Anexo Técnico

Plan de acción y medidas preventivas ante presencia de *Pseudochattonella sp.* y fitoplancton nocivo

Contenido

1. Plan de acción específico para *Pseudochattonella*. 1
   1.1. Contexto 2
   1.2. Nocividad de *Pseudochattonella*. 2
   1.3. Conclusión. 3
2. Incorporar la cosecha anticipada como medida preventiva en caso de aumento de algas nocivas. 3
   2.1. Análisis de la relación de microalgas nocivas con mortalidad de peces. 4
   2.2. Conclusión. 7
3. Bibliografía de referencia. 9

1. Plan de acción específico para *Pseudochattonella*.

El Resuelvo I.A.1 de la Res. Ex. N° 9/D-063-2016 requiere incorporar al protocolo de acción complementario al Plan de Contingencias, un plan de acción específico para el alga *Pseudochattonela sp*, teniendo en consideración que la mortalidad masiva de salmónidos ocurrida en el año 2016 fue ocasionado por la misma y que las medidas pueden variar dependiendo de cada género y especie.

A objeto de evaluar la factibilidad técnica de la observación contenida en la Res. Ex. N° 9, se examina el contexto y la nocividad de *Pseudochattonella sp*, se ha efectuado un análisis bibliográfico particular de la especie en comento, la que da cuenta de la falta de conocimiento específico sobre los mecanismos de toxicidad de *Pseudochattonella sp.* que generan mortalidades en los peces, razón por la que no existe una medida técnicamente diseñada en particular para esta especie.

1.1. Contexto

Durante la Floración Algal Nociva (FAN) ocurrida entre febrero y marzo del 2016 se observó la presencia de *Pseudochattonella sp.*, la cual representaba el 15% de la comunidad microfitoplanctonica (Clément et al., 2016); se encontró una concentración máxima de $7{,}7 \times 10^6$ células/litro de *Pseudochattonella sp.* (Clément et al., 2016).

Esta FAN tuvo una extensión desde el sur de Chiloé, hasta el Seno y Estuario del Reloncaví, en ambos lados del mar interior de Chiloé (Clément et al., 2016). Esta FAN resultó ser una de las más severas que se han registrado, tanto por los niveles encontrados, las características de las especies que ocurrieron y el impacto socio-económico que se generó.

1.2. Nocividad de *Pseudochattonella*.

La nocividad que produce *Pseudochattonella sp.* es a través de un mecanismo de ictiotoxicidad, pero que hasta la fecha no es completamente conocido; sin embargo, se ha hipotetizado que los posibles mecanismos de ictiotoxicidad pueden ocurrir producto de la generación de superoxido (Tanaka et al., 1994), ácidos grasos polinsaturados (Marshall et al., 2003) y neurotoxinas (Onoue & Nozawa, 1989; Kahn et al., 2000).

En un estudio del año 2011, Skjelbred y colaboradores, evaluó a través de bioensayos (exposición de células vivas y a extracto de células de *Pseudochattonella sp.*) el efecto agudo sobre tejidos de peces. Si bien no se registró un efecto tóxico agudo (aumento de la mortalidad inmediata), si se observó daño histológico en las branquias de los peces expuestos a los distintos tratamientos (Skjelbred et al., 2011). Aun cuando se ha determinado que la *sp.* es susceptible de generar daño en los tejidos, falta comprender los mecanismos presencia de *Pseudochattonella* que causan la mortalidad en los peces (Eckford-Soper & Daugbjerg, 2016).

En dicho contexto, al no existir aún conocimiento y certeza suficiente en relación con los mecanismos de toxicidad de *Pseudochattonella sp.,* que causan mortalidad en peces, la única medida de mitigación que se puede implementar ante la ocurrencia de *Pseudochattonella sp.* es la suspensión del proceso de alimentación[1], con un doble propósito:

a) Disminuir la demanda por oxígeno y su actividad metabólica, de tal forma de reducir al mínimo posible el contacto de las branquias con la FAN.

[1] Acción preventiva considerada en sección V.1. del protocolo propuesto.

b) Evitar que las especies en cultivo se desplacen desde capas inferiores en el agua hacia la superficie en busca de alimento[2] y por tanto se expongan a aguas superficiales que comúnmente presentan mayores concentraciones de algas[3].

