (Avaria y cols., 1999; Seguel y Sfeir, 2010; Álvarez y cols., 2009). El AD puede causar daño en el bulbo olfatorio, el hipocampo y el tallo cerebral, en el Sistema Nervioso Central; diversos efectos aparecen a diferentes tiempos posteriores a la exposición; éstos ocurren por interacción con receptores de diversos neurotransmisores provocando inicialmente amnesia y alucinaciones. Posterior a los primeros efectos, en humanos aparecen síntomas gastrointestinales, náuseas y puede conducir al estado de coma. La unión de AD con diversos receptores neuronales provoca desbalance de la homeostasis de  $Ca^{+2}$  intracelular y con ello, las neuronas se necrosan o mueren por apoptosis (Daneshian y cols. 2013).

La toxicidad del fitoflagelado *Pseudochattonella verruculosa* (Hara y Chihara) Tanabe-Hosoi, Honda, Fukaya, Inagaki y Sako (= *Chattonella verruculosa* Hara y Chihara) parece variar entre diferentes cepas y hasta no hace mucho tiempo, se dudaba de que fuera realmente tóxico; a ello se agrega, según los especialistas, la dificultad para su correcta identificación (Skjelbred y cols., 2011; Mardones y cols., 2012; Eckford-Soper y Daugbjerg, 2016a); algunas cepas efectivamente no provocan mortalidad masiva de peces al ser expuestos a ellas. No obstante, hay evidencia de daño al metabolismo celular y a las branquias de crías (*smolts*) de salmón expuestas experimentalmente

a altas densidades de *P. verruculosa* (Skjelbred y cols., 2011); MacKenzie y cols., (2011) reportan efecto ictiotóxico masivo sobre salmones enjaulados, en cultivos localizados en una bahía natural de Nueva Zelandia. Se ha descrito que esta especie produce ácidos grasos omega 3 como metabolitos secundarios, entre los cuales ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido estearidónico (STA) que tienen efecto ictiotóxico (Marshall y cols. 2003; Skjelbred y cols., 2011), aunque el mecanismo de acción de éstos como toxinas aún es desconocido. Entre sus consecuencias, se menciona que irritan las branquias de los peces y estimulan secreción excesiva de mucosidad, lo que altera y finalmente impide, el adecuado intercambio de oxígeno con el medio (Eckford-Soper y Daugbjerg, 2016b).

Como se ya se mencionó, *P. verruculosa* fue la Dictyocophyceae que originó la primera fase del megaevento FAN acontecido en verano de 2016 entre Chiloé y Los Ríos (Clément y cols., 2016; Buschmann y cols., 2016; Anderson y Rensel, 2016) y cuyas enormes pérdidas son complejas de estimar (Hoagland y Scatasta 2006) puesto que abarcan desde el impacto socio-económico sobre las comunidades de pescadores locales, directamente dependientes de los recursos marinos afectados y sobre diversos gremios dependientes de la actividad turística, a las grandes empresas acuícolas que tuvieron detrimento de varios cientos de millones de dólares (Aqua, 2016). A lo anterior se debe agregar, si es que fuese estimable, el impacto sobre los ecosistemas y el efecto que representó en términos de los recursos económicos que el estado tuvo que destinar a mitigar la catástrofe, así declarada oficialmente, para los habitantes de la región afectada.

**Tabla 1. Especies Causantes de FAN, Toxinas asociadas y sus Efectos**

Espece o género causante de FAN	Toxina y Efecto	Norma Chilena	Referencias
<i>Alexandrium catenella</i> (dinoflagelado tóxico)	Saxitoxina, VPM mortal para humanos	80µg/100 g de carne de mariscos	<a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Daneshian y cols., 2013
<i>Dinophysis acuta</i> , <i>D. acuminata</i> (dinoflagelados tóxicos)	Ácido Okadaico y otras Dinofisistoxinas: DTX-1 y DTX-2. Efecto diarreico, AO es un agente supresor de tumores. VDM	160 µg Equivalentes de AO/Kg carne de marisco	<a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Seguel y Sfeir, 2010 <a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Del Campo y cols., 2013
<i>Dinophysis</i> (dinoflagelado tóxico)	Pectenotoxinas: PTX1 y PTX2. Serían hepatotóxicas, aunque ello no ha sido confirmado para humanos; igualmente son biotoxinas bajo regulación sanitaria.	160 µg Equivalentes de AO + PTX/Kg carne de marisco	<a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Seguel y Sfeir, 2010 <a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Daneshian y cols., 2013
<i>Azadinium spp.</i> <i>A. poporum</i> (dinoflagelado tóxico)	Azaspirácidos: AZA1, AZA2 y AZA3. Efecto diarreico. VDM	160 µg Equivalentes de AZA/Kg carne de marisco	<a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Tillmann y cols., 2017 <a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Daneshian y cols., 2013
<i>Protoceratium reticulatum</i> <i>Lingulodinium polyedrum</i> <i>Gonyaulax spinifera</i> (dinoflagelados tóxicos)	Yesotoxinas: YTX, 45-OH-YTX, homo-YTX, 45-OH-homo-YTX (VDM). Serían cardiotóxicas, aunque ello no ha sido confirmado para humanos; igualmente son biotoxinas bajo regulación sanitaria.	3,75 mg Equivalentes de YTX/Kg carne de marisco	<a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Seguel y Sfeir, 2010 <a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Daneshian y cols., 2013
<i>Pseudonitzschia australis</i> (diatomea tóxica)	Ácido domoico (AD). Síntomas gastrointestinales al inicio del cuadro y posteriormente pérdida de memoria, confusión y desorientación. VAM	20 µg/g de carne de marisco.	<a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> <a href="http://labtox.cl/?page_id=42">http://labtox.cl/?page_id=42</a> Daneshian y cols., 2013
<i>Pseudochattonella verruculosa</i> (dictiophyta ictiotóxica)	EPA, STA. Ictiotoxinas, no descrita como tóxica para humanos	No hay	Marshall y cols. 2003; Skjelbred y cols., 2011; Eckford-Soper y Daugbjerg, 2016
<i>Heterosigma akashiwo</i> (rafidophyta ictiotóxica)	HATx-I, HATx-II, HATx-III, HATx-IV, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Ictiotoxinas, no descrita como tóxica para humanos	No hay	Ono y cols., 2000; Twiner y Trick, 2000

Las Raphidoficeas, son micro-fitoflagelados entre los cuales figura *Heterosigma akashiwo* (Hada) Hada ex Hara y Chihara, un fitoflagelado mixotrófico que produce mareas café; su identificación y clasificación taxonómica la situó inicialmente entre los dinoflagelados; actualmente se reconoce como una Raphidofita neuro-ictiotóxica (Hara y Chihara 1987; Ono y cols., 2000; Twiner y Trick, 2000). Este pequeño fitoflagelado, fue la especie causante de una FAN significativamente dañina para salmones en centros de cultivo, en aguas interiores de la región de Los Lagos en la primavera de 1988. Para la época, el impacto económico de ese evento provocó pérdidas cercanas a los 11 millones de dólares a la empresa salmonera (Avaria y cols. 1999). Los mecanismos mediante los cuales este fitoflagelado provoca toxicidad no están completamente dilucidados, aunque se sabe que es capaz de producir cantidades importantes de peróxido de hidrógeno que puede ser lo que provoca asfixia en los peces (Ono y cols., 2000; Twiner y Trick, 2000).

