

# Ocurrencia e Impacto de las FANs en la Salmonicultura en el Sur de Chile: Análisis del Programa de Monitoreo de INTESAL de SalmonChile

## *HABs Occurrence and Impact on Salmon Farming in South of Chile: Analysis of the Monitoring Program from Intesal, SalmonChile*

Nathalie M. Fuica, Ximena Rojas, Alejandro Clément (\*), Verónica Bittner, María Teresa Silva, Claudia Uribe.

Area Medio Ambiente, Instituto Tecnológico del Salmón, Puerto Montt, Chile. Email: nfuica@salmonchile.cl

(\*) Plancton Andino Ltda., Terraplén N° 869, Puerto Varas, Chile.

### Abstract:

The Phytoplankton Monitoring Program carried out by Intesal, SalmonChile has been developed for more than 18 years, collecting oceanographic and phytoplankton data from the marine inland sea of X and XI region, creating a valuable database for the industry and the aquaculture sector. This has enabled the identification and impact of phytoplankton species that generate problems for fish, with a description of occurrence of periods of higher risk zones of HABs. Many of these blooms may produce mortalities amongst farmed salmonids. Finally, through the work herein some relationships between harmful phytoplankton and environmental parameters have been established. Determining mechanisms that regulate the behavior of biological and physico-chemical variables, it is possible to improve the forecast of these events. Due to the aforementioned, it is essential to continue developing the Phytoplankton Monitoring Program, providing the required information in a systematic way to improve forecasts, and, consequently, decision making for facing environmental events affecting fish farming.

### Resumen:

El Programa de Monitoreo de Fitoplancton de Intesal se ha desarrollado por más de 18 años, obteniendo información oceanográfica y del fitoplancton del mar interior entre la X y XI regiones, para alimentar una base de datos de gran valor para la industria del salmón chilena y el sector acuícola en general. Esto ha permitido la identificación e impacto de las especies de fitoplancton que generan problemas en los peces, las épocas de ocurrencia y zonas de mayor riesgo. Muchas de estas floraciones pueden provocar mortalidad de salmónidos en cultivo. En conclusión, se han establecido ciertas relaciones entre especies de fitoplancton nocivas y parámetros ambientales. Determinando los mecanismos que regulan el comportamiento de las variables biológicas y físico-químicas, es posible mejorar el pronóstico de estos eventos. Por lo anterior, es fundamental seguir desarrollando el Programa de Fitoplancton de Intesal-SalmonChile, para mejorar los pronósticos y tomar adecuadas decisiones ante eventos ambientales que alteren el cultivo de los peces.

### Introducción

La ocurrencia, distribución geográfica y duración de las Floraciones Algales Nocivas (FAN), ha aumentado en el mundo con el consecuente impacto económico en las pesquerías comerciales y en la acuicultura, (Hallegraeff, 2003; White, 1988; Taylor & Horner, 1994) generando en algunos casos mortalidades en el cultivo de los salmónidos.

En Chile las FAN han afectado la industria salmonicultora fundamentalmente desde 1988 cuando el flagelado *Heterosigma akashiwo* provocó mortalidades importantes por sobre las 2.000 toneladas en la zona de Hornopirén, Seno Reloncaví y mar interior de Chiloé, entre otras, en la incipiente industria de salmónes.

Posteriormente, se han registrado otros eventos nocivos provocados por las diatomeas *Leptocylindrus minimus* (Clément, 1994) y *Chaetoceros convolutus* (Clément & Lembeye, 1993) y los dinoflagelados *Alexandrium catenella* y *Gymnodinium* sp. (Clément *et al.*, 1999). También se ha registrado la presencia y efectos nocivos en peces debido a la rafidoficea *Chatonella* sp., en el mar interior norte de la X región (Clément com. per.). Inapetencias e irregularidades en la conducta de peces y mortalidades son provocadas fundamentalmente por dos causas; problemas mecánicos a nivel de branquias debido a la forma celular específica del fitoplancton y en segundo lugar por la presencia de ictio-toxinas en las células de flagelados afectando también tejidos branquiales. Por tanto, ambos problemas generan alteraciones al normal proceso de intercambio de gases y, por ende, un efecto negativo en el metabolismo de los peces.

Entender la dinámica de estas especies para pronosticar su ocurrencia y desarrollo requiere de monitoreos intensivos y de series de tiempo adecuadas, de variables relevantes como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, conducta y características de los peces en cultivo, y por último los atributos del centro y de las estructuras flotantes. Toda esta información es posible obtenerla a través de un Programa de Monitoreo, como el que Intesal ha llevado a cabo desde 1988. Esto ha permitido alimentar una base de datos, la que archiva información de la identificación de especies y concentraciones celulares que provocan mortalidades y estrés en los peces, además de épocas y zonas de mayor ocurrencia.

El Programa comenzó con aproximadamente 10 estaciones de la X Región, fortaleciéndose y duplicándose desde el año 2003, monitoreándose en la actualidad 53 estaciones que abarcan desde la X hasta la XII región. El envío de muestras se realiza de acuerdo a un calendario predeterminado. El protocolo de colecta de muestras considera en general los niveles de profundidad en superficie, 5 y 10 m, y se envían al laboratorio de análisis junto con una Ficha de Monitoreo, que incluye parámetros ambientales, y de la conducta de los peces. Luego se despachan los resultados de fitoplancton cuantitativo a todas las empresas del sector de donde provienen las muestras de agua.

Conocer los resultados lo más rápido posible es de gran importancia para los productores de salmónidos, ya que pueden anticiparse a los eventos de floraciones algales nocivas, bajas de oxígeno y, por ende, disminuir riesgos.

El objetivo de este trabajo es informar los resultados del análisis estadístico del Programa de Monitoreo de Plancton, obtenidos en el período 1989-2006. Se entregan conclusiones de una recopilación de información con el fin contribuir en el pronóstico de las FAN. Desde un punto de vista científico y también práctico se analiza la dinámica del fitoplancton en la columna de agua, la variabilidad espacio-temporal de las especies nocivas y su relación con la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto.