Por otra parte, respecto de medidas como la implementación de equipamiento de aireación[4], no resultan en este caso recomendables puesto que la agitación del agua puede acarrear la ruptura de cadenas celulares de *Pseudochattonella sp.*, liberándose por ello compuestos nocivos que genera esta especie. En efecto, se trata de una medida de protección física y/o mecánica, que tiene utilidad frente a otras floraciones, más relacionadas con producción de daño mecánico en los peces, mas no intoxicación.

1.3. Conclusión.

Debido a esta falta de conocimiento específico sobre los mecanismos de toxicidad que generan mortalidades en los peces, es que la única medida de mitigación que se puede implementar ante la ocurrencia de *Pseudochattonella sp.* es la suspensión del proceso de alimentación, con el propósito de disminuir la actividad de los peces; la que se encuentra ya contenida en el protocolo de acción propuesto.

2. Incorporar la cosecha anticipada como medida preventiva en caso de aumento de algas nocivas.

El Resuelvo I.C.4 de la Res. Ex. N° 9/D-063-2016 sugiere agregar como acción preventiva en caso de aumento de algas nocivas la cosecha anticipada de ejemplares. Como se explica a continuación, el aumento de los niveles de nocividad, incluso sobre la concentración establecida, no conlleva como efecto necesario la generación de una mortalidad masiva.

En tal sentido, la medida sugerida no tiene una naturaleza preventiva, que justifique su adopción, previo a que se genere un evento de mortalidad masiva, sino que como medida de control, de ultima ratio, una vez que el evento se ha desencadenado. Por lo anterior es que esta medida se ha ubicado en la sección del protocolo propuesto que aborda acciones ante mortalidad masiva, una vez que esta se ha desencadenado.

---

[2] Cabe hacer presente que el alimento se administra desde la superficie, por lo que los peces al percibir el lanzamiento de alimento nadan hacia la superficie en busca del mismo.

[3] Cabe considerar que los peces comúnmente se mantienen en estratos medios, a profundidades entre 5 y 15 metros. Por su parte, las floraciones de algas, sin perjuicio que distintas especies se comportan distinto, pudiendo distribuirse aleatoria o estacionalmente en distintos estratos de la columna de agua, por lo general, habitan más prolíficamente aguas superficiales.

[4] Acción preventiva considerada en sección V.2. del protocolo propuesto.

2.1. Análisis de la relación de microalgas nocivas con mortalidad de peces.

Cuando se analizan los registros de mortalidades de peces y resultados de monitoreo interno del Centro de cultivo Perhue[5] en el período previo al desencadenamiento de mortalidad masiva, podemos destacar que se encontraron microalgas sobre niveles nocivos en varias oportunidades en las semanas previas al evento, sin que se haya producido variaciones importantes en los niveles de mortalidad del Centro, sino sólo hasta que los niveles de *Pseudochattonella sp.* aumentan de forma exponencial (Figura 1).

