



Hallazgo de Sistemas Bacterianos Sulfurosos Someros Asociados a la Actividad Hidrotermal del Fiordo Comau, X Región



Gallardo, V.A.,¹ Försterra, G.,² Häussermann V.,² Faúndez J.¹

1. Descripción del Área de Estudio

1.1 El fiordo Comau, generalidades.

El fiordo Comau es el más norteño de la región. Está situado a ~80 km en línea recta al sur de Puerto Montt (X Región). Se distingue de la mayoría de los fiordos por su disposición norte-sur (en vez de este-oeste). Con ~45 km de largo y un ~5 km de ancho en promedio, es un fiordo comparativamente menor, pero en cambio, con una profundidad máxima de ~490 m es uno de los más profundos. Curiosamente, es más profundo que el Golfo de Ancud, en cual desemboca. Su fondo, en forma de 'U', excavado por un glaciar durante el Pleistoceno, exhibe pendientes sumamente escarpadas. Los cerros que le rodean, cubiertos de un bosque pluvial templado 'valdiviano', alcanzan hasta 2000 m de elevación. Las rocas son de un granito extremadamente duro. La región y, en particular, la península Huequi que delimita al fiordo Comau hacia el oeste, tienen una intensa actividad volcánica que se manifiesta, además de volcanes, en géiseres y aguas termales. Una precipitación de casi 6000 mm anuales en combinación con pendientes muy escarpadas, provoca un transporte importante de materia orgánica e inorgánica al ambiente marino. Derrumbes y avalanchas son un fenómeno frecuente y natural en esta área.

1.3 Biología Marina

En los primeros 10-20 m el agua dulce de la capa superficial, junto a un rango de mareas que alcanza hasta un máximo de 7.4 m, estructura comunidades bentónicas bien estratificadas. El estrato superior es dominado por balánidos. En los estratos subsiguientes dominan las especies *Mytilus chilensis*, *Crepidula* sp. y *Aulacomya ater* - en orden batimétrico. Debajo de la influencia de la capa estuarina, el bentos muestra una alta diversidad y un patrón de distribución en parches. Cuando la inclinación de la roca sobrepasa los 80°, los *Scleractinia* son frecuentes y, en paredes a más de 20 m de profundidad e inclinaciones de más que 100°, los corales calcificados pueden dominar.



Fig. 4. J y K. Las fotografías muestran el bosque pluvial de la zona y el litoral compuesto típicamente por las localmente denominadas 'rocas blancas'. Sugerimos que estas adquieren el color blanco por acción de ácidos generados en el ecosistema terrestre (bosque/suelo), los que disolverían los cationes de metales pesados propios de la composición del granito, principalmente el hierro, las que a su vez serían arrastradas por las precipitaciones, al interior del fiordo. Este catión ferrico, y posiblemente otros cationes pesados, pasaría a ser, uno de los posibles aceptores de electrones del sistema bacteriano submarino asociado a las aguas termales que afloran del fondo marino. L y M. Existiría un delicado balance entre los ambientes reductores y oxidantes coexistentes en el ecosistema submarino del fiordo, permitiendo el desarrollo de una rica comunidad bentónica. También podrían ocurrir mortandades. Aquí se observa elementos de la megaepifauna que, presumiblemente, medra en parte del alimento producido quimiosintéticamente por los sistemas bacterianos adyacentes. (Fotos de VAG).