## **Materiales y Métodos**

La información de la base de datos de Intesal de SalmonChile fue analizada y procesada considerando los siguientes esquemas:

- **Estadística Descriptiva:** Se calculó para cada variable y estación de monitoreo los estadígrafos descriptivos básicos: tales como promedio, mediana, moda, desviación estándar y asimetría, entre otras. Sin embargo, para la descripción de la distribución de las variables, en los distintos meses y años, se presentan solamente la mediana, desviación estándar, máximos, mínimos y el coeficiente de asimetría. Como medida de tendencia central se adopta la mediana, ya que es el estadígrafo que no está gobernado por los valores extremos, por lo tanto es un buen indicador de la realidad en cada estación de monitoreo. El coeficiente de asimetría, por otra parte, indica la dirección (influencia de valores altos o bajos) que se presenta dentro de la muestra de datos. En ese sentido, entrega antecedentes del sesgo del comportamiento de la serie de datos (Bittner y Silva, 2006).

- **Análisis de Series de Tiempo:** Para estudiar la distribución de las series de fitoplancton, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura, se utilizan técnicas descriptivas tradicionales, como representación gráfica de la variable en función del tiempo y datos en función de la media aritmética de cada mes (gráficos de subseries).

Una serie de tiempo está formada por cuatro componentes: tendencia, estacionalidad, ciclos y componente irregular. Los dos primeros se pueden identificar, aislar y utilizar para realizar pronósticos, mientras que los restantes pueden identificarse, pero no pronosticarse, ya que no presentan un comportamiento regular en el tiempo.

Se estiman índices estacionales, con el fin de determinar y precisar si este comportamiento es similar en todas las zonas muestreadas. Los índices estacionales describen la variabilidad de la variable, en torno a un valor central: la media aritmética de los datos a lo largo del período

observado. Este valor central corresponde al índice 100 y el valor de cualquier índice en un determinado mes muestra el porcentaje de variación (aumento o disminución) de la variable en ese período con respecto al valor medio. Por ejemplo, un índice de 123, indica que ese mes la variable aumentó, en promedio, en un 23 % con respecto al promedio anual.

Se representan los puntos de las series junto con una línea que indica, en forma conjunta, la tendencia y los ciclos de la serie. Esta poligonal se calcula mediante un promedio móvil de orden 12 que elimina las fluctuaciones estacionales, dejando sólo los otros componentes de la serie presentes (ciclos, tendencia y componente irregular). A través de este enfoque visual se puede detectar si existe un movimiento significativo de la serie a largo plazo (tendencia a aumentar o disminuir sistemáticamente) y los principales ciclos en el tiempo analizado.

Para estudiar la tendencia de las series de tiempo, se desestacionalizan los datos, es decir, se extrae de ellos el componente estacional, con el fin de estabilizarla y lograr que estas fluctuaciones no influyan sobre la tendencia. Luego se realiza un análisis de regresión simple de los valores de la variable desestacionalizada en función del tiempo, y se observa si la pendiente es significativa o no, concluyendo si la serie presenta algún tipo de tendencia temporal.

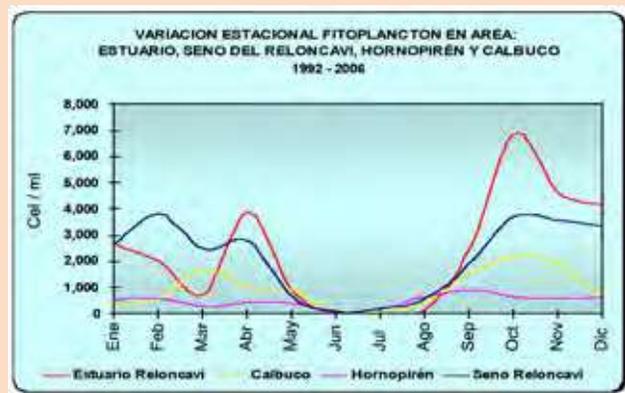
También se realiza una comparación de los promedios según zona, mes y año, la que se lleva a cabo a través de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Cuando se aplican transformaciones a las variables en estudio (igualdad de varianzas entre las poblaciones comparadas), es un factor fundamental la utilización de un análisis de varianza paramétrico. Al encontrarse diferencias significativas entre las poblaciones estudiadas, éstas se identifican a través de la comparación de gráficos de caja y de los intervalos de confianza para la mediana. Estos análisis se realizaron con el Programa STATGRAPHICS-PLUS 5.1.

## Resultados y Discusión

### Variabilidad Estacional por Areas

La *Figura 1* muestra la variabilidad estacional de la concentración de fitoplancton en el Estuario Reloncaví, Seno Reloncaví, Hornopirén y Calbuco. En estas zonas se observa un incremento de máxima abundancia de fitoplancton en primavera y un segundo aumento, aunque de menor intensidad en otoño, situación característica de

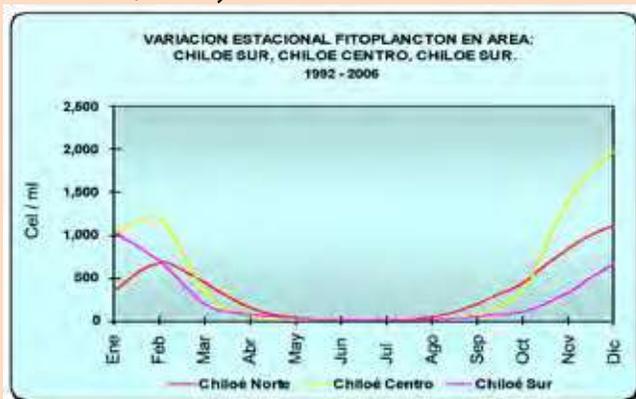
*Fig. 1: Variabilidad estacional de fitoplancton (células/mL) en Estuario, Seno Reloncaví, Hornopirén y Calbuco.*



zonas templadas (Parsons *et al.*, 1977). Se destaca que en el Estuario Reloncaví las concentraciones de fitoplancton (células/mL) son más elevadas en relación a las otras áreas analizadas.

