

PRODUCCION SECUNDARIA BACTERIANA RELACIONADA CON CULTIVO DE SALMON EN JAULA EN AMBIENTE MARINO Y LACUSTRE DE LA ISLA DE CHILOE, X REGION, CHILE*

HERMANN A. MÜHLHAUSER¹, RAQUEL PEÑALOZA², HILDA CASTRO³, PAULA DIAZ² y JORGE MUÑOZ⁴.

ABSTRACT: Mühlhauser, H. A.; Peñaloza, R.; Castro, H.; Díaz, P. & J. Muñoz. 1993. Secondary bacterial production related to lake and sea cage salmon farming in Chiloe Island, X Región, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 28(2): 287-300.

Aquaculture is an increasingly significant economic activity for Chile. In recent years, concern has arisen that waste products from marine and freshwater cage rearing of salmon may stimulate changes in the nutrient status of the areas being used for this purpose. In this project the relevance of the secondary bacterial productivity for allochthonous organic matter mineralization was investigated. Pacific and Atlantic salmon cage rearing units located at Chiloé island, Chile were used in the study. A marine salmon-farming site at Terao and another in lake Cucao were investigated. ³H-Thymidine experiments for bacterial productivity and biomass measurements were undertaken in order to attempt preliminary assessment of differences between marine and lacustrine salmon cage-farming. Results showed that bacterial productivity was larger in the lacustrine than in the marine rearing system. Bacterial productivity and biomass was significantly correlated with temperature and chlorophyll "a" concentration. A top-down gradient of total N and total P in the water column at Terao and Cucao was observed. Significant differences in bacterial production in cultures of marine cage units with less than 1 year were measured. A gradient of bottom water bacterial productivity around the marine and lacustrine cage units was detected, suggesting an accumulation of wastes around the farming sites, rather than under the cage units.

Key words: Salmonids, cage-rearing, marine, lacustrine, bacterial production, ³H-Thymidine.

RESUMEN: Mühlhauser, H. A.; Peñaloza, R.; Castro, H.; Díaz, P. & J. Muñoz. 1993. Producción secundaria bacteriana relacionada con cultivo de salmón en jaula en ambiente marino y lacustre de la isla de Chiloé, X Región, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 28(2): 287-300.

Como toda actividad antrópica que interviene el medio ambiente, la piscicultura en jaula de especies salmonídeas a nivel nacional ha sido asociada con un incremento de la materia orgánica depositada en el fondo de las áreas de cultivo. La presente investigación se relaciona con la mineralización de materia orgánica y producción secundaria bacteriana asociada con este tipo de cultivo, medida como biomasa y por el método de la timidina tritiada. Se trabajó en la isla de Chiloé en un centro de cultivo marino de Terao y en un centro del lago Cucao. El objeto fue probar la

1 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Depto. de Ciencias Ecológicas. Casilla 653, Santiago, Chile.

2 Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Depto. de Biología. Casilla 147, Santiago, Chile.

3 Ricardo Matte Pérez # 0145, Santiago, Chile.

4 Universidad Católica de la Santísima Concepción. Depto. Biotecmar. Casilla 127, Talcahuano, Chile.

* El presente trabajo ha sido realizado con financiamiento del proyecto FONDECYT 1053/92

hipótesis de que en los sistemas estudiados la productividad bacteriana asociada es menor en los cultivos marinos que en los cultivos lacustres. Los resultados indican que la productividad bacteriana se correlacionó con variables como: temperaturas y clorofila. Se infiere que un mayor tiempo de residencia del agua así como la mayor acumulación de materia orgánica bajo las jaulas inciden en la mayor productividad secundaria bacteriana observada en el ambiente lacustre. En los dos tipos de ambiente se observó además un gradiente de concentración de fósforo y nitrógeno total en la columna de agua, el cual aumenta desde la superficie hacia el fondo. Cálculos conservadores de eficiencia de conversión dan valores de 30 % para las poblaciones bacterianas locales. Se concluye que existe diferencias significativas de producción bacteriana entre el sistema marino y el sistema lacustre estudiados. Se produciría acumulación de materia orgánica en el entorno de las balsas expresado como un gradiente de productividad bacteriana. Hubo mayor productividad secundaria bacteriana asociada a centros de cultivo de menos de un año de antigüedad.

Palabras claves: *Oncorhynchus kisutch*, *Salmo Salar*, Ahoni, Cucao.