6. Literatura Citada

- Bach W, Edwards KJ. 2003. Iron and sulfide oxidation within the basaltic ocean crust - extent, processes, timing, and implications for chemolithoautotrophic primary biomass production. *Geochimica Cosmochimica Acta* 67(20):3871-3887.
- Edwards KJ, Rogers DR, Wirsén CO, McCollom TM. 2003. Isolation and characterization of novel psychrophilic, neutrophilic, Fe-oxidizing chemolithoautotrophic alpha- and gamma-Proteobacteria from the deep sea. *Applied and Environmental Microbiology* 69(5):2906-2913.
- Edwards KJ, Bach W, McCollomTM, Rogers DR. 2004. Neutrophilic iron-oxidizing bacteria in the ocean: Habitats, diversity, and their roles in mineral deposition, rock alteration, and biomass production in the deep-sea. *Geomicrobiology Journal* 21(6):393-404.
- Kalanetra, KM, Huston SL, Nelson D. 2004. Novel, attached, sulfur-oxidizing bacteria at shallow hydrothermal vents possess vacuoles not involved in respiratory nitrate accumulation. *Applied and Environmental Microbiology* 70(12):7487-7496
- Taylor CD, Wirsén CO. 1997. Microbiology and ecology of filamentous sulfur formation. *Science* 277:1483-1485.
- Taylor, CD, Wirsén CO, Gaill F. 1999. Rapid production of filamentous sulfur mats at hydrothermal vents. *Applied and Environmental Microbiology* 65(5):2253-2255.
- Wirsén, CO, Sievert SM, Cavanaugh CM, Molyneux SJ, Ahmad A, Taylor LT, DeLong EF, Taylor, CD. 2002. Characterization of an autotrophic sulfide-oxidizing marine *Arcobacter* sp. that produces filamentous sulfur. *Applied and Environmental Microbiology* 68(1):316-325.



Fig. 1. Ubicación del fiordo Comau. La flecha indica aproximadamente el sitio de muestreo (18 Diciembre 2004).

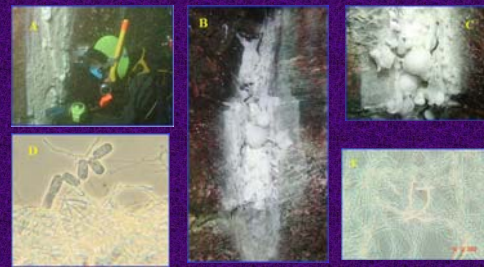


Fig. 2. A. V. Häussermann recolectando muestra de material blanco filamentoso (MBF). B. MBF en las pared rocosa. El color rojizo de la roca puede indicar la presencia de ion Fe⁺³. En este manto coexisten por lo menos dos sistemas bacterianos. C. Aproximación al MBF, que se determinó como S₀ filamentoso. D. Microfotografía del MBF con filamentos de S₀ y células de bacterias aun no identificadas. E. Azufre elemental filamentososo. Se distinguen uno fino y uno más grueso granuloso. (Fotos A,B y C, tomadas *in situ* por Gunter Forsterra. Microfotografías D y E de VAG) (x2000).

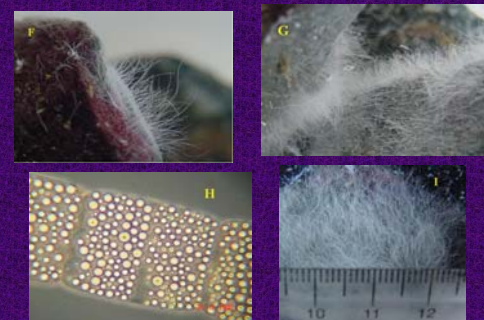


Fig. 3. F. Filamentos bacterianos sésiles (FBS), fijos a la roca. Nótese el color rojo de la roca. G e I. Los FBS pueden alcanzar una densidad bastante alta y longitudes del orden de centímetros o fracciones de cm. H. Microfotografía tomada bajo fase contrastada y x2000, de un filamento bacteriano sésil. Se observan gránulos en el interior de la célula, presumiblemente de azufre elemental. Las células tienen ~60 µm de ancho y ~90 µm de largo. (Fotos de VAG).

4. Conclusiones

Este hallazgo abre nuevas líneas de investigación en la región y aportan nuevos argumentos para la conservación del sistema de fiordos del país. Junto al de las bacterias filamentosas en la plataforma continental del Sistema de Corrientes de Humboldt, caracterizan al sistema bentónico de esta región del océano global como un 'hot spot' microbiológico que clama por una atención de los científicos nacionales y el aporte de fondos estatales. Es por ello que VAG ha propuesto a estas zonas en el Comité Científico del Proyecto ICoMM (*International Census of Marine Microbes*,) que recién se inicia bajo el auspicio del Programa Global '*Census of Marine Life*'. ... como 'flag-ship sites'.