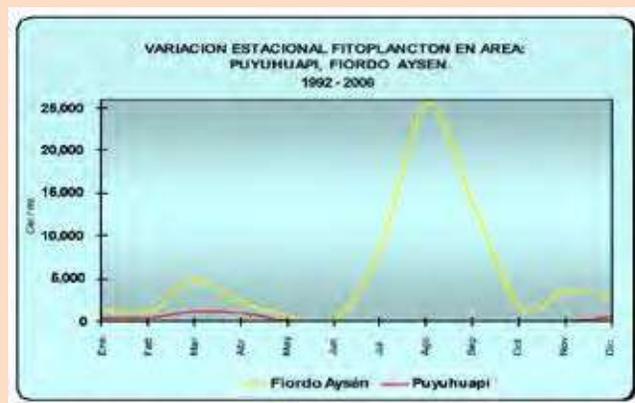
Por otro lado, en el Archipiélago de Chiloé Norte, Central y Sur se observa un solo incremento de fitoplancton, entre noviembre y febrero, y no se advierte tan claramente un segundo aumento en otoño (*Figura 2*), lo que coincide con lo observado por Toro *et al.*, 1999. La variabilidad entre zonas adyacentes ha sido estudiada en otros lugares y se asocia principalmente a la estructura física de la columna de agua (Gailhard *et al.*, 2002) lo que está estrechamente relacionado a los gradientes de temperatura y salinidad, aunque también puede obedecer a las diferencias topografías, descargas de ríos, como en el caso de estuarios y fiordos, lo que marca una diferencia con respecto al Archipiélago de Chiloé.

*Fig. 2: Variabilidad estacional de fitoplancton (células/mL) en Chiloé Norte, Centro y Sur.*



En la XI región, en particular en el Fiordo Aysén, se observa un patrón de zonas templadas, sin embargo las concentraciones celulares de fitoplancton son más bajas comparadas con el Estuario y Seno Reloncaví. En canal Puyuhuapi muestra un máximo en verano — otoño, con concentraciones cercanas a las 25.000 células/mL y un incremento primaveral de moderada intensidad (5.000 células/mL) (*Figura 3*). Estas diferencias pueden estar asociadas al patrón de precipitaciones de la zona, ya que se ha registrado una directa relación entre anomalías en las precipitaciones y abundancia de fitoplancton en dicha área (Clément com. per.). Anomalías negativas de pluviosidad coinciden con una alta productividad, en contraste a estados normales o de anomalías positivas, donde la productividad es mayor (Sepúlveda *et al*, 2005).

**Fig. 3: Variabilidad estacional de fitoplancton células/mL en Puyuhuapi y Fiordo Aysén.**

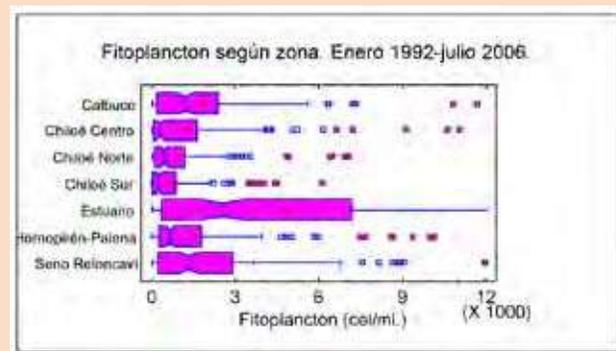


### Variabilidad Espacial

Al comparar la concentración de fitoplancton entre áreas, desde 1992 a 2006 (*Figura 4*), se puede observar una mayor abundancia en el Estuario Reloncaví, con valores medios de 7.000 células/mL. Esta mayor concentración estaría influenciada por el aporte de sílice proveniente de los ríos, mayor temperatura y menor salinidad, generando gradientes extremos de densidad en la columna de agua.

La segunda área con mayor abundancia de fitoplancton corresponde al Seno Reloncaví y Calbuco, con valores medios máximos de 3.000 células/mL, seguidos de Hornopirén y Chiloé Centro. Las zonas con menor abundancia de fitoplancton corresponden a Chiloé Norte y Sur que se caracterizan por recibir masas de aguas del Océano Pacífico a través del canal Chacao y Golfo Corcovado respectivamente, el que modificaría la estructura física y química de la columna de agua, en áreas circundantes, generando mayor renovación de aguas,

**Fig. 4: Variabilidad de fitoplancton entre áreas.**



menor temperatura, mayor salinidad, en comparación al mar interior de las zonas de cultivo. No se consideró la XI región por no presentar datos suficientes para este tipo de análisis.

En el canal Chacao se observa una fuerte mezcla vertical asociada a un constante flujo de entrada y salida de agua oceánica hacia el Golfo Ancud, por la parte media del canal, y un flujo de salida hacia el océano por los laterales del mismo, a una velocidad cercana a los 4 m/s (Cáceres, 2003). En el caso del Golfo Corcovado los cruceros CIMAR (Programa de Investigación Marina del Comité Oceanográfico Nacional) han estudiado la zona, demostrando que presenta menor productividad por el ingreso y egreso permanente de aguas oceánicas, que causan una mayor inestabilidad en la columna de agua (Silva, 2003).

### Variabilidad Interanual

Al analizar todas las áreas de estudio con la prueba de Kruskal Wallis para igualdad de medianas anuales desde el 1992 a 2006, se observa que las medias anuales muestran abundancia del fitoplancton variable, y no se registra una tendencia al aumento o disminución, como lo indica el gráfico de cajas (*Figura 5*), donde las máximas concentraciones de fitoplancton se han registrado los años 1992, 2000 y 2003.

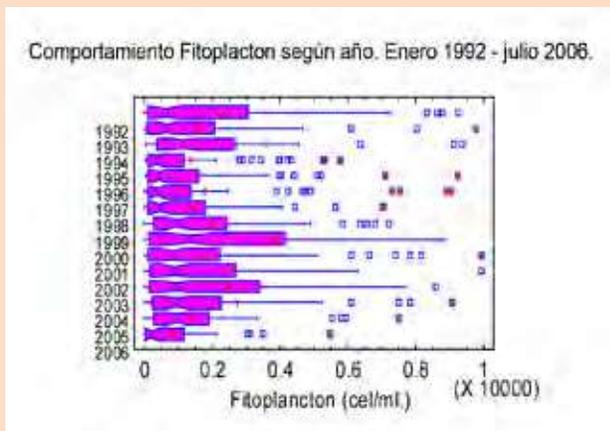
## Resultados de Análisis Estadístico de Especies Nocivas de Fitoplancton