INTRODUCCION

El desarrollo de la piscicultura de especies salmonídeas a nivel nacional, pero especialmente en la X Región, ha mostrado importantes avances en los últimos años tanto en aspectos tecnológicos como socio-económicos. Este desarrollo se ha traducido en un aumento de la demanda por áreas ambientalmente adecuadas para la instalación de centros de cultivo, de tal modo que hasta comienzos de 1992 existían 1322 autorizaciones para instalar centros de cultivo piscícola. No obstante lo anterior, hasta el mismo año solo se encontraba en operación aproximadamente un 10 % de ellos. (Sistema Integrado de Producción, IFOP. 1991. *In letteris*).

Respecto de la actividad piscicultora intensiva en jaula, existen diversas opiniones acerca del posible aumento en la concentración de materia orgánica autóctona que produciría en las áreas de cultivo y su entorno. Este aspecto se asocia con la cantidad de desechos orgánicos producidos y acumulados localmente así como un incremento local de la libera-

ción de compuestos nutrientes y los estados de trofia de los ecosistemas involucrados (Kelly 1992, 1993). En relación con estos cambios locales se ha observado que la mortalidad de los peces cultivados aumenta en función de la antigüedad de uso del área en piscicultura. Centros con más de un año de antigüedad presentan mayor tasa de mortalidad de peces que centros recién instalados (comunicación personal de piscicultores).

El presente trabajo se relaciona con la actividad del anillo microbiano (*sensu* Azam *et al.* 1983), en cuanto a la productividad secundaria bacteriana relacionada con actividades de piscicultura de especies salmonídeas en ambientes marino y límnic. Los componentes del anillo microbiano, especialmente las bacterias, deben verse actuando como uniones de transferencia de carbono (orgánico, e indirectamente inorgánico), siendo su participación crucial en los procesos de mineralización de materia orgánica (*sensu lato*), y especialmente en relación a las actividades de piscicultura intensiva en jaulas, tal como ha sido indicado por Phillips (1986), Phillips & Beveridge

(1986), Stigebrandt & Aure (1988), Aure, & Stigebrandt (1990). Existe evidencia también de que las bacterias de aguas naturales (marinas y límnicas), tienen una gran capacidad para incorporar, con altas tasas, nutrientes o bien utilizar aceptores de electrones de manera muy eficiente, compitiendo de manera efectiva con otros organismos, tanto del plancton como del bentos (Tempest & Njeissel (1978), Mühlhauser & Montecino, 1990). También se sabe que las bacterias heterótrofas pueden alcanzar una alta productividad, la cual puede llegar a estar en un rango de 20 a 50 % de la producción primaria local medida (Cole et al. 1988, Mühlhauser 1990). Esto se traduce en que pueden reciclar en muy corto tiempo hasta el 50 % del carbono fitoplanctónico, manteniéndose los reservorios de nutrientes en concentraciones altas por un mecanismo de retroalimentación negativa (Pomeroy & Wiebe 1988): Este gran potencial de mineralización de las bacterias se ha observado también cuando están presentes fuentes de materia orgánica alóctona proveniente de actividades de acuacultura (Moriarty 1987).

Si bien existe un adecuado conocimiento del anillo o circuito microbiano en ambientes acuáticos, el cual se traduce en numerosas publicaciones sobre el tema (Mühlhauser 1990, Berman 1990) los estudios referentes al papel del anillo microbiano asociado con actividades de piscicultura son escasos. En este trabajo, se ha investigado la productividad secundaria bacteriana en un centro de cultivo marino ubicado en la localidad de Terao (Bahía Ahoni) y en un centro piscícola, lacustre ubicado en el lago Cucao. Ambas localidades se encuentran en la isla de Chiloé, X Región. El objeto del

estudio es evaluar la importancia cuantitativa de las poblaciones bacterianas en la mineralización de materia orgánica, comparando ambientes marinos y lacustres, con y sin actividad piscícola; así como establecer si existen diferencias de productividad secundaria bacteriana entre balsas recientemente instaladas (< 1 año) y otras más antiguas (> 1 año). La hipótesis de trabajo plantea que las características ambientales, especialmente variables como: corrientes, menor temperatura y cantidad de materia orgánica alóctona en el agua de la localidad marina, asociadas con un menor tiempo de residencia del agua, resultan en una menor productividad bacteriana que la del ambiente límnic.

MATERIAL Y METODOS

LOCALIDADES Y CENTROS DE CULTIVO

Terao (42° 43' S; 73° 36' W), se ubica en la bahía Ahoni la cual a su vez se encuentra al sur-este de Chonchi, en la costa oriental de la isla de Chiloé. (Fig. 1). En esta localidad se trabajó en áreas de cultivos en jaula de salmón "coho" o del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) y de salmón atlántico (*Salmo salar*), existiendo plantales con diferente antigüedad de uso. Las balsas se ubican en columnas de agua de aproximadamente 30 m de profundidad máxima. En este centro se muestreó en el entorno de una balsa más antigua (> 1 año de instalada) y otra más nueva (< 1 año). Alternativamente se muestreó un punto control, intermedio y alejado aproximadamente 500 m aguas afuera (al E), de las balsas. Este centro se encuentra sometido a la acción diaria de mareas intensas.