5. Agradecimientos: Los estudios en el fiordo Comau fueron apoyados por la Fundación Huinay, el Centro COPAS y los Departamentos de Oceanografía y Microbiología de la Universidad de Concepción. V y G agradecen a Matthias Gorny y a la tripulación del Don Este (Litoral Austral) por la operación del ROV Spy. VAG agradece a sus colaboradores Vreni y Gunter, por compartir este fantástico hallazgo que les pertenece y, que bien merecido lo tienen por los esfuerzos que despliegan y los sacrificios que sobrellevan en aras del conocimiento de nuestra singular biodiversidad y su necesaria conservación. Al Sr. Reinhard Fitzek, por la hospitalidad, acogida y apoyo en nuestra campaña de diciembre pasado, mi más profundo reconocimiento el que hago extensivo a todo el personal de la Estación Científica de Huinay. Vaya mi reconocimiento especial al Sr. Gabriel Yani, Presidente de la Fundación Huinay y finalmente, también mis agradecimientos al Programa Global '*Census of Marine Life*' por el apoyo durante los estudios y análisis, y la preparación de este poster.

1.2 Precipitación, Hidrología y Oceanografía

Con una precipitación anual tan elevada (~6000 mm) en la región, el fiordo recibe un aporte de agua dulce considerable. Esto resulta en un sistema estuarino cuyo espesor máximo en la cabeza del fiordo es de ~10 m. La capa salobre, sin embargo, muestra variaciones estacionales en grosor, temperatura y salinidad (termo-haloclina). La temperatura del agua, por debajo de los 20 m, varía anualmente entre 8 y 12 °C y la salinidad es relativamente constante ~32 psu. La mayor parte del agua dulce entra al fiordo superficialmente a través de ríos, pero también en forma de muchos esteros menores de los cuales una gran parte son efímeros. Otra parte entra al fiordo en forma de agua de fondo que surge sub-superficialmente a través de grietas en las rocas. Junto con poseer una salinidad diferente, esta agua puede tener una temperatura más elevada que la del agua de mar con la que se encuentra y podría estar cargada de minerales, cationes metálicos, sustancias orgánicas recogidas durante su pasaje por el suelo y la roca. Puesto que esta agua tiene menor densidad, asciende hacia la superficie, y en las paredes verticales, puede influir masivamente sobre las comunidades epibentónicas en la cercanía de la fuente.

2. Materiales y Métodos

Desde enero de 2003, durante inmersiones de buceo autónomo, dos de los autores (GF & VH) observaron regularmente parches de un material blanco en las paredes rocosas del fiordo, cerca de la Estación Científica Huinay (42°23'S; 72°21'W), que se sospechaba podría corresponder a bacterias (Fig.1). En noviembre 2004 y febrero 2005, mediante el uso de un ROV (remote operated vehicle), el 'Spy', se observó también parches de la misma naturaleza, o por lo menos parecidos, en profundidades de hasta ~100 m. Finalmente, al asociarse al equipo los dos autores complementarios (VAG y JF), en diciembre de 2004, principalmente, y en febrero de 2005, se extrajo, para su observación microscópica, muestras de estos materiales, en una localidad ubicada en frente de la Estación Científica Huinay en profundidades de 25 a 35 m. En este sitio el agua del fondo emerge de grietas en la roca y fluye pegada a las paredes verticales de las rocas verticales. Cada sitio de muestreo fue fotografiado con una cámara digital submarina Nikon Coolpix 990 dentro de un casco de Sealux, con dos flash, y una cámara digital Canon Powershot S500, en un casco de poliacrílico. Las muestras fueron examinadas microscópicamente *in vivo*, inmediatamente después de colectadas, en los laboratorios de la Estación Científica Huinay. También se efectuaron observaciones y tomaron fotografías de las mismas muestras en la Estación de Biología Marina de Dichato luego de su transporte en cajas refrigeradas. Se utilizó un microscopio Zeiss de fase contrastada, normalmente bajo un aumento de hasta 2000x con inmersión en aceite. También se utilizó un estereomicroscopio Zeiss con un aumento máximo de 225x. Las microfotografías fueron obtenidas con una cámara digital Sony Cyber Shot, Modelo DSC-S75/S85. El Departamento de Microbiología de la Universidad de Concepción reportará posteriormene sobre análisis moleculares aun en proceso.