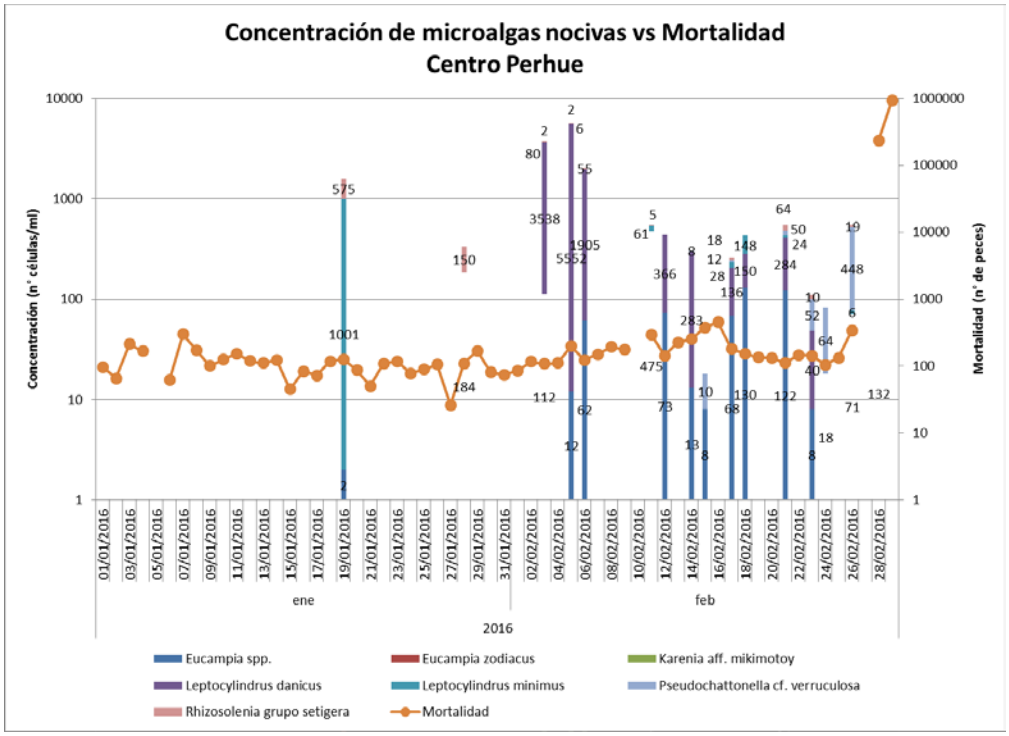

Figura 1.- Concentración de microalgas nocivas (células/ml) y mortalidad (n° de peces) de forma diaria durante enero y febrero del año 2016 en el centro Perhue.

Cuando las concentraciones de nocividad se relativizan a una escala comparable, la cual se calcula a través de la adición de los porcentajes de nocividad de cada una de las especies de microalgas

[5] El monitoreo interno de microalgas se ejecuta en terreno en los centros de cultivo, por personal a cargo de la unidad productiva, con formación profesional o técnica en relación con acuicultura, utilizando microscopio y cámara de conteo para dichos efectos. Esto, en términos homólogos al proceder descrito en el apartado IV.Plan de monitoreo diario y permanente de algas nocivas, del protocolo sometido a su conocimiento y juicio.

nocivas detectadas en el muestreo correspondiente a un día[6], y se comparan con las mortalidades de peces correspondientes al Centro, observamos que hay varios y sucesivos días en que se superan los niveles de nocividad relativa y no se ve reflejado en la mortalidad de peces, hasta que hay un aumento del 4480% de nocividad (Figura 2).

Al respecto, cabe destacar lo importante que resulta considerar la nocividad de todas las especies que pueden presentarse en el agua, puesto que las FAN por lo general involucran una diversidad de especies. Asimismo, en cuanto a los efectos de las mismas, si bien la bibliografía ha ido estableciendo niveles de nocividad para cada una, no se cuenta con información sistematizada ni validada que aborde efectos nocivos combinados. Lo anterior, recuerda una vez más el carácter dinámico y complejo de estos fenómenos naturales, cuyas consecuencias se vinculan con la interacción de múltiples variables con correlaciones e interdependencia aún poco conocida para la ciencia en algunos de sus aspectos.