## V. DINÁMICA POBLACIONAL ASOCIADA LAS FAN

La dinámica de las poblaciones de microalgas y demás microorganismos causantes de FAN, revela que la génesis de los florecimientos no es un proceso simple, motivo por el cual su predicción con un grado razonable de certidumbre, no es trivial. Múltiples elementos, además de la obvia disponibilidad de los nutrientes que requiere el fitoplancton y otras especies involucradas para proliferar de manera explosiva, se interrelacionan para generar condiciones de florecimiento de una, o dos, determinada(s) especie(s); eso no necesariamente lleva a una mayor biosíntesis de toxinas por parte de la especie predominante. La asociación de FAN con eutroficación ambiental es una hipótesis que cuenta con sólida evidencia, ha sido propuesta con frecuencia y actualmente, existe cierto nivel de consenso al respecto entre los especialistas (Riegman, 1998; Anderson y cols., 2002; Glibert y cols., 2005; GEOHAB, 2006; Glibert y Burkholder, 2006; Heisler y cols., 2008). Una excelente revisión, que incluye diversos elementos que intervienen en la eutroficación y sus efectos es la de Smayda (2008). No obstante, el autor señala que dicha hipótesis caería en el reduccionismo de limitar la influencia antropogénica en el incremento de nutrientes en el ambiente (por ejemplo como consecuencia de las actividades acuícolas), a un simple modelo de estímulo y respuesta sin tener en cuenta las complejas relaciones eco-fisiológicas que provocan la proliferación explosiva de una especie particular del fitoplancton. Para evitar las ambigüedades relativas a la definición operacional que el término pudiera tener, y así mejorar las recomendaciones para el uso y manejo de los ecosistemas, la precisión del análisis de la información y sobretodo, en orden a dirigir el foco de la investigación para la generación de conocimiento, este autor recomienda considerar la eutroficación como un proceso que puede tener diversos finales y por ende, consecuencias; según él, es más conducente tener en cuenta la eutroficación como un proceso dinámico más,

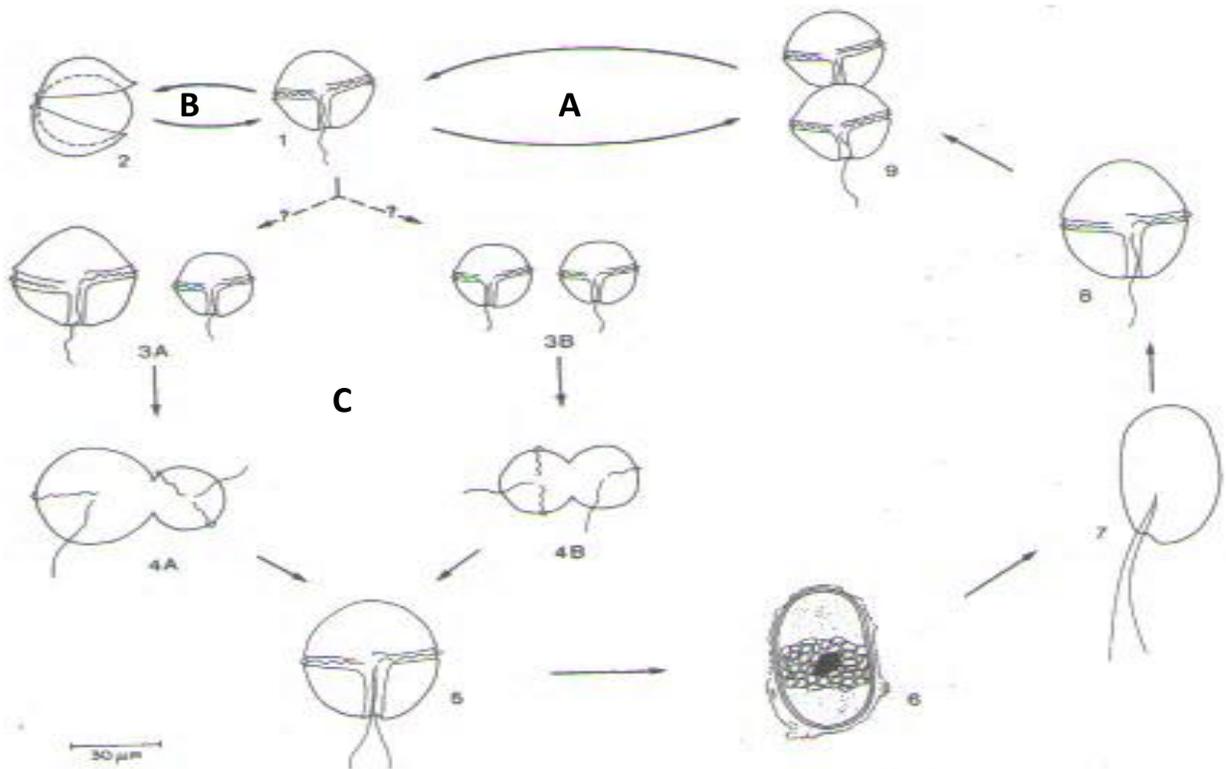
que como un estado sucesional terminal de los ecosistemas resultante en agotamiento o desbalance de nutrientes como consecuencia de altas densidades poblacionales alcanzadas. Si se considera el proceso de eutroficación, como elemento determinante de FAN, es preciso tener presente que existe más de un elemento que relaciona ambos fenómenos, especialmente cuando se refiere a especies capaces de producir toxinas. La eutroficación antrópica o cultural, que con frecuencia es uno de los impactos de la industria acuícola, básicamente representa enriquecimiento de Nitrógeno y Fósforo en las aguas costeras o mares interiores (Riegman 1998; Yamamoto, 2003); no así de silicatos, componentes esenciales de paredes celulares de diatomeas. Por lo tanto, tendría un impacto más directo sobre el incremento poblacional de dinoflagelados y otras especies que no dependen de la disponibilidad de silicatos para reproducirse. A ello, se agrega que cualquier población de microorganismos fotosintetizadores que crece desmesuradamente tiene significativo consumo de oxígeno, lo cual afecta directamente a todos los demás organismos que lo requieren; además, algunos microorganismos biosintetizan toxinas cuando se reproducen en abundancia gracias a que existen suficientes nutrientes en el ambiente en que ellos ocurren; otras especies en cambio, requieren como requisito para la biosíntesis de toxina, condiciones limitantes de nutrientes (Johansson y cols., 1996; Granéli y cols., 1998; Riegman, 1998). Se da la aparente paradoja de que los eventos FAN pueden generarse tanto a partir del exceso como del agotamiento de nutrientes, lo que va a depender, en definitiva, de la relación específica y altamente precisa que exista entre toxicidad celular, la capacidad de sintetizar las ficotoxinas y los niveles de nutrientes requeridos para ello por la especie potencialmente causante de un evento nocivo (Smayda 2008). Como las especies nocivas y las toxinas que producen son variadas, su dinámica poblacional y específicamente la producción de estas toxinas obedece también a una diversidad de elementos y factores desencadenantes. Para el género *Alexandrium*, se ha identificado genes constitutivos de todo el género (*core genes*) asociados a la biosíntesis de saxitoxina (Soon Hii y cols., 2016) y cuya expresión está relacionada con depleción de Fósforo.