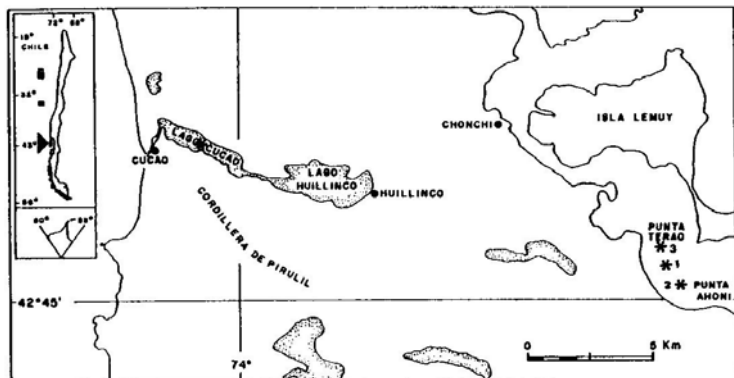


Fig. 1. Ubicación en la isla de Chiloé de las localidades de muestreo. Centro de cultivo marino Terao ($42^{\circ} 43' S$; $73^{\circ} 36' W$) y centro de cultivo lacustre Cucao ($42^{\circ} 39' S$; $74^{\circ} 05' W$). Los asteriscos indican la posición aproximada de las balsas muestreadas y control.

2) El lago Cucao ($42^{\circ} 39' S$; $74^{\circ} 05' W$) corresponde a la mitad occidental del cuerpo de agua conocido como lago Huillínco y se ubica inmediatamente al sur del límite del parque nacional de Chiloé sobre la vertiente occidental de la isla. Este lago tiene comunicación con el mar y sufre los efectos de las mareas, siendo sus aguas por lo tanto salobres. En este sistema se trabajó con balsas ubicadas en la zona media del lago y dispuestas en columna de agua de aproximadamente 10 a 12 m de profundidad máxima. En este caso se trata de cultivo de estadios juveniles de salmón, los cua-

les posteriormente son trasladados a aguas marinas en Terao para completar su desarrollo. En esta última localidad se muestreó alternativamente una estación control ubicada aproximadamente 500 m al W de la zona de balsas.

TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS

Las muestras de agua para los análisis bacteriano y físico-químicos se tomaron en cada lugar de muestreo con muestreadores tipo Niskin y Van Dorn, en tres profundidades (superficie, media y fondo) de la columna de agua (~30 m en

Terao y -12 m en Cucao). Las muestras superficial y media, fueron tomadas desde una embarcación o desde la balsa. La muestra de agua de fondo fue tomada por un buzo. Conjuntamente con esta última muestra de agua, el buzo tomó testigos de sedimento mediante tubos de acrílico transparente de 5 cm de diámetro interno. Estos testigos fueron utilizados para una estimación cualitativa de la distribución vertical del material alóctono sedimentado y para otras actividades de investigación no relacionadas con la determinación de productividad bacteriana.

Tanto los tubos de acrílico como los muestreadores de agua fueron tratados experimentalmente para determinar la significancia de posibles contaminaciones microbianas por manipulación. Para ello se comparó la productividad y la biomasa bacteriana en muestras de agua tomadas con ambos tipos de instrumentos de muestreo sin desinfectar y desinfectados con bialcohol.

En los muestreadores se midió la temperatura del agua mediante termistor acoplado a un pHmetro digital portátil. De la muestra de agua se tomaron submuestras por duplicado en botellas de polietileno de alta densidad para: experimentos de productividad secundaria bacteriana (PSB), por el método de timidina tritiada (Fuhrman & Azam 1980, 1982), clorofila por fluorometría con un fluorómetro Turner, modelo 111, calibrado con clorofila estandar y variables abióticas: pH, mediante pHmetro portátil (Coleman), oxígeno disuelto y alcalinidad según Golterman *et al.* (1978) y Parsons *et al.* (1984), nutrientes disueltos (nitrato y ortofosfato), de acuerdo a

Standard Methods (APHA 1980), nutrientes totales (fósforo y nitrógeno), según el método de Mühlhauser *et al.* (1987b).