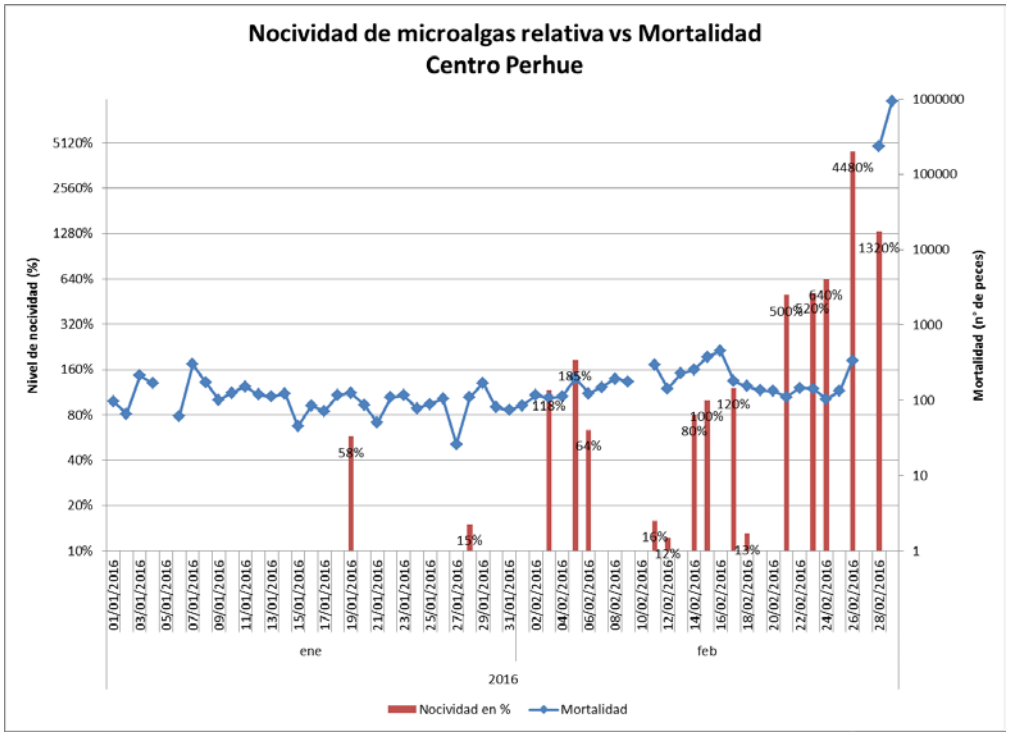

Figura 2.-Nocividad relativa de microalgas (%) y mortalidad (n° de peces) de forma diaria durante enero y febrero del año 2016 en el centro Perhue.

Las concentraciones de nocividad de *Pseudochattonella sp.* han ido variando en el último tiempo y ha generado variaciones en los niveles de activación de los medidas preventivas y planes de

[6] *e.g.* nocividad microalga A ≥ 10 cel/ml = 100%; nocividad microalga B ≥ 90 cel/ml = 100%. Concentración de microalga A = 5 cel/ml -50% nivel nocivo- y de microalga B= 45 cel/ml -50% nivel nocivo- = 100% nivel nocivo en términos relativos.

contingencia[7]. Lo anterior guarda coherencia con la naturaleza casuística con que se ha abordado el FAN, actualizándose y sistematizándose la información en la medida que se detectan y produce eventos asociados a las mismas.

Al revisar las concentraciones absolutas de *Pseudochattonella sp.,* podemos observar que hubo varios días en se superaron los niveles de nocividad establecidos a la fecha, pero no se observaron incrementos en la mortalidad de peces, hasta que las concentraciones de *Pseudochattonella sp.,* fueron mucho mayores y se gatilló la mortalidad masiva (Figura 3).

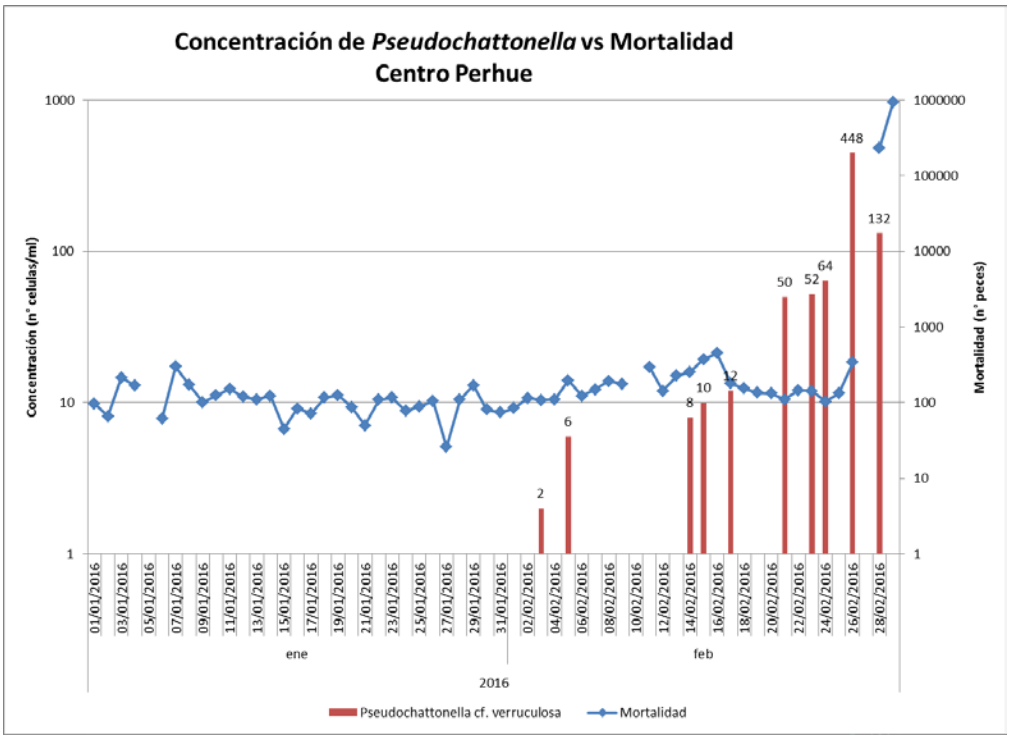

Figura 3.- Concentración de Pseudochattonella sp. (células/ml) y mortalidad (n° de peces) de forma diaria durante enero y febrero del año 2016 en el centro Perhue.