## **VI. CICLO DE VIDA DE LOS DINOFLAGELADOS**

Los ciclos vitales de los microorganismos que provocan eventos nocivos, son también materia que debe ser considerada en el análisis para comprender la complejidad de los factores que los gatillan. Para el caso de Chile, ya se ha dicho que los eventos tóxicos más relevantes, especialmente con desenlace fatal en numerosos casos de personas, además teniendo en cuenta su impacto socioeconómico y mediático, han tenido como

agente causante al dinoflagelado tóxico *Alexandrium catenella*. El ciclo de vida de esta microalga de alrededor de 30  $\mu\text{m}$  de diámetro y con 30 veces más ADN que una célula humana, pasa por varios estados o tipos celulares, como ocurre con todos los dinoflagelados (Pfiester y Anderson, 1987; Luxoro 2001); *A. catenella* tiene células vegetativas, gametos o células sexuales, cigotos y cistos o quistes de resistencia (Figs. 2 y 3).

La reproducción vegetativa, rápida y por división celular tipo mitosis de las células vegetativas móviles, es la que origina los FAN en condiciones óptimas o en abundancia de nutrientes. En condiciones de cultivo con escasez de nutrientes como fosfatos y nitratos, estas células realizan reproducción sexuada, producto de la cual se genera un cigoto, inicialmente pelágico y móvil, que en éstas condiciones limitadas, pasa a un estado dormante denominado cisto o quiste. Los quistes no tienen movilidad y se encuentran entre los sedimentos, es decir, son bentónicos. La reproducción sexual provoca una declinación de la tasa de crecimiento poblacional, al menos a través de tres mecanismos: cuando las células vegetativas se diferencian en células sexuales, declina la tasa de crecimiento poblacional pues estas células no se reproducen. Además de no reproducirse, las células sexuales se fusionan durante la fecundación, para generar un cigoto, lo que también contribuye a disminuir la tasa de crecimiento poblacional; por último, los cigotos que son móviles en un inicio y permanecen durante ese periodo pelágicos en la columna de agua, pierden sus flagelos y movilidad, se hacen bentónicos, quedando entre los sedimentos por un periodo indefinido hasta que un nuevo factor gatillante, les permita germinar y generar células vegetativas que ascenderán en la columna de agua para regenerar el ciclo (Pfiester y Anderson 1987, Luxoro 2001). En condiciones naturales, ciertamente los quistes pueden permanecer viables por periodos desconocidos y generar un FAN como respuesta a condiciones ambientales específicas muy puntuales, tales como: cambios en la composición de los nutrientes, en la salinidad o en la temperatura del agua. Debiera interesar a las autoridades competentes el potencial riesgo de regeneración explosiva de poblaciones tóxicas, a partir de los quistes que luego de una FAN, permanecen dormantes en los sedimentos.



**Fig. 2. Ciclo de Vida de dinoflagelados del género *Alexandrium***

**A:** Ciclo de reproducción vegetativa por división celular asexual, que genera las floraciones nocivas.

**B:** Ciclo quiescente o de reposo breve, en el que células vegetativas forman estados inactivos sin fecundación previa.

**C:** Ciclo de reproducción sexual.

- **1:** Células vegetativas, asexuales.
- **2:** Quiste temporal o quiescente.
- **3.A:** Gametos, o células sexuales, desiguales.
- **3.B:** Gametos idénticos (morfológicamente).
- **4.A y 4.B:** Fusión de gametos.
- **5:** Cigoto móvil o planocigoto.
- **6:** Quiste dormante o de resistencia (hipnocigoto).
- **7:** Germinación del quiste dormante que origina un cigoto móvil (planomeiocigoto).
- **8 y 9:** Células vegetativas.

**Fuente:** Anderson y cols. 1995<sup>11</sup>.

<sup>11</sup>Anderson, D.M. Fukuyo y Matsuoka, K. (1995). Cyst methodologies. En: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson y A.D. Cembella (Eds.), *Manual of Harmful Marine Microalgae* (pp.229-249) Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals and Guides 33. UNESCO.



**Fig. 3. Fases del Ciclo de Vida de *Alexandrium catenella*, células *in vivo***

**A:** cadena de cuatro células vegetativas.

**B:** división celular asexual.

**C:** fusión de células sexuales o gametos (idénticos).

**D:** cigoto móvil recién formado.

**E:** cigoto móvil tardío (planocigoto).

**F:** quiste dormante o de resistencia (hipnocigoto, bentónico). Todas las fases móviles son pelágicas, viven en la columna de agua.

**Fuente:** Luxoro, 2001.

## CICLO DE VIDA (TENTATIVO) DE *PSEUDCHATTONELLA*

El ciclo de vida de *Pseudochattonella*, también es complejo como el de los dinoflagelados y tiene varios estados o fases, aunque aún no han sido descritos a cabalidad como en el caso de estos últimos. Los especialistas proponen un ciclo de vida tentativo para las especies de este género, que comprende diversos estados con diversas morfologías y tamaños (Chang y cols., 2014; Eckford-Soper y Daugbjerg, 2016b). Pequeñas células (7 a 12 µm) se comportarían como gametos que se supone se fusionan para formar un cigoto; éstos, tras varias divisiones celulares, constituirían una mega-estructura multinucleada (200 µm) que podría comportarse como un quiste, aunque al respecto aún no existe consenso ni demasiada evidencia. No hay información que asocie algún estado del ciclo de vida a la toxicidad de estas especies. En Chile, recientemente se reporta el cultivo exitoso de *P. verruculosa* aislada desde fiordos patagónicos, que se mantienen en el Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos de Ambientes Costeros (I-Mar) de la Universidad de Los Lagos<sup>12</sup> no

<sup>12</sup> Salmonexpert. [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <https://www.salmonexpert.cl/articulo/logran-primer-cultivo-de-pseudochattonella-cf-verruculosa-en-chile/>

obstante, el seguimiento de su ciclo de vida con la consecuente obtención y caracterización de todos sus estados o fases y de la biosíntesis de toxina(s) no es información que esté disponible a la fecha.