BREVE DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS DE PRODUCTIVIDAD SECUNDARIA BACTERIANA

Esta se midió en alícuotas de agua (10 ml), con el método de la incorporación de timidina tritiada (7 nM, 5 μ Ci, incubación de 30 minutos). Las incubaciones se realizaron a las temperaturas "in situ" y fueron terminadas agregando formalina (2% concentración final). Las cantidades de timidina utilizada y los tiempos de incubación se determinaron luego de realizar experimentos de cinética de incorporación (Fuhrman & Azam 1980, Chrost *et al.* 1988), la actividad de las muestras se midió en un contador de centelleo Tracor Analytic Delta 300, utilizando un coctél Atomlight de Dupont.

EXPERIMENTOS CON MUESTRAS INTEGRADAS

En el verano 92/93 se tomaron muestras de agua mediante un muestreador integral de la columna de agua (Schröder 1969). Estas muestras fueron utilizadas para mediciones de la productividad secundaria bacteriana y clorofila.

RESULTADOS

Los experimentos de desinfección de los aparatos de muestreo no dieron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) para biomasa y productividad secundaria bacteriana entre muestras de agua tomadas desde equipos desinfectados y no desinfectados.

En la Tabla 1 se entregan algunas características generales acerca de los dos sistemas estudiados, Terao y Cucao. Una comparación entre ambos sistemas permite apreciar que la variable temperatura (la mas importantes en relación con la productividad bacteriana) presenta un mayor rango de fluctuación en el sistema límnico, mientras en el sistema marino la

fluctuación fue significativamente menor. En ambos sistemas las mayores temperaturas en la columna de agua se alcanzan en verano. Las menores temperaturas se observaron en invierno. Estas últimas fueron muy parecidas en ambos sistemas, a excepción de la temperatura superficial en que hubieron hasta tres grados de diferencia.

Tabla 1. Características generales de los sistemas con centros de cultivo estudiados (rango, promedio, y desviación estándar)

	SUPERFICIE		MEDIO		FONDO	
	1	2	1	2	1	2*
Temperatura (° C)						
Rango	9-12	6-18	9-13	8-15,5	10-12	11-14
Promedio	10,8	11,4	10,6	11,4	10,2	12,1
Desv. Estándar	1,3	4,3	1,5	2,7	1,1	1,2
Oxígeno (mg/l)						
Rango	7,7-9,3	7,5-12	6,6-10	5,3-10,8	5,9-7,9	2,8-8,8
Promedio	8,5	10	8	7,6	7,4	4,1
Desv. Estándar	0,6	1,7	1,6	2,3	0,9	2,8
Nitrato (µg/l)						
Rango	1-16,7	0,2-2,9	8,5-17	1,5-6,8	3,9-15,1	2,9-8,6
Promedio	11	1,5	12,9	3,5	11,8	5,8
Desv. Estándar	4,9	1	2,8	2	3,3	2,1
Ortofosfato (µg/l)						
Rango	0,6-4,1	0,2-0,6	0,4-2,5	0,2-0,6	0,5-1,9	0,4-0,5
Promedio	1,4	0,4	1,3	0,4	1,3	0,5
Desv. Estándar	1	0,2	0,7	0,2	0,5	0,1
Nitrógeno total (µg/l)						
Rango	164-448	220-2064	171-452	123-683	149-620	263-727
Promedio	292	675	250	311	326	402
Desv. Estándar	118	703	90	193	137	173
Fósforo total (µg/l)						
Rango	37-128	2,5-75	44-117	10-71	66-145	26-94
Promedio	78	32	79	37	94	58
Desv. Estándar	27	28	27	21	25	24
Clorofila "a" (µg/l)						
Rango	0,1-71	0,9-2,1	0,2-8,4	0,7-1,4	0,2-3,5	0,1-0,2

*: 1 = Terao, 2 = Cucao

La Figura 2 muestra resultados de experimentos de productividad secundaria bacteriana en muestras de agua de

profundidades discretas y en muestras integrales, realizados en Terao y Cucao en invierno, primavera y verano

(1992/93). Los valores representan promedios de 3 réplicas $\pm$ 1 desviación estándar (D.S.). Se indican además los valores anuales promedio para la estación control. Para todo el período de mediciones, la PSB fue significativamente mayor en el ambiente lacustre que en el ambiente marino. En Terao, la mayor productividad se obtuvo en el mes de septiembre, en Cucao en cambio en el mes de Diciembre. Para ambos centros de cultivo los menores valores de PSB se dieron en invierno. El incremento de la biomasa bacteriana es una dependiente directa de la temperatura dadas las condiciones apropiadas; esta característica se refleja en los resultados obtenidos donde el sistema marino presenta menores temperaturas, las cuales no superaron los 13 °C en todas las fechas de mediciones. La productividad bacteriana se mantiene con pocas variaciones entre las mediciones de invierno y verano, excepto por el mayor valor del experimento de primavera. La estación control presentó un comportamiento semejante. Las diferencias entre distintas profundidades no fueron estadísticamente significativas

($p \leq 0,05$). En cambio, en el centro de cultivo en ambiente lacustre, la PSB siguió el mismo patrón que la temperatura. El valor promedio de la productividad bacteriana, en general, en la estación control fue significativamente menor que los valores medidos en el centro de cultivo lacustre en primavera y verano. Las diferencias de PSB entre muestras de profundidades discretas no fueron significativas ($p \leq 0,05$).