### Distribución Temporal y Espacial

#### Alexandrium catenella

Desde 1972 a la fecha se ha observado un desplazamiento de

Fig. 5: Gráfico de cajas de prueba Kruskal Wallis de igualdad de medianas anuales de la concentración de fitoplancton entre 1992 y 2006

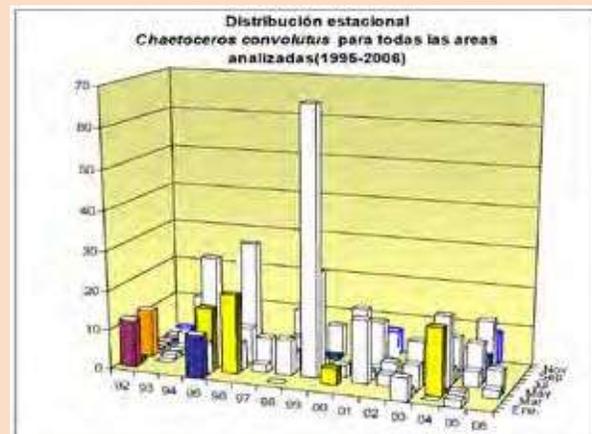


esta especie, productora del Veneno Paralizante de Mariscos (VPM) desde el sur patagónico hacia el norte (Guzmán *et al.*, 2002). En 2002 se presentó una marea roja intensa de este dinoflagelado afectando el centro-sur del Archipiélago de Chiloé, particularmente Quellón (Clément *et al.* 2002). En tanto el año 2006 el Programa de Monitoreo detectó un aumento de las concentraciones de esta alga (> de 400 células/mL) en la XI región. Todos estos eventos ocurrieron entre enero y marzo y sus orígenes estarían en los bancos de quistes, mientras que la dinámica estaría gobernada por el régimen de circulación y la estructura física de la columna de agua, ambas influenciadas por la acción del océano circundante (Molinet *et al.*, 2003). Un estudio reciente de la reconstrucción histórica de las Floraciones Algas Nocivas (FANs) mediante quistes de dinoflagelados en sedimentos marinos en el sur de Chile, realizado por Salgado y Salamanca (in prep.) indicaría que en 1973 hubo una floración algal nociva de *Alexandrium catenella*, determinada a partir de los quistes descubiertos en la localidad de Yenecura (Quellón).

### Chaetoceros convolutus

Se observa en *Figura 6* que *Chaetoceros convolutus* está presente todo el año, sin embargo alcanza concentraciones máximas entre abril y mayo, por tanto es una especie de ocurrencia otoñal. Esto coincide con el modelo sucesional descrito por Smayda (1980) para zonas templadas, que considera crecimiento de dinoflagelados en verano y diatomeas en otoño. La distribución espacial de la diatomea es principalmente en el Seno Reloncaví, sector septentrional del mar interior de la X región, hasta Hornopirén, y ausente de Chiloé Centro

Fig. 6: Distribución estacional de *Chaetoceros convolutus* para todas las áreas de estudio desde 1992-2006



y Sur. Verticalmente esta diatomea se observa con mayor frecuencia entre los 10 y 15 m, lo que puede estar asociado a los requerimientos fisiológicos de la especie, ya que se ha demostrado que requiere salinidades mayores a 25 ppm para su óptimo crecimiento (Harrison *et al.*, 1993).

### Heterosigma akashiwo

La distribución temporal de *Heterosigma akashiwo* está limitada preferentemente a los meses de verano, entre diciembre y abril (*Figura 7*).

El Programa de Monitoreo ha detectado esta especie en los años 1994 y 1999, pero en bajas concentraciones, menores a 30 células/

Fig. 7: Distribución estacional de *Heterosigma akashiwo* en las áreas de estudio.



mL. Esto se asocia a la mayor temperatura de esos años, debido a que esta especie tiene un umbral de crecimiento que va desde los 10° C a los 30° C. Estudios de laboratorio muestran que a mayor temperatura del agua mayor es su crecimiento, aunque es menor su toxicidad. Es decir, a temperaturas menores a 20 ° C la toxicidad es mayor (Ono *et al.*, 2000).

La distribución espacial de *Heterosigma akashiwo* se ha centrado en el Estuario Reloncaví, Seno Reloncaví, Calbuco, Hornopirén-Reñihué y Chiloé Norte, sin embargo es posible que sea más amplia, considerando que en 1988 se observaron manchas café de esta especie en Chiloé centro y Chiloé sur (Bolados A. y Alvial. com. per.).

### Leptocylindrus minimus

Se evidencia la presencia de *Leptocylindrus minimus* desde 1992 hasta 2006, durante todos los meses del año, pero esta especie alcanza sus máximas concentraciones en los meses estivales, desde noviembre a enero, llegando hasta 46.000 células/mL en diciembre de 1998 (Figura 8). Este patrón no es coincidente con el modelo sucesional descrito para aguas templadas por Smayda (1980), que se inicia con diatomeas en primavera y continúa con dominancia de dinoflagelados en verano.

Se encuentra en todas las áreas de muestreo, sin embargo, ha alcanzado las más altas concentraciones celulares en Chiloé Centro, particularmente en el canal Lemuy; aunque en Hornopirén y Chiloé sur también alcanza elevadas concentraciones.

### Leptocylindrus danicus

Esta especie se ha observado en concentraciones elevadas los años 2000 y 2004, con valores medios máximos de 38.000 células/mL y se

Fig. 8: Distribución temporal de *Leptocylindrus minimus* desde 1992 al 2006.