## VII. PRINCIPALES RECOMENDACIONES DE LOS EXPERTOS

A partir del megaevento FAN que desde febrero de 2016 desencadenó la conocida catástrofe ecológica, socioeconómica y sanitaria en el Sur de Chile, el gobierno central convocó en mayo del mismo año, a un Comité de Expertos constituido por cinco académicos investigadores de las universidades de Concepción, de Los Lagos y P. Universidad Católica de Chile<sup>13</sup>. La misión de este panel, fue indagar las causas del fenómeno, iniciado en febrero como una marea café ictiotóxica por proliferación de *Pseudochattonella verruculosa*, que provocó la muerte de miles de millones de salmones en cultivo, alcanzando las 106.000 toneladas<sup>14</sup>. También, debían indagar acerca de la relación del vertimiento de miles de toneladas de dichos animales muertos en el océano<sup>15</sup> con la segunda fase del fenómeno, esta vez una marea roja tóxica debida a proliferación de *Alexandrium catenella*; el encargo también consideraba relacionar el megaevento completo con cambios climáticos y oceanográficos locales. Dicho comité, tuvo como misión generar un plan de trabajo para abordar esta problemática en sucesos futuros. Lamentablemente, fue tan solo el 25 de mayo que el buque que condujo a los científicos a realizar las evaluaciones *in situ*, pudo zarpar desde el Puerto de Talcahuano, es decir, al menos tres meses después de la primera fase que provocó el megaevento y aproximadamente un mes y medio más tarde del clímax de éste en la Región de Los Lagos<sup>16</sup>. Resulta obvio que la reacción y toma de decisiones de las autoridades competentes fue, al menos tardía, considerando el estado del arte acerca de la dinámica poblacional y los diversos factores gatillantes de las contingencias por FAN.

---

<sup>13</sup>Fundación Terram. Mesa Científica nacional investiga fenómeno de Marea Roja. [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <http://www.terram.cl/2016/07/mesa-cientifica-nacional-investiga-fenomeno-de-marea-roja/>

<sup>14</sup>Salmonexpert. [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <https://www.salmonexpert.cl/noticias/detallan-perdidas-por-bloom-de-algas/>  
<https://www.salmonexpert.cl/noticias/nuevo-sistema-para-mitigacion-de-fan/>

<sup>15</sup>El Mostrador. Las empresas detrás de las 9 mil toneladas de salmones en descomposición vertidos al mar del sur de Chile. [Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en:

<http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2016/05/05/las-empresas-detras-de-las-9-mil-toneladas-de-salmones-en-descomposicion-vertidos-al-mar-del-sur-de-chile/>

<sup>16</sup>Revista Aqua. Comité científico recorrerá 525 millas náuticas investigando las razones de la marea roja.[Extraído el 9 de noviembre de 2017] Disponible en: <http://www.aqua.cl/2016/05/26/comite-cientifico-recorrera-525-millas-nauticas-investigando-las-razones-de-la-marea-roja/#>

En su Informe Final, el Comité de Expertos reconoce la existencia local, a nivel país, de masa crítica y especialistas bien formados en el tema. Señalan la conveniencia de que dichos especialistas pudieran optar al financiamiento necesario para interactuar y colaborar en estudios integrados (Buschmann y cols., 2016); complementado la idea, se puede agregar que lo ideal sería tener un Comité Permanente de Expertos que funcionara periódicamente y con cierta independencia financiera de las instituciones a las que están adscritos; que pudiera contar con estabilidad de financiamiento y disponibilidad continua de infraestructura para las actividades de monitoreo, incluido por cierto el acceso a embarcaciones; así, en caso de determinar un riesgo potencial concreto, se podría intensificar el monitoreo en caso de ser requerido; ello, en razón primero, a la necesidad de predecir situaciones de riesgo (y no actuar *a posteriori*) y de entregar herramientas válidas a la autoridad para que tome las decisiones oportunamente; en segundo lugar, visto lo ampliamente discutido y en base al consenso científico relativo al incremento global de los fenómenos FAN, en frecuencia e intensidad, durante las últimas décadas y a su relación con el cambio climático (Heisler y cols, 2008; Glibert y Burkholder, 2006; Glibert y cols. 2014).

El Informe Final del Comité de Expertos focaliza sus recomendaciones en tres grandes áreas; la primera, relativa a la necesidad de incrementar el conocimiento de los diversos factores relativos a las FAN y mejoramiento de la gestión de dicho conocimiento. La segunda, orientada al mejoramiento e incremento de la infraestructura destinada a la investigación de dichos fenómenos, incluyendo desde boyas, embarcaciones, hasta estaciones meteorológicas. El tercer foco, lo sitúan en la capacitación de recursos humanos en el monitoreo, procesamiento y gestión de la información relativa a este fenómeno. Las recomendaciones que contiene este Informe Final, se concretan en doce puntos que pueden revisarse directamente en el documento (Buschmann y cols., 2016).

Un segundo Informe relativo al mismo extenso evento de 2016, esta vez solicitado por la empresa salmonera a través de la Global Aquaculture Alliance™(GAA) a expertos mundiales de reconocido prestigio en el tema, asegura que la necesidad de mejorar todas las operaciones en el ámbito de la acuicultura, especialmente en la Región de Los Lagos, ofrece una gran oportunidad de desarrollo comercial y social, que además tiene un significativo potencial para obtener financiamiento (Anderson y cols., 2016). El informe incluye recomendaciones específicas a la industria acuícola, como por ejemplo tratar las aguas de desecho, previo a éste, tal y como se realiza con las aguas de lastre de las embarcaciones. Nuevamente, este segundo grupo de

expertos recomienda la creación de un comité científico, que revise las estrategias de la industria acuícola nacional y recomiende mejoramiento tanto del manejo de las contingencias FAN como del liderazgo para conducir estos procesos; estos expertos sugieren a la industria acuícola chilena solicitar apoyo de organizaciones internacionales especializadas en acuicultura y pesquerías, en orden a actualizar y mejorar sus estrategias para abordar estos eventos. Por último, su principal sugerencia dice relación con el establecimiento de un plan coordinado de monitoreo, mitigación, implementación de tecnología para prevención y gestión de la información, todos relativos a las FAN, que debiera llevarse a cabo considerando las necesidades de todos los interesados; es decir, la población directamente afectada, autoridades competentes e industria acuícola (Anderson y cols., 2016). Se podría agregar en este último punto, que la interacción más estrecha entre las comunidades locales cuya subsistencia depende esencialmente de los recursos marinos, la autoridad competente, los gestores del conocimiento de las FAN y los encargados de la producción en la empresa acuícola, podría generar mayor conciencia en la comunidad acerca de las consecuencias que estas actividades generan sobre nuestro ecosistema; es perentorio tomar las decisiones oportunamente, en base al conocimiento y al impacto que todos los interesados y en muchos ámbitos, podemos ejercer y finalmente vamos a enfrentar en nuestro futuro próximo.