La Tabla 2 muestra resultados de análisis de varianza para regresión simple de la PSB sobre temperatura del agua y sobre la concentración de clorofila. Se utilizaron datos de experimentos de invierno y primavera para planteles de cultivo en el sistema marino y datos de invierno, primavera y verano para planteles de cultivo en el sistema lacustre. Existió una alta correlación entre PSB y temperatura, la cual fue mayor en los cultivos lacustres ($r = 0,92$) que en los marinos ($r = 0,83$), lo mismo se observa para la relación producción/clorofila (0,86 a 0,89).

Tabla 2. Análisis de Varianza para Productividad Secundaria Bacteriana sobre Temperatura del agua (A) y Productividad Secundaria Bacteriana sobre Clorofila (B) en centros de cultivo marino (Terao) y lacustre (Cucao) en la isla de Chiloé.

CULTIVO	VALOR F	GRADOS DE PROBABILIDAD
A		
Marino	15,88	0,00529
Lacustre	43,00	0,00032
B		
Marino	30,19	0,00026
Lacustre	38,00	0,00010

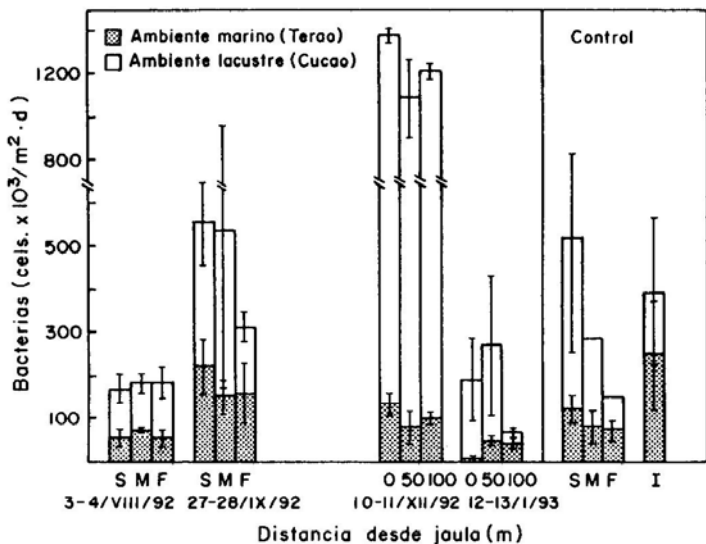


Fig. 2. Producción secundaria bacteriana expresada en miles de células $\times 10^3 / m^2 d$, en muestras de profundidades discretas e integradas. Las barras indican ± 1 desviación estándar.

La figura 3 muestra los resultados de los experimentos de PSB con muestras integradas de agua tomadas a distancias aproximadas de 0, 50 y 100 m de la jaula. Estos experimentos se realizaron en el verano de 1993. Los números sobre las columnas corresponden a las concentraciones de clorofila "a". Los resultados para el cultivo marino muestran que los mayores valores de productividad se dan

debajo de la balsa, decreciendo a 50 m de esta y volviendo a incrementarse a una distancia de 100 m de la balsa. En el cultivo lacustre la mayor concentración se dió a una distancia de 50 m de la balsa. Las productividades de las estaciones control fueron altas y para el medio lacustre mayor que en las inmediaciones del cultivo. Sin embargo las desviaciones estándar fueron también altas.

Los resultados de experimentos comparativos de la PSB entre balsas de cultivos marinos de distinta antigüedad de uso se muestran en la figura 4. Los experimentos comparativos se realizaron en el invierno y la primavera de 1992. Los resultados mostraron que las balsas con mayor antigüedad de uso presentaron una productividad bacteriana mas baja. La diferencia fue significativa ($p \leq 0,05$) en los experimentos de primavera, a igual que la diferencia entre valores de superficie y profundidad.

Los resultados de mediciones de clorofila "a" (Tabla 1) en fechas coincidentes con experimentos de productividad secundaria bacteriana mostraron que salvo en las mediciones de diciembre 1992, la concentración de clorofila "a" fué mayor en el sistema lacustre que en el marino. Los promedios anuales de las estaciones control fueron en general menores que aquellos en las estaciones con cultivo.