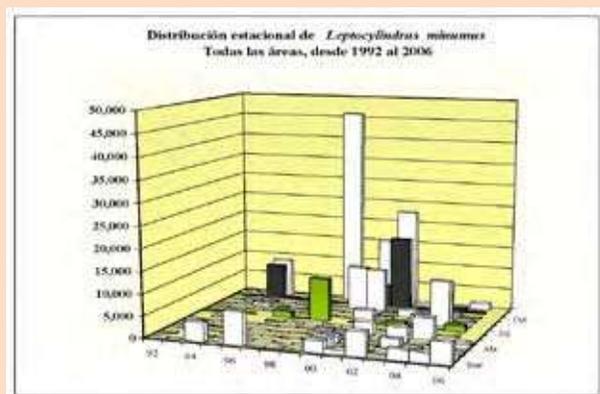
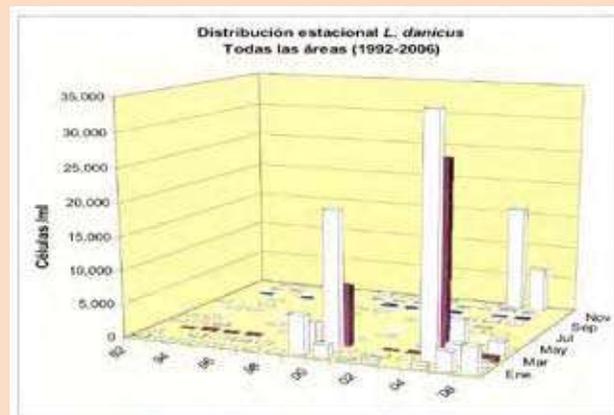


Fig. 9: Distribución temporal de *Leptocylindrus danicus* desde 1992 al 2006.



distribuye preferentemente entre febrero y marzo (Figura 9).

Tiene la misma distribución de *Leptocylindrus minimus*, con máximas concentraciones también en Chiloé Centro, el año 2004, cuando la floración provocó un gran impacto en el cultivo de salmones en el Canal Lemuy.

### Variables Oceanográficas Analizadas del Programa de Monitoreo de Fitoplancton de Intesal de SalmonChile

#### Oxígeno Disuelto (OD)

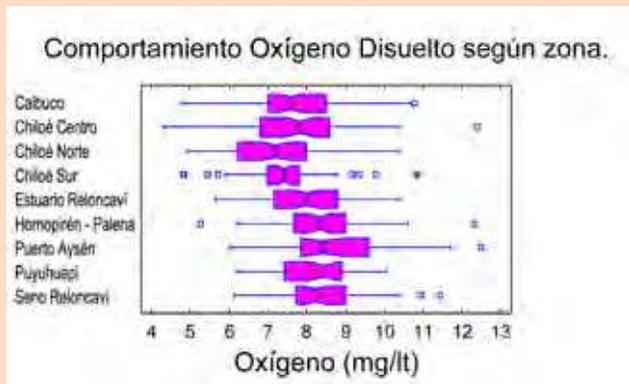
Las bajas de OD son procesos que afectan la vida acuática y en particular el cultivo de salmónidos, donde los animales confinados no pueden buscar otros sectores con mayores niveles de OD. Un estudio realizado por Crampton *et al.*, 2003, muestra que a menor porcentaje de saturación de OD en el agua, más baja es la tasa de crecimiento y mayor el factor de conversión en salmones del Atlántico, entre 600 a 800 g. Iguales resultados se han obtenido para otras especies de cultivo, tales como turbot y dorada (Pichavant, 2000; Calderer, 2001)

### Resultados del Programa de Monitoreo de Plancton de Intesal de SalmonChile

#### Variabilidad entre Areas y Estacional

Se observa en la Figura 10, que las estaciones del Seno Reloncaví, Hornopirén-Palena, Puyuhuapi y Fiordo Aysén no presentan diferencias significativas en sus valores medios; sin embargo, todas difieren de Calbuco, Chiloé Norte y Chiloé Sur. Estas tres últimas áreas no presentan diferencias significativas entre sí.

Fig. 10: Variabilidad del oxígeno disuelto entre áreas, datos compilados entre los años 2000 a 2006.



El Estuario Reloncaví, en cambio, presenta diferencias importantes con Chiloé Norte y Chiloé Sur, pero no con Calbuco, por lo que se deduce que el área de Chiloé registra menores valores de OD, desde un punto de vista estadístico, en comparación con la zona continental.

Históricamente en todas las áreas de cultivo, los meses de marzo, abril y mayo se observan las menores concentraciones de OD, lo que estaría asociado a varios procesos, entre ellos la ruptura de la termoclina y los ascensos de aguas intermedias de mayor salinidad hacia a la superficie. Se destaca que los años con intensas floraciones de fitoplancton pueden consumir OD, especialmente en la etapa del decaimiento y por ende con la degradación de la materia orgánica resultante de ello. (Rensel & Whyte, 2003).

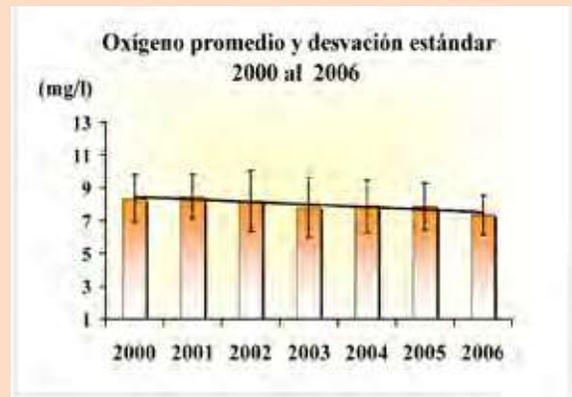
Los niveles de OD mejoran en los meses de invierno, debido al mejor intercambio aire - agua y la condición de mezcla de la columna de agua durante este período.

La Figura 11 exhibe una serie de tiempo de la tendencia de los niveles de OD, entre el 2000 al 2005 de todas las áreas de muestreo y se observa una leve tendencia a la baja de OD superficial desde el 2000 al 2005, considerando todo el conjunto de datos de las áreas en estudio. Esta disminución obedece a factores meteorológicos, como la disminución de las precipitaciones y al aumento de la densidad de la biomasa en los centros de cultivo, entre otros.

**Salinidad**

La salinidad muestra una distribución muy variable en las distintas estaciones de monitoreo, principalmente debido a la ubicación

Fig. 11: Serie de tiempo del oxígeno disuelto promedio superficial desde el 2000 al 2006.



cercana a las fuentes de aguas continentales, como el sector de fiordos. La Figura 12 muestra la salinidad (psu) en las distintas zonas de estudio. Se observa que las zonas de Calbuco, Chiloé Norte, Centro y Sur, presentan los niveles más altos y más homogéneos respecto de las otras cinco zonas.

Las áreas con influencia oceánica costera como Calbuco, Chiloé Centro, Norte y Sur no presentan mayores diferencias de salinidad en relación a zonas con aportes de agua dulce como el Estuario Reloncaví, Hornopirén, Fiordo Aysén, Puyuhuapi y Seno Reloncaví.