## VIII. REFERENCIAS

- Álvarez, G., Uribe, E., Quijano-Scheggia, S., López-Rivera, A., Mariño, C. y Blanco, J. (2009). Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia australis* and *Pseudo-nitzschia calliantha* isolated from North Chile. *Harmful Algae* 8, 938–945.  
Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Gonzalo\\_Alvarez2/publication/26275221\\_The\\_occurrence\\_of\\_domoic\\_acid\\_linked\\_to\\_a\\_toxic\\_diatom\\_bloom\\_in\\_a\\_new\\_potential\\_vector\\_The\\_tunicate\\_Pyura\\_chilensis\\_piure/links/0912f50afcc7ba5342000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gonzalo_Alvarez2/publication/26275221_The_occurrence_of_domoic_acid_linked_to_a_toxic_diatom_bloom_in_a_new_potential_vector_The_tunicate_Pyura_chilensis_piure/links/0912f50afcc7ba5342000000.pdf)
- Álvarez, G., Uribe, E., Ávalos, P., Mariño, C. y Blanco, J. (2010). First identification of azaspiracid and spirolides in *Mesodesma donacium* and *Mulinia edulis* from Northern Chile. *Toxicon* 55, 638–641.
- Anderson, D.M. (1989). Toxic algal blooms and red tides: A global perspective. En: *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology* (pp. 11-16) Proc. 1st Int. Symp on Red Tides. Elsevier.
- Anderson, D.M., Fukuyo, Y. y Matsuoka, K. (1995). Cyst methodologies. En: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson y A.D. Cembella (Eds.), *Manual of Harmful Marine Microalgae* (pp.229-249) Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals and Guides 33. UNESCO.
- Anderson, D.M., Glibert, P.M., Burkholder, J.M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition and consequences. *Estuaries* 25, 704–726.
- Anderson, D.M., Cembella, A.D. y Hallegraeff G.M. (2012). Progress in Understanding Harmful Algal Blooms: Paradigm Shifts and New Technologies for Research, Monitoring, and Management. *Annual Review of Marine Science*, 4, 143-176.
- Anderson, D.M., Rensel, J., Forster, J. y Hart, S. (2016). *Harmful Algal Blooms Assessing Chile's Historic HAB Events of 2016*. Global Aquaculture Alliance™ GAA (Eds.) 19pp.
- Aqua (2016). Chiloé: Las millonarias pérdidas que dejan el paro y la marea roja. 22 mayo 2016.  
Disponible en: <http://www.aqua.cl/2016/05/22/chiloe-las-millonarias-perdidas-que-dejan-el-paro-y-la-marea-roja/>
- Avaria S., Cáceres M., Muñoz, P., Palma, S. Vera, P. (1999). *Plan Nacional Sobre Floraciones de Algas Nocivas en Chile*. Valparaíso, Chile: CONA. 31 pp.
- Avaria, S. (1982). Fenómenos de Marea Roja en el Mar Chileno. *Cienc. Tecnol. Mar.* 6, 117-127.
- Avaria, S. y Muñoz, P. (1982). Primer registro de Marea roja producidas por dinoflagelados tecados en la Bahía de Valparaíso, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 18(2), 101-115.
- Alves-de-Souza, C., Varela, D., Contreras, C., De la Iglesia, P., Fernández, P., Hipp, B., Hernández, C., Riobo, P., Reguera, B., Franco, J.M., Diogene, J., García, C. y Lagos, N. (2014). Seasonal variability of *Dinophysis* spp. and *Protoceratium reticulatum* associated to lipophilic shellfish toxins in a strongly stratified Chilean fjord. *Deep-Sea Research II* 101, 152–162.
- Buschmann, A. (2005). *Marea Roja y Salmonicultura en el Sur de Chile*. OCEANA Documento 14.
- Buschmann, A., Farías, L., Tapia, F., Varela, D. y Vásquez, M. (2016). *Informe Final Comisión Marea Roja*. Universidad de Los Lagos, Universidad de Concepción y P. Universidad Católica de Chile. 66pp. Disponible en: [http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/InfoFinal\\_ComisionMareaRoja\\_24Nov2016-1.compressed.pdf](http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/InfoFinal_ComisionMareaRoja_24Nov2016-1.compressed.pdf)

- Cabello, F.C. y Godfrey, H.P. (2016). Harmful algal blooms (HABs), marine ecosystems and human health in the Chilean Patagonia. *Rev Chilena Infectol*, 33(5), 561-562.
- Campodónico, I. y Guzmán, L. (1974). Marea roja producida por *Amphidoma* sp. en el estrecho de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia* 5(1-2):209-213.
- Campodónico, I., Guzmán, L. y Lembeye, G. (1975). Una discoloración causada por el ciliado *Mesodinium rubrum* (Lohmann) en ensenada Wilson, Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia* 6(1-2), 225-239.
- Clément, A., Lincoqueo, L., Saldivia, M., Brito, C.G., Muñoz, F., Fernández, C., Pérez, F., Maluje, C.P., Correa, N., Moncada, V. y Contreras, G. (2016). Exceptional Summer Conditions and HABs of *Pseudochattonella* in Southern Chile Create Record Impacts on Salmon Farms. *Harmful Algae News*, 53, 1-3.
- Cosper, E.M., Dennison, W.C., Carpenter, E.J., Bricelj, M.V., Mitchell, J.G., Kuenstner, S.H., Colflesh, D. y Dewey, M. (1987). Recurrent and persistent brown tide blooms perturb coastal marine ecosystem. *Estuaries* 10, 284.
- Chang, F., Sutherland, J., McVeagh, M. y Gall, M. (2014). Molecular phylogeny, pigment composition, toxicology and life history of *Pseudochattonella* cf. *verruculosa* (Class Dictyochophyceae) from Wellington Harbour, New Zealand. *Harmful Algae*. 34, 42–55.
- Daneshian, M., Botana, L.M., Dechraoui Bottein, M.-Y., Buckland, G., Campàs, M., Dennison, N., Dickey, R.W., Diogène, J., Fessard, V., Hartung, T., Humpage, A., Leist, A., Molgó, J., Quilliam, M.A., Rovida, C., Suarez-Isla, B.A., Tubaro, A., Wagner, K., Zoller, O. y Dietrich, D. (2013). A Roadmap for Hazard Monitoring and Risk Assessment of Marine Biotoxins on the Basis of Chemical and Biological Test Systems. *Transatlantic Think Tank for Toxicology t<sup>4</sup> Report Altex 30*, 4/13, 487- 545.
- Del Campo, M., Toledo, H. y Lagos, N. (2013). Okadaic Acid Toxin at Sublethal Dose Produced Cell Proliferation in Gastric and Colon Epithelial Cell Lines. *Mar. Drugs* 11, 4751-4760; doi:10.3390/md11124751
- Del Campo Zaldívar, M. (2014). *Toxinas del veneno diarreico de mariscos favorecen un ambiente tumorigénico en células gástricas epiteliales*. Tesis doctoral para optar al grado de Doctor en Bioquímica. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile. 80pp. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131676/Toxinas-del-veneno-diarreico-de-mariscos-favorecen-un-ambiente.pdf?sequence=1>
- Eckford-Soper, L.K. y Daugbjerg, N. (2016a). A quantitative real-time PCR assay for identification and enumeration of the occasionally co-occurring ichthyotoxic *Pseudochattonella farcimen* and *P. verruculosa* (Dictyochophyceae) and analysis of variation in gene copy numbers during the growth phase of single and mixed cultures. *J. Phycol.* 52, 174 - 183.
- Eckford-Soper, L.K. y Daugbjerg, N. (2016b). The ichthyotoxic genus *Pseudochattonella* (Dictyochophyceae): Distribution, toxicity, enumeration, ecological impact, succession and life history – A review. *Harmful Algae* 58, 51-58
- EFSA (2008). Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain. Opinion on a request from the European Commission on marine biotoxins in shellfish -okadaic acid and analogues. *The EFSA Journal* 589, 1-62. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2008.589/epdf>
- Engesmo, A., Eikrem, W., Seoane, S., Smith, K., Edvardsen, B., Hofgaard, A. y Tomas, C.R. (2016). New insights into the morphology and phylogeny of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae), with the description of *Heterosigma minor* sp. nov. *Phycologia*, 55(3), 279-294.