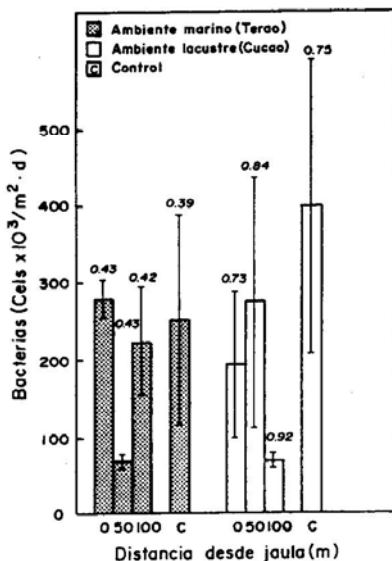


Figura 3. Producción secundaria bacteriana en muestras integradas de la columna de agua, expresada en células $\times 10^3 / m^2 \cdot d$. Las barras indican ± 1 desviación estándar. Los valores sobre las barras corresponden a la concentración de clorofila a en las mismas muestras de agua.

Los resultados de mediciones de nutrientes totales (nitrógeno y fósforo total), realizadas en primavera en muestras (triplicadas) de agua, utilizadas para los experimentos de productividad bacteriana, tanto en Terao como en Cucao mostraron un gradiente de concentración que aumentó desde la superficie hacia el fondo. Las concentraciones de N-total fueron semejantes en ambos sistemas (Tabla 1), sin embargo se observaron

mayores valores de P-total en zonas bajo jaulas de cultivo marino. Tanto en ambiente marino como en ambiente lacustre, las concentraciones de N-total en las estaciones control fueron menores que las estaciones con cultivos. Respecto del P-total sin embargo, se observó que tanto en ambientes marinos como lacustres, la estación control presentó valores semejantes o mayores que las estaciones con cultivos.

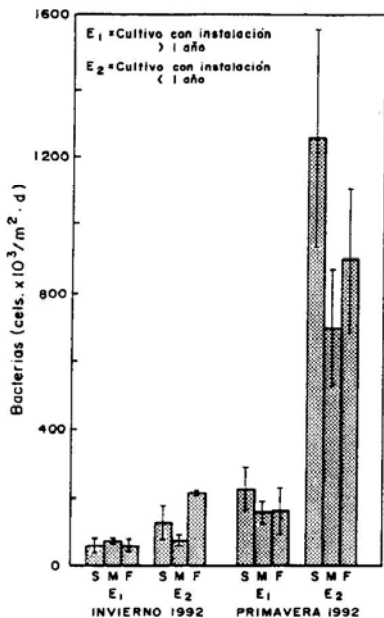


Figura 4. Producción secundaria bacteriana bajo las balsas de cultivo de diferente antigüedad, expresada en células. x 10³ / m² d. Las barras indican ± 1 desviación estándar.

DISCUSION

Existe evidencia de que el método de incorporación de timidina tritiada es un indicador válido de la PSB (Chrost et al. 1988, Riemann & Bell 1990). Un problema de esta metodología es la conversión de la tasa de incorporación de timidina a producción bacteriana en términos de número de células. Fuhrman & Azam (1980, 1982), derivaron un factor teórico de conversión, (2×10^{18} células/mol de timidina tritiada). Este factor ha sido utilizado para los cálculos del presente estudio, lo cual hace nuestras estimaciones conservadoras y comparables con gran parte de la literatura existente. No obstante lo anterior, de acuerdo a Smits & Riemann (1988), algunos de nuestros valores podrían estar subestimados ya que el factor de conversión para ambientes acuáticos continentales puede en algunas ocasiones alcanzar hasta un promedio de $11,8 \times 10^{18}$ células/mol de timidina incorporada, especialmente si se produce síntesis *de novo*. Pero esta situación es poco probable por la corta duración de nuestros experimentos (30 minutos) (Moriarty 1986).

Los objetivos del estudio plantean una investigación comparativa de la PSB en centros piscícolas marino y lacustre con una hipótesis que plantea una mayor producción bacteriana en el ambiente lacustre. Los resultados muestran que esta producción efectivamente fue mayor en los cultivos lacustres. Las diferencias se explicarían por un conjunto de factores naturales, principalmente: temperatura del agua y la concentración de materia orgánica fitoplanctónica expresada como clorofila "a", y artificiales (principalmente materia orgánica alóctona). Tanto la tem-

peratura del agua como la concentración de clorofila, tuvieron un alto nivel de correlación con la PSB, y un alto nivel de significancia ($p \leq 0,05$, véase Tabla 2). De este modo explicarían gran parte de la diferencia entre la producción asociada al cultivo marino y la asociada al cultivo límnic. Por otra parte Wilson & Botkin (1990), trabajando con un modelo simple de microcosmos acuático encontraron también valores significativos de "F" ($p \leq 0,05$) para grupos de bacterias quimioheterótrofas (amonificantes, denitrificantes y descomponedores de azúcares), grupos que dado el origen de la materia orgánica alóctona, también debieran ser predominantes en los centros estudiados. Si bien hasta hoy no se tienen cuantificaciones de acumulación de materia orgánica en el fondo y de la PSB asociada a los sedimentos, se puede inferir acerca de la importancia de la materia orgánica alóctona aportada a los dos tipos de ecosistema por la actividad piscícola. Esta queda reflejada en los mayores niveles de productividad bacteriana asociada a las jaulas de cultivo comparada con la observada en las estaciones control (figura 2).