**Temperatura**

El análisis de igualdad de medianas de temperatura para datos no- paramétricos (Kruskal Wallis), obtenidos del Programa de Monitoreo, indica una oscilación entre períodos con temperaturas

Fig. 12: Comportamiento de salinidad en las distintas zonas de estudio

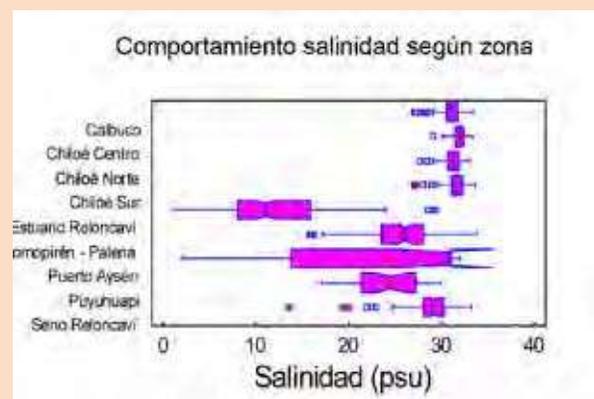
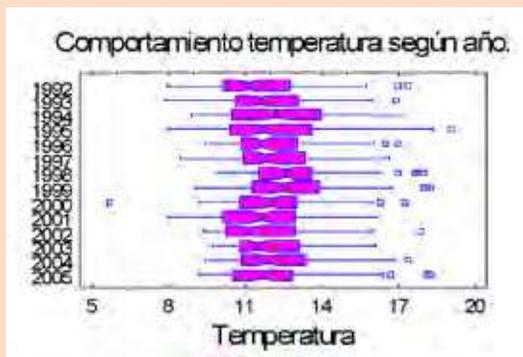


Fig. 13: Variabilidad interanual de temperatura desde 1992 a 2005

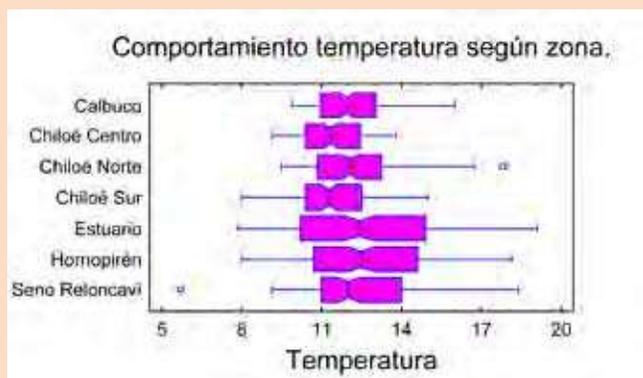


bajas y altas. La **Figura 13** muestra mayores temperaturas medias en 1994 y 1998-99, lo que coincide con el informe de Cassis *et al* 2002 para la zona de Aysén. Aumentos en la temperatura media para algunos años podrían estar asociados a anomalías térmicas producto del Fenómeno del Niño.

#### Variabilidad entre Zonas

La variabilidad de temperatura entre un área y otra se debe principalmente a la ubicación geográfica de cada una. Asimismo, en zonas cercanas entre sí, los factores que influyen en la variabilidad están dados por la topografía y el grado de ventilación de las masas de agua; su cercanía a zonas con influencia oceánica -como es el caso de Chiloé Norte y Sur- y los procesos de advección que ocurran entre el mar interior y el océano. Por lo anterior, las mayores temperaturas medias y valores extremos se registran en el Estuario Reloncaví y Hornopirén, y las menores en Chiloé Centro y Sur (**Figura 14**).

Fig. 14: Variabilidad de temperatura media entre las distintas áreas de estudio.



#### Conclusiones

- El fitoplancton de áreas con columnas de agua más estratificadas, como Estuario y Seno Reloncaví, Calbuco, Hornopirén y Fiordo Aysén presentan un patrón de abundancia típico de zonas templadas, es decir dos incrementos; uno en primavera más intenso, y otro en otoño de menor magnitud, pero dicho patrón no se observa en el Archipiélago de Chiloé, ya que la estratificación no es tan marcada como en los sectores antes mencionados. Las áreas con mayores concentraciones de fitoplancton son el Estuario y el Seno Reloncaví.
- En el período de 17 años no se observa una tendencia al aumento o disminución, desde un punto de vista estadístico, de la abundancia de fitoplancton en el mar interior del sur de Chile.
- La diatomea *Chaetoceros convolutus* tiene una ocurrencia preferentemente otoñal en el mar interior, pero en general en Chiloé Centro y Norte no ha generado floraciones nocivas recurrentes.
- *Leptocylindrus minimus* y *danicus* tienen ocurrencia estivales y alcanzan concentraciones críticas en Chiloé Centro y Sur, Seno Reloncaví y Hornopirén. Se estima que su morfología cilíndrica y aguzada de sus células en filamentos, provocaría daño mecánico en las branquias de los salmónidos. Ambas especies pueden crecer en conjunto y provocar mortalidades en salmónidos.
- La rafigoficea *Heterosigma akashiwo* se ha observado en bajas concentraciones, menores a 30 células/mL los años 1994 y 1999, durante los meses de verano. Estas algas poseen sustancias icctio-tóxicas por tanto en muy bajas concentraciones puede provocar mortalidades en salmónidos, como ocurrió el año 1988 en el mar interior de la X región, en una escala menor.
- Con los resultados obtenidos del análisis estadístico, se puede deducir que los flagelados (*Heterosigma* y *Gymnodinium sp.*) producen impactos muy severos en los cultivos de salmónes. Sin embargo, hasta ahora la ocurrencia de aparición ha sido baja. La época de crecimiento es generalmente a fines del verano e inicio del otoño, especialmente en años con menores precipitaciones (Clément *et al.* 2000). Por tanto se puede presumir que después de al menos un año de déficit importante de pluviosidad hay mayor probabilidad de ocurrencia de floraciones de flagelados en el mar interior de la X región.