3. Resultados

Las inmersiones realizadas por VH y GF y las observaciones con el ROV Spy indican que los sistemas bacterianos que aquí se describen se presentan entre los 7 y 100 m de profundidad. Se presentan generalmente en paredes con inclinaciones de mas de 90° debajo de las cuales fluye agua con notable olor a H₂S. Los parches son elipsoides alcanzando hasta 1 m de extensión vertical y 0,5 m de ancho. Las mayores densidades de los mantos se ubican cerca del surgimiento del agua. Aquí los desarrollos son globulares (Fig. 2 B y C). Estos globulos son muy frágiles y se integran al tocarlos. A una mayor distancia del origen del surgimiento de agua los mantos ocurren en forma de mechones verticales de algunos mm de ancho y hasta 10 cm de largo. Cada filamento esta pegado firmemente al sustrato en su extremo proximal. Las extensiones y la cantidad de parches cambiaron durante el periodo de estudio con una tendencia al aumento de volumen. Los filamentos generalmente cubren roca limpia, pero en algunos casos tambien cubren organismos bentónicos tales como quitones y cholgas (Fig. 4 L y M). También se ha observado filamentos bacterianos en los esqueletos de corales muertos. Se estima que la muerte de estos corales se debe al agua con H₂S. Por lo menos dos sistemas bacterianos novedosos se postulan para en el ecosistema rocoso del borde costero del fiordo de Comau, X Región. Uno de estos sistemas esta compuesto de grandes y voluminosas aglomeraciones blancas de azufre elemental filamentososo producido por alguna bacteria o bacterias aun no identificadas. Sólo en los últimos años se ha descrito este tipo de sistema, tanto de aguas profundas como someras, y se ha atribuido su formación al metabolismo de un micro-organismo vibriode denominado *Arcobacter*, de la subdivisión *epsilon*, subdivisión *Proteobacteria* (Taylor & Wirsén 1997, Taylor et al. 1999, Wirsén et al. 2002). No sabemos todavía qué bacterias están involucradas en la formación del azufre filamentososo del fiordo de Comau, podrían ser *Arcobacter* (se observó un individuo parecido), sin embargo podría tratarse de otras bacterias. La bacteria más comunmente asociada a la masa de azufre filamentososo hidrofílico del fiordo de Comau es la forma cuadrangular de la Fig. 2D, que posee alrededor de 6 µm de ancho y 12 µm de largo. Estos serían organismos micro-aerófilos que oxidan el sulfuro de hidrógeno que fluye ascendiendo por las paredes rocosas del fiordo. El aceptor de electrones no está determinado aun pero se sugieren los cationes metálicos liberados de las rocas por los ácidos húmicos originados en el suelo del bosque austral (i.e., Rocas Blancas). El otro sistema está también caracterizado por bacterias sulfurosas, pero estas son bacterias sésiles, de grandes dimensiones (i.e., 60 µm de diámetro por 90 µm de longitud por célula, donde los filamentos pueden ser de varios centímetros de longitud), similar en morfología a la *Thioploca* y *Beggiatoa* vacuoladas, con grandes y abundantes gránulos, presumiblemente de azufre, en su interior (Fig. 3 F-I). Un sistema bacteriano similar, con bacterias filamentosas aparentemente similares, ha sido descrito del océano profundo (Edwards et al. 2003, Bach & Edwards 2003, Edwards et al. 2004) y tambien de coladores hidrotermales someros (Kalanetra et al. 2004). En este caso se sugiere que el aceptor de electrones sería el oxígeno disuelto en el agua circundante, aunque en Huinay se observa también alguna asociación entre estas colonias de filamentos, con las rocas de color rojo como lo muestran las fotos de la Fig. 2 B y C y Fig. 3 F.

1. Departamento de Oceanografía y Centro COPAS, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
2. Estación Científica, Huinay, Fiordo Comau, X Región, Chile