Las mediciones de nutrientes totales (N-total y P-total), en ambos tipos de ambiente, no presentaron diferencias sustanciales entre zonas con cultivo y sin cultivo; sin embargo esto puede resultar de la posición cercana de las estaciones control a las jaulas de cultivo.

Los resultados de mediciones de PSB en experimentos de muestras integradas tomadas a distintas distancias desde las balsas de cultivo sugieren que se producen acumulaciones de materia orgánica (expresadas en la alta produc-

ción bacteriana) en el entorno de las balsas, tanto en ambiente marino (100 m) como lacustre (50 m). En nuestro estudio podrían alcanzar hasta las estaciones control, valores que podrían incluso superar aquella inmediatamente debajo de los cultivos. Sugerimos que esta mayor producción bacteriana es por aporte alóctono de materia orgánica ya que la concentración de clorofila medida no presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos puntos de medición, incluyendo las estaciones control. Campos (1990), trabajando en centros de cultivo en el lago Rancho, ha medido un patrón semejante en la distribución de recuentos de bacterias viables a 0 m, 30 m y 100 m de distancia de las jaulas. Por otra parte, los resultados de Phillips (1986), con cultivos de salmonídeos en lagos escoceses, sugieren que aunque la mayor parte de la materia orgánica sedimento debajo de las jaulas, el material sólido mas fino puede sedimentar en áreas mas alejadas; aumentando la concentración local de fósforo y nitrógeno total.

Los experimentos de mediciones de la PSB en áreas marinas con explotación piscícola antigua (> 1 año), en comparación con áreas recién explotadas (< 1 año) permiten evidenciar que las segundas presentan mayor producción bacteriana, la cual se hace mas notoria en las mediciones realizadas en la primavera y se minimiza en invierno. En la literatura al alcance no hay datos comparables, pero sugerimos que estas diferencias podrían deberse a variaciones en las concentraciones de materia orgánica lábil y refractaria alóctona presente en los sedimentos en función del tiempo de uso de un determinado sitio (Moriarty 1987).

La importancia de la producción

bacteriana asociada a piscicultura está dada por su capacidad de mineralización de la materia orgánica alóctona. Al medir la PSB con el método de timidina, se debe conocer la eficiencia de conversión para evaluar las cantidades relativas de detrito consumido. Recientemente Kristiansen *et al.* (1992), han medido eficiencias de bacterias de aguas continentales (*in vitro*) entre 27 % y 37 %, siendo los mayores valores para medios de cultivo enriquecidos y los menores para medios de cultivo pobres. Mühlhauser *et al.* (manuscrito en preparación) han calculado eficiencias conservadoras de un 30 % para bacterias asociadas a los cultivos de salmón estudiados, pero estas deberán ser corroboradas por experimentos de respiración y nuevos experimentos para evidenciar tasas de crecimiento.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio permiten llegar a las siguientes conclusiones:

La productividad bacteriana asociada a cultivos en jaula de salmón del Pacífico y salmón del Atlántico fue mayor en ambiente lacustre que en ambiente marino. Esta diferencia estaría asociada a variables como temperatura y cantidad de materia orgánica alóctona sedimentada.

En transectas desde las balsas se observó un gradiente de productividad bacteriana lo cual sugiere acumulaciones de materia orgánica alóctona a distancia de las mismas.