- La distribución de la temperatura superficial muestra oscilaciones desde 1992 a 2005, pero llama la atención que las medias más altas se produjeran el año 1994 y 1998-99 períodos en que se presentaron eventos de El Niño. Por otra parte, las áreas con mayores temperaturas medias son el Estuario Reloncaví, Seno Reloncaví y Hornopirén, entre las que además se observan diferencias estacionales.

## Bibliografía

Albright L. J., Yang C.Z. & Johnson S., 1993. Sub-lethal concentrations of the harmful diatoms, *Chaetoceros concavicornis* and *C. convolutus*, increase mortality rates of penned Pacific salmon. *Aquaculture* 117: 215 – 225.

Arzul G., Rosenthal H., Clément A., Carreto J.I., 2002. Aquaculture in Southern America and Ecological Interactions with noxious phytoplankton: Introduction and Project Summary. In: *Aquaculture, Environment and marine phytoplankton*. Brest, 21-23 may 2001. G. Arzul (coord.) Ed. Ifremer, Actes Colloq., 34, pp. 7-28.

Black E.A., Whyte J.N.C., Bagshaw J.W. & Ginther N.G. 1991. The effects of *Heterosigma akashiwo* on juvenile *Oncorhynchus tshawytscha* and its implications for fish culture. *Journal of Applied Ichtiol.* 7(3): 168 -175.

Bruno D.W., Dear G., & Seaton D.D. 1989. Mortality associated with phytoplankton blooms among farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Scotland. *Aquaculture* 78:217 – 222.

Bitner V. & Silva, M. 2006: Informe Estadístico del Programa de Monitoreo de Fitoplancton, Intesal de SalmonChile.

Calderer A. 2001. Influencia de la temperatura y la salinidad sobre el crecimiento y consumo de oxígeno de la dorada (*Sparus aurata* L.). Memoria para optar al grado de Doctor en Cs. Biológicas. Universidad de Barcelona.

Cassid D., Muñoz P. y Avaria S. 2002. Variación temporal de fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile (45°26'S 73°00'W). *Rev. Bio. Marina y Oceanografía* 37(1): 43 – 65.

Cacères M. 2003. Observations of cross channel structure of flow in an energetic tidal channel. *Journal Geophysical Research*, vol. 108, No C4, 3114.

Clément A. & Lembeye G. 1993. Phytoplankton Monitoring Program

in the Fish Farming Region of South Chile. In: Smayda, T. & Y. Shimizu (Eds.), *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, pp. 223-228, Elsevier Science Publishers B.V.

Clément A. 1994. Harmful blooms of *Leptocylindrus minimus* in Southern Chile. *Harmful Algae News*, 8: 1

Clément A., Seguel M. y Arzul G. 1999. Fish kill in Chile associated with bloom of *Gymnodinium* sp. *HAB N°19*: pp. 5-6.

Clément A., Aguilera A., y Fuentes C. 2002. Análisis de la Marea Roja en el Archipiélago de Chiloé, Contingencia verano 2002. Resumen XXII Congreso de Ciencias del Mar Valdivia, Chile.

Clément A., Seguel M., Arzul G., Guzmán L. y Alarcón C. 2000. Widespread outbreak of haemolytic, ichthyotoxic *Gymnodinium* sp. in southern Chile. In: *Harmful Algal Blooms* (Eds. By G.M. Hallegraeff, S.I. Blackburn, C.J. Bolch and R.J. Lewis) pp: 66 -69. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.

Crampton V., Bergheim A., Gausen M., Naess A., Holland P. M. 2003. Effects of low oxygen on fish performance. Oxygen levels commercial salmon farming conditions. *Perspective*, Ewos.

Erard-Le-Denn E. & Ryckaert M. 1989. Trout mortality associated to *Distephanus speculum*. In: *Toxic Marine Phytoplankton* (Ed. By E. Graneli, B. Sundström, L. Edler & D. M Anderson) p.137. Elsevier Sc. Publishing Co. Inc., New York.

Gailhard, I., Gros Ph., Durbec J.P., Beliaeff B., Belin C., Nezáň E. & Lassus P. 2002. Variability patterns of microphytoplankton communities along the French coasts. *Mar. Ecol. Prog. Series* Vol. 242: 39 -50.

Guzmán L., Pacheco H., Pizarro G. & Alarcón C. 2002. *Alexandrium catenella* y veneno paralizante de los mariscos en Chile. In: Sara. E.A., Ferrario M. y Reguera B. (Eds) *Floraciones Algales nocivas en el cono sur americano*. Instituto Español de Oceanografía. Pp: 235 - 256.

Hallegraeff G.M. 2003. Harmful algal blooms: a global overview. In: Hallegraeff G.M., Anderson D.M. & Cembella A.D. (Eds.), *Manual on Harmful Marine Microalgae*, pp: 25-49, Unesco Publishing.

Hallegraeff G.M & Hara Y. 2003. Taxonomy of harmful marine raphidophytes. In: Hallegraeff G.M., Anderson D.M. & Cembella A.D. (Eds.), *Manual on Harmful Marine Microalgae*, pp: 511-522, Unesco Publishing.