- García, C., Pérez, F., Contreras, C., Figueroa, D., Barriga, A., López-Rivera, A., Araneda, O.F., Contreras, H.R. (2015). Saxitoxins and okadaic acid group: accumulation and distribution in invertebrate marine vectors from Southern Chile. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.*32(6), 984-1002. doi: 10.1080/19440049.2015.1028107
- GEOHAB (2006). *Global ecology and oceanography of harmful algal blooms. Harmful Algal Blooms in Eutrophic Systems.* Paris, Francia: IOC and SCOR, 82 pp.
- Glibert, P.M., Seitzinger, S., Heil, C., Burkholder, J.A., Parrow, M.W., Codispoti, L., Kelly, V., (2005a). The role of eutrophication in the global proliferation of harmful algal blooms. *Oceanography* 18, 198–209.
- Glibert, P.M., Anderson, D. M. , Gentien, P. , Graneli, E. y Sellner, K. G. (2005b). The Global, Complex Phenomena of Harmful Algal Blooms. *Oceanography* 18(2), 136 – 147. Disponible en: [https://tos.org/oceanography/assets/docs/18-2\\_glibert2.pdf](https://tos.org/oceanography/assets/docs/18-2_glibert2.pdf)
- Glibert, P.M. y Burkholder, J.M. (2006). The complex relationships between increases in fertilization of the Earth, coastal eutrophication and proliferation of harmful algal blooms. En: E. Granéli y J.T. Turner, J.T. (Eds.), *Ecology of Harmful Algae* (pp 341-354). Berlin, Alemania: Springer.
- Glibert P.M., Allen, I., Artioli, Y., Beusen, A., Bowman, L. Harle, J., Holmes, R., y Holt, J. (2014). Vulnerability of coastal ecosystems to changes in harmful algal bloom distribution in response to climate change: projections based on model analysis. *Global Change Biology* 20, 3845–3858. doi: 10.1111/gcb.12662
- Granéli, E., Johansson, N., Panosso, R. (1998). Cellular toxin contents in relation to nutrient conditions for different groups of phycotoxins. En: B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernández y T. Wyatt, T. (Eds.). *Harmful Algae*, (pp.321-324). Xunta de Galicia y Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- Guzmán, L. y Campodónico, I. (1975). Marea Roja en la región de Magallanes. *Publ. Instituto de la Patagonia, Ser. Monografías. Punta Arenas (Chile)* 9, 44 pp.
- Hallegraeff, G.M. (1995). Harmful algal blooms: a global overview. En: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson y A.D. Cembella (Eds.), *Manual of Harmful Marine Microalgae* (pp.1-22) Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals and Guides 33. UNESCO.
- Hara, Y.O. y Chihara, T. (1987). Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of the Raphidophycean Alga *Heterosigma akashiwo*. *Bot. Mag. Tokyo*, 100, 151-163. Disponible en: <http://img.algaebase.org/pdf/8CCB0C030cacd172ED5I5B230CFA/2818.pdf>
- Heisler, J., Glibert, P., Burkholder, J. , Anderson, D.M., Cochlan, W., Dennison, W., Gobler, C., Dortch, Q., Heil, C., Humphries, E., Lewitus, A., Magnien, R., Marshall, H., Sellner, K., Stockwell, D., Stoecker, D. y Suddleson, M. (2008). Eutrophication and Harmful Algal Blooms: A Scientific Consensus. *Harmful Algae* 8(1),: 3–13. doi:10.1016/j.hal.2008.08.006
- Hoagland, P. y Scatista, S. (2006). The Economic Effects of Harmful Algal Blooms. En: E. Granéli y J.T. Turner (Eds.), *Ecology of Harmful Algae* (pp.391-402). Ecological Studies, Vol. 189. Verlag Berlin Heidelberg: ©Springer. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38367671/Hoagland\\_and\\_Scatista\\_2006\\_HAB\\_econ\\_effects\\_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1506611598&Signature=fUhfW3m1pMQqExTMXa91Fce1iKA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DThe\\_Economic\\_Effects\\_of\\_Harmful\\_Algal\\_Bl.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38367671/Hoagland_and_Scatista_2006_HAB_econ_effects_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1506611598&Signature=fUhfW3m1pMQqExTMXa91Fce1iKA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DThe_Economic_Effects_of_Harmful_Algal_Bl.pdf)

INDH (2016). *Informe Misión de Observación Situación Socioambiental Región de Los Lagos* 62pp. Disponible en: <https://www.indh.cl/bb/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Chilo%C3%A9-VF-26072017-2.pdf>

Johansson, N., Granéli, E., Yasumoto, T., Carlsson, P. y Legrand, C. (1996). Toxin production by *Dinophysis acuminata* and *D. acuta* cells grown under nutrient sufficient and deficient conditions. En: T. Yasumoto, Y. Oshima e Y. Fukuyo (Eds.), *Harmful and Toxic Algal Blooms* (pp. 277–280). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.

Lembeye, G. (2008). Harmful algal blooms in the austral Chilean channels and fjords. En: N.Silva y S. Palma (Eds.), *Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn* (pp 99-103). Valparaíso Chile: CONA-P. Universidad Católica de Valparaíso.