Al revisar los antecedentes concentración de microalgas nocivas y mortalidad de peces en otro centro de cultivo, ubicado en la Región de Aysén, también se pudo observar la presencia de varias especies nocivas (y bajo los niveles de nocividad) y la ausencia en alza en la mortalidad durante varias semanas y un posterior aumento en la mortalidad (Figura 4) que puede ser producto de diversos factores distintos a las microalgas nocivas.

Este caso adicional, se incorpora con el fin de mostrar evidencia de otro Centro en otro lugar y condiciones marinas, que sin embargo ratifica lo señalado hasta acá para Centro Perhue. Esto es, que es posible observar múltiples y sucesivos casos de alza de FAN y superación de concentraciones

[7] Nivel nocivo Intesal 2015: 2 cel/ml; Nivel nocivo Intesal 2017: 10 cel/ml; Res. Sernapesca 2198/2017: 50 cel/ml.

de algas datadas bibliográficamente como nocivas, sin que por ello se alteren los niveles de mortalidad.

Asimismo, es dable destacar la dispersión y aleatoriedad en la aparición y concentraciones de FAN. Así, no sólo no es posible predecir las consecuencias que puede tener la aparición de un alga nociva, como muestra la información vertida hasta acá, sino que tampoco es posible anticipar un patrón de comportamiento.

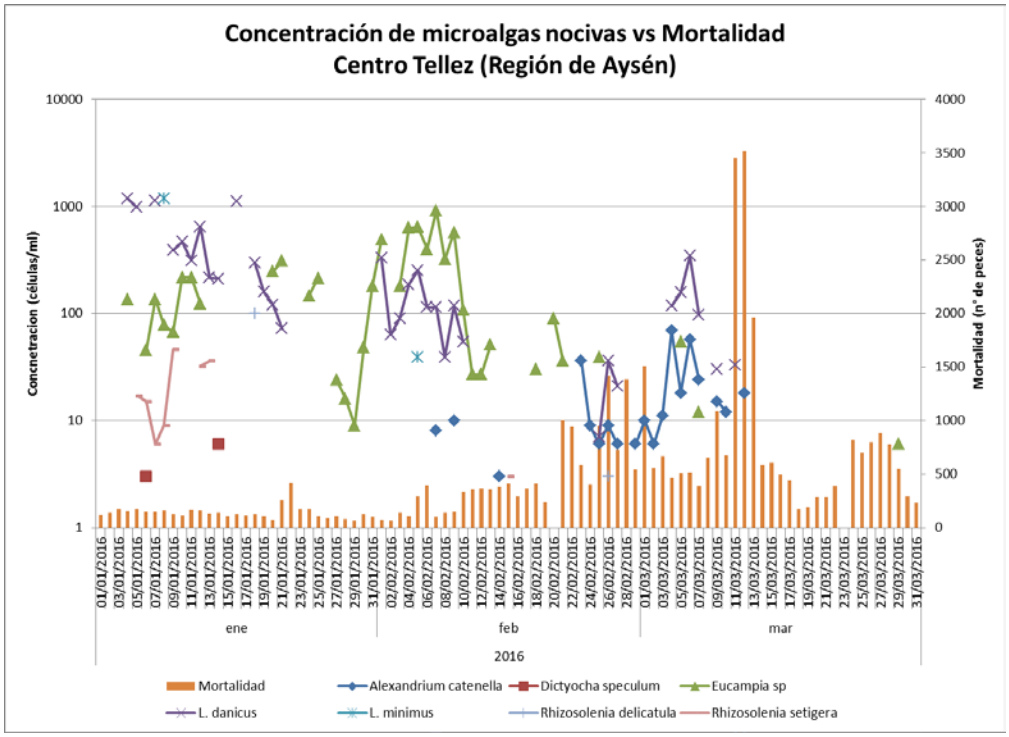

Figura 4.- Concentración de microalgas nocivas (células/ml) y mortalidad (n° de peces) de forma diaria durante enero a marzo del año 2016 en el centro Tellez (Región Aysén).

2.2. Conclusión.

La revisión y análisis de los registros de mortalidades de peces y de ocurrencia de microalgas nocivas da cuenta que no existe una relación directa entre los niveles de nocividad y la mortalidad. En efecto, la superación de un umbral de nocividad no se ve reflejado en la mortalidad posterior. Asimismo, hemos igualmente mostrado cómo es que la FAN es un fenómeno eminentemente aleatorio y contingente, sin que sea posible establecer y anticipar un patrón futuro de aparición.