Los centros de cultivo de antigüedad menor que un año presentaron mayor productividad bacteriana que los más antiguos, lo cual podría relacionarse con la disponibilidad de materia orgánica refractaria acumulada localmente.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto Fondecyt 1053/92. Los autores agradecen la colaboración técnica de: Hernán Thielemann, Vilma Barrera, Miguel Aguilar y Ramón Alcaraz. Al mismo tiempo agradecen los comentarios de dos revisores anónimos; los cuales han permitido optimizar la calidad del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- APHA. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th ed. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, D. C.
- Aure, J. & A. Stigebrandt. 1990. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture* 90: 135 - 156.
- Azam, F.; Fenchel, T.; Field, J. G.; Gray, J. S.; Meyer Reil, L. A. & F. Thingstad. 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 10: 257-263.
- Berman, T. 1990. Microbial food-webs and nutrient cycling in lakes: Changing perspectives. In: Tilzer, M. & C. Serruya (eds). *Ecological Structure and Function*. Springer-Verlag, Berlin. pp.511-525.
- Campos, H. (ed). 1990. Estudio del efecto producido sobre el lago Ranco, por el cultivo de especies salmonídeas con el sistema de balsas jaula. Convenio Univ. Austral-Empresa Pesquera Eicosal Ltda. Informe del Instituto de Zoología. Univ. Austral, Valdivia.
- Chrost, R.; Overbeck, J. & R. Wcislo. 1988. Evaluation of the 3H- Thymidine method for estimating bacterial growth rates and production in lake water: re-examination and methodological comments. *Acta microbiologica Polonica* 37: 95 - 112.
- Cole, J. J.; Findlay, S. & M. L. Pace. 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems. A cross-system overview. *Marine Ecology Progress series* 42: 1 - 10.
- Fuhrman, J. A. & F. Azam. 1980. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica and California. *Applied & Environmental Microbiology* 39: 1085-1095.
- Fuhrman, J. A. & F. Azam. 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: Evaluation and field results. *Marine Biology* 66: 109 - 120.
- Golterman, H.L.; Clymo, R. S. & M. A. Ohnstad. 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters IBP Handbook 8, Oxford, Blackwell Scientific Publications Co. 214 pp.
- Kelly, L.A. 1992. Dissolved reactive phosphorus release from sediments beneath a freshwater cage aquaculture development in west Scotland. *Hydrobiologia* 235/236: 569-572.
- Kelly, L.A. 1993. Biological availability of phosphorus released from aquaculture wastes determined by *Selenastrum capricornutum* bioassay. *Hydrobiologia* 253: 367-372.

- Krinstiansen, K.; Nielsen, H.; Riemann, B. & J. A. Fuhrman. 1992. Growth efficiencies of freshwater bacterioplankton. *Microbial Ecology* 24: 145 - 160.
- Moriarty, D. J. W. 1986. Measurement of bacterial growth rates in aquatic systems using rates of nucleic acid synthesis. *Advances in Microbial Ecology* 9: 245-292.
- Moriarty, D. J. W. 1987. Methodology for determining biomass and productivity of microorganisms in detrital food webs. En: Moriarty, D.J.W. & R. S. V. Pullin. (eds), *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. Iclarm Conference Proceedings 14, 420 p. Manila, Phillipines.
- Mühlhauser, H. (ed). 1987a. Estudio Limnológico de la laguna de Aculeo. Informe final, Convenio: Dirección General de Aguas, MOP- Universidad de Chile. 98 pp.
- Mühlhauser, H.; Zahradnik, P. & L. Soto. 1987b. Improvement of the Kjeldahl Method for total nitrogen including acid hydrolizable Phosphorus Determinations in Freshwater Ecosystems. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 28: 215-226.
- Mühlhauser, H. 1990. Microbiología acuática o como la cenicienta se transformó en princesa. *Medio Ambiente*, 11: 86 - 91.
- Mühlhauser, H. & S. V. Montecino. 1990. The interference of tripton on CO₂ dark fixation in a temperate impoundment with high input of suspended solids. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 18: 523 -531.
- Parsons, T. R.; Maita, Y. & C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto.
- Phillips, M. J. 1986. The environmental impact of cage culture on scottish freshwater lochs. *Recent advances in Aquaculture*, I. 106 pp.
- Phillips, M. & M. Beveridge. 1986. Cages and the effect on water condition. *Fish Farmer*, 9: 17 - 19
- Rieman, B. & R. T. Bell. 1990. Advances in estimating bacterial biomass and growth in aquatic systems. *Archiven für Hydrobiologie* 118: 385 - 402.
- Schröder, V. R. 1969. Ein summierender Wasserschépfer. *Archiven für Hydrobiologie* 66:241-243.
- Smits, J. D. & B. Riemann. 1988. Calculation of cell production from 3H-Thymidine incorporation with freshwater bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 54: 2213 - 2219.
- Stigebrandt, A. & J. Aure. 1988. Observations on plant nutrients in some Norwegian fjords. *Sarsia*. 74: 303 - 307.
- Tempest, D. W. & O. M. Njeissel. 1978. Ecophysiological aspects of microbial growth in aerobic nutrient limited environments. *Advances in Microbial Ecology*. 2: 105 - 154.
- Wilson, M.V. & D. B. Botkin. 1990. Models of simple microcosms: emergent properties and the effect of complexity on stability. *The American Naturalist*, 135: 414 - 434.