Lincoln A., MacKenzie, K., Smith, F., Rhodes, L.L., Brown, A., Langi, V., Grant Lovell, L.E. y Preece, M. (2011). Harmful Algae Mortalities of sea-cage salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) due to a bloom of *Pseudochattonella verruculosa* (Dictyochophyceae) in Queen Charlotte Sound, New Zealand. *Harmful Algae Volume 11*, 45-53. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.07.003>

Luxoro, C. (2001). *Expresión Génica Diferencial en Dinoflagelados tóxicos del Género Alexandrium*. Tesis doctoral no publicada. Escuela de Postgrado. Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago de Chile. 132 pp.

Mardones, J., Clément, A. Rojas, X. y Aparicio, C. (2010) *Alexandrium catenella* during 2009 in Chilean waters, and recent expansion to coastal ocean. *Harmful Algae News*, 41, 8-9. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/288192054\\_Alexandrium\\_catenella\\_during\\_2009\\_in\\_Chilean\\_waters\\_and\\_recent\\_expansion\\_to\\_coastal\\_ocean](https://www.researchgate.net/publication/288192054_Alexandrium_catenella_during_2009_in_Chilean_waters_and_recent_expansion_to_coastal_ocean)

Mardones, J., Clement, A. y Rojas, X. (2012) Monitoring potentially ichthyotoxic phytoplankton in southern fjords of Chile. *Harmful Algae News*, 45, 6–7. Disponible en: <http://www.e-pages.dk/ku/542/html5/>

Mardones, J., Müller, M.N. y Hallegraeff, G.M.(2016). Toxic dinoflagellate blooms of *Alexandrium catenella* in Chilean fjords: a resilient winner from climate change. *ICES Journal of Marine Science*, 74(4), 988–995. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw164>

Marshall, J.A., Nichols, P.D., Hamilton, B., Lewis, R.J. y Hallegraeff, G. (2003). Ichthyotoxicity of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) to damselfish (*Acanthochromis polykanthus*): the synergistic role of reactive oxygen species and free fatty acids. *Harmful Algae*, 2, 273-281

MINSAL-ISP. (2006). Programa de Vigilancia de la Marea Roja en Chile. En: J. Ramírez R., C. Salgado P. y C. Droguett D. (Eds.), *Programa de Inocuidad de los Alimentos. Reporte de Estudios 2006-2007* (pp. 9-21). Gobierno de Chile Ministerio de Salud Subdepartamento de Alimentos y Nutrición Departamento de Salud Ambiental Instituto de Salud Pública de Chile.

Molinet, C., Lafon, A., Lembeye, G. y Moreno, C. (2003). Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whoedon & Kofoid) Balech, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile. *Rev. Ch. Hist. Nat.*, 76, 681–698.

Muñoz, P, Avaria, S. y Farías, M. (1990). Presencia de Mareas Rojas en el Area de Valparaíso Chile Provocadas por Dinoflagelados del Género *Prorocentrum*. *Rev. Biol. Mar. Valparaíso* 25(1), 109 – 132. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/281641824\\_Presencia\\_de\\_mareas\\_rojas\\_en\\_el\\_area\\_de\\_Valparaiso\\_Chile\\_provocadas\\_por\\_dinoflagelados\\_del\\_genero\\_Prorocentrum](https://www.researchgate.net/publication/281641824_Presencia_de_mareas_rojas_en_el_area_de_Valparaiso_Chile_provocadas_por_dinoflagelados_del_genero_Prorocentrum)

Ono, K., Khan, S. y Onoue, Y. (2000). Effects of temperature and light intensity on the growth and toxicity of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). *Aquaculture Research*, 31(5), 427–433. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2000.00463.x

- Palma, S. y Kaiser, K. (1993). *Plancton Marino de Aguas Chilenas*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso. 151pp.
- Pfiester, L.A. y Anderson, D.M. (1987). Dinoflagellate reproduction. En: *Biology of Dinoflagellates Botanical Monographs* (pp. 611-648). Oxford, Reino Unido: Blackwell Sci. Pubs.
- Pizarro, G., Alarcón, C., Franco, J.M. Palma, M., Escalera, L., Reguera, B., Vidal, G. y Guzmán, L. (2011). Distribución Espacial de *Dinophysis* spp. y Detección de Toxinas Marinas en el Agua Mediante Resinas Diaion (verano 2006, Región de Los Lagos, Chile). *Cienc. Tecnol. Mar*, 34 (1-2), 31-48. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/624/62428721003/>
- Pyenson, N.D., Gutstein, C.S., Parham, J.F., Le Roux, J.P., Chavarría, C.C., Little, H., Metallo, A., Rossi, V., Valenzuela-Toro, A.M., Velez-Juarbe, J., Santelli, C.M., Rogers, D.R., Cozzuol, M.A. y Suárez, M.E. (2014). Repeated mass strandings of Miocene marine mammals from Atacama Region of Chile point to sudden death at sea. *Proc Biol Sci.* 281(1781), 1-9. doi: 10.1098/rspb.2013.3316. Disponible en: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/royprsb/281/1781/20133316.full.pdf>
- Riegman, R. (1998). Species composition of harmful algal blooms in relation to macronutrient dynamics. En: D.M. Anderson, A.D. Cembella y G.M. Hallegraeff (Eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms* (pp. 474-488). NATO ASI Series G: Ecological Sciences Vol.41. Springer-Verlag.
- Ritchie, J.M. y Rogart, R.B. (1977). The Binding of Saxitoxin and Tetrodotoxin to Excitable Tissue. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 79, 1-50.
- Rodríguez, L. (1966). Primera cita de las especies componentes del "Huirihue o Marea Roja". *Estudios Oceanológicos, Chile*, 2, 91-93.
- Rodríguez, L. (1985). Revisión del Fenómeno de Marea Roja en Chile. *Rev. Biol. Mar. Valparaíso*, 21(1), 173 – 197.
- Rodríguez, L., Zárate, O. y Oyarce, E. (1985). Marea Roja en la bahía de San Jorge, Antofagasta, durante septiembre y octubre de 1982. *Rev. Biol. Mar. Valparaíso*, 21(2), 273-294.
- Rodríguez, L. (2004). Observaciones sobre efectos de El Niño 1997-1998 en el fitoplancton de bahía Antofagasta y durante un fenómeno de surgencia en bahía Mejillones del Sur, Antofagasta, Chile. En: S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant y E. Yáñez (Eds.) *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile* (pp.97-118). Valparaíso, Chile: CONA
- Salgado Reyes, R. (2005). *Análisis del Desarrollo de la Salmonicultura Chilena*. Proyecto de Título Presentado en la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo no publicado, P. Universidad Católica de Chile Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago de Chile. Disponible en: <http://portal.unap.cl/~cordunap/archivos/amunoz/PROYECTOS/SALMONES/Tesis%20Salmones.pdf>
- Seguel, M., Tocornal M.A., y Sfeir, A. (2005). Floraciones Algales Nocivas en los Canales y Fiordos del Sur de Chile. *Cienc. Tecnol. Mar*, 28 (2), 5-13. Disponible en: [http://www.cona.cl/vol28-2/html/1\\_Seguel/seguel.htm](http://www.cona.cl/vol28-2/html/1_Seguel/seguel.htm)
- Seguel, M. y Sfeir, A. (2010). Distribución de las Toxinas Marinas y Quistes de Dinoflagelados Tóxicos en los Canales Occidentales de la Región de Aysén. *Cienc. Tecnol. Mar*, 33 (1), 43-55. Disponible en: <http://www.cona.cl/ctmol2/vol33-1/04%20Miriam%20Seguel.pdf>