- Harrison, P.J., P.A. Thompson, M. Guo & F.J.R. Taylor. 1993. Effects of light, temperature and salinity on the growth rate of harmful marine diatoms, *Chaetoceros convolutus* and *C. concavicornis* that kill netpen salmon. *Journal of Applied Phycology* 5: 259-265.
- Henriksen P., Knipschildt F., Moestrup O & Thomsen H.A. 1993. Autoecology, life history and toxicology of the silicoflagellate *Dictyocha speculum* / *Silicoflagellata, Dictyochophyceae*. *Phycologia* Col.32(1), 29-39.
- Jochem F. & Babenerd B. 1989. Naked *Dictyocha speculum* — a new type of phytoplankton bloom in Western Baltic. *Marine Biology* 103: 373-379.
- Jones J. & Rhodes L. 1994. Suffocation of pilchards (*Sardinops sagax*) by a green microalgal bloom in Wellington Harbour, New Zealand. *NZ j. J. Mar. Freshw. Res.*, Nº 28, pp 379-83.
- Kennedy, W.A., Shoop C.T., Griffioen W. & Solmie A. 1976. The 1974 crop of salmon reared on the Pacific Biological Station experimental fishfarm. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 612. 19 pp.
- Kent M. L. & Whyte J.N.C. 1998. Harmful Algal Blooms. In: Kent M. and Poppe T. (Eds) *Disease of seawater Netpen-reared salmonid fishes*. Fisheries and Oceans, Canadá. Pp: 91 — 97.
- Larsen J. & Moestrup O. 1989. Guide to toxic and potentially toxic marine algae. In: *Toksiske og potentilte toksiske alger I danske farvande*. (Ed) Bjergskov, Larsen J. Moestrup O, Sorensen H.M. Krogh P.) p 5 -62. Copenhagen.
- Moestrup O. 2002. Fitoflagelados potencialmente toxigénicos en el cono sur americano. In: Sara. E.A., Ferrario M. y Reguera B. (Eds) *Floraciones Algales nocivas en el cono sur americano*. Instituto Español de Oceanografía. Pp: 157 — 166.
- Molinet C., Lafon A., Lembeye G. & Moreno C. 2003. Patrones de distribución temporal y espacial de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1988, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile. *Rev. Ch. hist. Nat.* (76) (4):
- Ono K, Khan S. & Onoue Y. 2000. Effects of temperature and light intensity on the growth and toxicity of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). *Aquaculture Research*. Volume 31 Issue 5: 427
- Parsons, T.R., Takahashi, M. and Hargrave, B. 1977. *Biological Oceanographic Processes*. 2ª ed. Pergamon press.
- Pichavant K; Person-Le-Ruyet J.; Le Bayon N.; Sévère A.; Le Roux A.; Quémenér L.; Maxime V.; Nonnotte G.; Boeuf G. 2000. Effects of hypoxia on growth and metabolism of juvenile turbot. *Aquaculture* 188: 103-114.
- Reguera B. 2002. Establecimiento de un programa de seguimiento de microalgas tóxicas. In: Sar. E.A., Ferrario M. y Reguera B. (Eds.) *Floraciones Algales Nocivas en el cono sur americano*. Instituto Español de Oceanografía. Pp: 21 — 52.
- Rensel J. E. 1993. Severe blood hypoxia of Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to the marine diatom *Chaetoceros concavicornis*. In: Smayda T.J. and Shimizu Y. (Eds.) *Toxic Phytoplankton Blooms in the sea*. Elsevier Sci. Pub., N.Y. pp: 625 -630.
- Rensel J. E. & Whyte J. N. C. 2003. Finfish mariculture and Harmful Algal Blooms. In: Hallegraeff G.M., Anderson D.M. & Cembella A.D. (Eds.). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. (25) pp: 693 — 722. Unesco Publishing.
- Rivera P, Cruces F. & Clément A. 2002. *Leptocylindrus minimus* Gran (Bacillariophyceae): Morfología y distribución en Chile. *Gayana Bot.* (59) Nº 1
- Riley J. & Chester R. 1989. *Introducción a la Química Marina*. AGT Editor, S.A. Mexico. 459 pp.
- Ruiz F. & Rosales J.E. 2004. Relación estadística entre la mortalidad, crecimiento y conversión de alimento, con las bajas en la concentración de oxígeno disuelto, presentadas en el sitio Terao, centro de engorda de salmón atlántico (*Salmo Salar* Lineo). Tesis Ingeniero en Acuicultura y Grado de Lic. en Ciencias de la Acuicultura. Universidad Andrés Bello.
- Sepúlveda J., Pantoja S., Hughen K., Lange C., Gonzalez F., Muñoz P., Rebolledo L., Castro R., Contreras S., Avila A., Rossel P. Lorca G., Salamanca M. and Silva N. 2005. Fluctuation in export productivity over the last century from sediments of a southern Chilean fjord (44° S). *Estuarine Coastal and Shelf Sciences* (65): 587-600.
- Silva N. 2003. El aporte de la Escuela de Ciencias del Mar (UCV) al conocimiento de los fiordos y canales australes chilenos (41°20'S — 55°58'S). En: <http://www.oceanografia.cl>
- Smayda T.J. 1980. Phytoplankton succession. In: Morris (Ed.) *Physiological ecology of phytoplankton*. I. Blackwell Oxford. Pp: 493 — 570.

Smayda T. & Reynolds C.S. 2001. Community assembly in marine phytoplankton: application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. *Journal Plankton Research* 23: 447 -461.

Taylor F.J. R. & Horner R.A. 1994. Red tides and other problems with harmful algal blooms in Pacific Northwest coastal waters. In Wilson R.C., Beamish R.J., Aitkens F. and Bell J. (Eds) Review of the marine environment and biota strait of Georgia, Puget Sound and Juan de Fuca strait: Proceedings of the B.C. Washington Symposium of the Marine Environmen. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1948: 175 – 186.

Toro J., Paredes P., Villagra D & Senn C. 1999. Seasonal variation in the phytoplanktonic community, seston and environmental variables during a 2-year period and oyster growth at two mariculture sites southern Chile. *Marine Ecology* (20) 63 -

US EPA. 1986. Ambient Aquatic Life Water quality criteria for dissolved oxygen (Saltwater): Cape Codd to Cape Hatteras. 55 pp.

Uribe C. 1997. Dinámica del fitoplancton, en la columna de agua, de Bahía Inglesa (III Región) y Bahía Tongoy (IV región) (Chile) desde fines de invierno a principios de verano. Tesis de Grado Lic. Biología Marina.

Uribe J.C. & Ruiz M. 2001. Gymnodinium brown tide in the Magellanic fjords, Southern Chile. *Rev. Bio. Mar. y Oceanog.* 36(2): 155-164.

Varela D.; Osuna A, Vidal J., Seguel M., Sfeir A. Stead R. y Navarrete F. 2006. Desarrollo de herramientas inmunológicas para la detección y cuantificación rápida de la microalga tóxica *Alexandrium catenella*. Informe Técnico Proyecto FONDEF. 11 pp.

White A.W. 1988. Blooms of toxic algae worldwide: their effects on fish farming and shellfish resources. pp 9-14. In AQUA NOR 87 Trondheim Inter. Conf. Norske Fiskeoppdreternes Forening - Fiskeoppdreternes Salgslag A/L, TRondeim, Norway.

Yang C.Z. & Albright L. 1994b. The harmful phytoplankter *Chaetoceros concavicornis* causes high mortalities and leucopenia in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and coho salmon (*O. kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 2493 – 2500.