Todo lo anterior, refuerza y ratifica el plan de acciones propuesto en el Protocolo sometido a conocimiento y juicio de la División de Sanción y Cumplimiento de la Superintendencia del Medio Ambiente, considerándose 3 niveles de acción:

- Medidas de monitoreo permanente: Protocolo, sección IV. Plan de monitoreo diario y permanente de algas nocivas.
- Medidas preventivas ante aumento de algas: Protocolo, sección V. Plan de acciones preventivas en caso de aumento de algas nocivas y sus medidas (i) implementación de restricción de alimentación, (ii) utilización de equipos de aireación antiboom y (iii) desdoble sanitario.
- Medidas de reacción ante mortalidad masiva: Protocolo, sección VI. Plan de acciones en caso de mortalidad masiva, y sus medidas (i) Traslado de peces vivos a otro centro de cultivo, (ii) cosecha anticipada y (iii) extracción de mortalidad.

Frente a un fenómeno altamente aleatorio como el que venimos describiendo, la implementación de la acción de cosecha anticipada de los peces como una medida preventiva, redunda en el establecimiento de una acción irreversible frente a una consecuencia probable y no anticipable, que obedece a una serie de factores respecto de los que no se tiene control ni información suficiente para anticipar su comportamiento.

La ciencia, hoy nos permite tener certeza de que las FAN obedecen a diversos factores ambientales como corrientes, mareas, regímenes de vientos, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, etc. y sanitarios como presencia de enfermedades, ectoparásitos, etc. y que estos se encuentran correlacionados e interrelacionados. Sin embargo, no se conoce cómo se determina y/o se produce esta relación, de forma tal que no es posible anticipar o predecir sus efectos y consecuencias en relación con la mortalidad de los peces.

En reconocimiento de esto es que el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca) emitió las Resoluciones Exentas 8561/2016 y 8927/2016, que establecen las acciones concretas para el manejo y retiro de mortalidad masiva, para que los industriales puedan realizar un manejo responsable de las mortalidades masivas.

Posteriormente, Sernapescaemitió la Resolución Exenta 2198/2017 y el Ordinario 112756/2017, donde se establece que los titulares de centros de cultivo informarán al Servicio cuando se superen los límites de referencia de nocividad de algunas microalgas nocivas que están definidas; este monitoreo se debe mantener hasta que los niveles de las microalgas nocivas bajen los niveles referenciados.

Este sistema de información asegura que Sernapesca esté actualizado frente a la abundancia de fitoplancton nocivo, pero no establece medidas preventivas para el resguardo de los peces. Lo anterior, guarda relación con lo que hasta acá hemos venido exponiendo, centrándose las acciones de prevención en asegurar el flujo de información y preparación de una respuesta efectiva ante la verificación efectiva de mortalidad masiva producto de FAN.

3. Bibliografía de referencia.

i. Clement, A., Lincoquero, L., Saldivia, M., Brito, C.G., Munoz, F., Fernandez, C., Perez, F., Maluje, C.P., Correa, N., Moncada, V., Contreras, G., 2016. Exceptional summer conditions and HABs of Pseudochattonella in Southern Chile create record impacts on salmon farms. Harmful Algal News 53, 1–3.

ii. Tanaka, K., Muto, Y., Shimada, M., 1994. Generation of superoxide anion radicals by the marine phytoplankton organism, Chattonella antiqua. J. Plankt. Res. 16 (2), 161–169.

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

iv. Onoue, Y., Nozawa, K., 1989. Separation of toxins from harmful red tides occurring along the coast of Kagoshima prefecture. In: Okaichi, T., Anderson, D.M., Nemoto, T. (Eds.), Red Tides. Elsevier Science Publishing Co., Inc. New York, pp. 371–374.

v. Kahn, S., Ono, K., Haruyama, M., Iwashita, T., Onoue, Y., 2000. Environmental factors affecting the neurotoxin production of Chattonella antiqua (Raphidophyceae). In: Hallegraeff, G.M., Blackburn, S.I., Bolch, C.J.S., Lewis, R. (Eds.), Harmful Algal Blooms 2000. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, pp. 308–311.

vi. Skjelbred, B., Edvardsen, B., Andersen, T., 2013. Environmental optima for seven strains of Pseudochattonella (Dictyochophyceae, Heterokonta). J. Phycol. 49, 54–60.