Skjelbred, B., Horsberg, T.E., Tollefsen, K.E., Andersen, T. (2011). Toxicity of the ichthyotoxic marine flagellate *Pseudochattonella* (Dictyochophyceae, Heterokonta) assessed by six bioassays. *Harmful Algae*, 10 (2), 144-154. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988310000946>

Smayda, T.J. (1997a). What is a bloom? A commentary. *Limnol Oceanogr.* 42(5 part 2), 1132-1136.

Smayda, T.J. (1997b). Harmful algal blooms: Their physiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol. Oceanogr.* 42(5, part 2), 1137-1153

Smayda, T.J. (2008). Complexity in the eutrophication–harmful algal bloom relationship, with comment on the importance of grazing. *Harmful Algae* 8, 140–151. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S156898830800111X>

Soon Hii, K., Teen Lim, P., Fong Kon, N., Takata, Y. Usup, G. y Pin Leaw, Ch. (2016). Physiological and transcriptional responses to inorganic nutrition in a tropical Pacific strain of *Alexandrium minutum*: Implications for the saxitoxin genes and toxin production. *Harmful Algae* 56, 9–21

Suárez-Isla, B.A. (2015). Saxitoxin and Other Paralytic Toxins: Toxicological Profile. En: *Marine and Freshwater Toxins* (pp. 1-16). Dordrecht, Países Bajos: ©Springer Science+Business Media  
DOI 10.1007/978-94-007-6650-1\_25-1

Suárez, B. y Guzmán, L. (1998). *Mareas rojas y toxinas marinas*. Santiago: Editorial Universitaria. 77pp.

Suárez Isla, B., López, A., Hernández, Clément, A., y Guzmán, L. (2002). Impacto económico de las floraciones de microalgas nocivas en Chile y datos recientes sobre la ocurrencia de Veneno Amnésico de los Mariscos. En: Sar, E., M. E. Ferrario y B. Reguera (Eds), *Floraciones Algas Nocivas en el Cono Sur Americano*, (pp. 257-268). Madrid, España: Inst. Esp. Oceanogr.

Takai A., Murata M., Torigoe, K., Isobe, M., Mieskes, G. y Yasumoto, T. (1992). Inhibitory effect of okadaic acid derivatives on protein phosphatases. A study on structure-affinity relationship. *Biochemical Journal* 284, 539–544.

Tillmann, U., Trefault, N., Krock, B., Parada-Pozo, G., De la Iglesia, R. y Vásquez, M (2017). Identification of *Azadinium poporum* (Dinophyceae) in the Southeast Pacific: morphology, molecular phylogeny, and azaspiracid profile characterization, *Journal of Plankton Research* 39(2), 350–367. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/plankt/22.10.1961>  
<https://doi.org/10.1093/plankt/fbw099>

Twiner, M.J. y Trick, Ch.G. (2000). Possible physiological mechanisms for production of hydrogen peroxide by the ichthyotoxic flagellate *Heterosigma akashiwo* *Journal of Plankton Research*, 22 (10), 1961–1975. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/plankt/22.10.1961>

Uribe, J.C. y Ruiz, M. (2001). *Gmnodinium* Brown Tide in the Magellanic Fjords, Southern Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36(2), 155-164.

Van den Hoek, C., Mann, D.G., y Jahns, H.M. (1995). *Algae An Introduction to Phycology*. Cambridge, Reino Unido: Cam. Univ. Press. 623pp.

Vivanco, E. (2016). *Marea Roja*. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN. 7pp. Disponible en: <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmiD=1444>

Woese C, Kandler O, Wheelis M (1990). Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc Natl Acad Sci USA* 87(12), 4576-4579. DOI:10.1073/pnas.87.12.4576.

Yamamoto, T. (2003). The Seto Inland Sea – eutrophic or oligotrophic. *Mar. Poll. Bull.* 47, 37–42.

Yudilevich, D. y Castor, E. (1996). *Darwin en Chile, Viaje de un Naturalista alrededor del Mundo*. D. Yudilevich y E. Castor (Eds.). Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 344 pp.

## **PÁGINAS WEB CONSULTADAS:**

<http://labtox.cl/>

<http://www.subpesca.cl/sitioprensa/614/w3-article-94669.html>

<https://www.who.edu/science/B/redtide/nationplan/ECOHAB/2.ECOHABProgram.html>

<http://www.subpesca.cl/portal/616/w3-search.html>

<http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2016/05/05/las-empresas-detras-de-las-9-mil-toneladas-de-salmones-en-descomposicion-vertidos-al-mar-del-sur-de-chile/>

<https://www.salmonexpert.cl/noticias/detallan-perdidas-por-bloom-de-algas/>

<https://www.salmonexpert.cl/noticias/nuevo-sistema-para-mitigacion-de-fan/>

<http://www.aqua.cl/2016/05/26/comite-cientifico-recorrera-525-millas-nauticas-investigando-las-razones-de-la-marea-roja/#>

<http://www.soychile.cl/Puerto-Montt/Sociedad/2016/05/10/392507/El-bono-marea-roja-ha-sido-depositado-en-mas-de-1700-cuentas-RUT.aspx>

<http://www.salmonchile.cl/es/historia-en-chile.php>

<https://www.salmonexpert.cl/noticias/logran-primer-cultivo-de-pseudochattonella-cf-verruculosa-en-chile/>

<http://www.t13.cl/noticia/nacional/que-es-marea-roja-declararon-catastrofe-sur-del-pais>

<http://www.dw.com/es/marea-roja-de-algas-venenosas-en-chile-es-segundo-mayor-caso-del-mundo/a-19254995>

<http://www.terram.cl/2016/07/mesa-cientifica-nacional-investiga-fenomeno-de-marea-roja/>

[http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2277:crucero-cientifico-buque-nava-confirmando-presencia-alga-nociva-aguas-golfo-penas&catid=1:ultimas&Itemid=69](http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=2277:crucero-cientifico-buque-nava-confirmando-presencia-alga-nociva-aguas-golfo-penas&catid=1:ultimas&Itemid=69)

“Historia del Huirihue en Chile”  
Florecimientos Algales Nocivos

---