



*FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017*

**CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA
COMPETITIVIDAD (FIC) AYSÉN 2017
ENTIDADES RECEPTORAS**

**FORMULARIO
PRESENTACIÓN DE INICIATIVAS**



1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA INICIATIVA

1.1 Nombre de la Iniciativa

Degradación de materia orgánica en Fiordos Patagónicos

1.2 Período de ejecución

Duración (meses): 24 meses

Fecha inicio proyectada: octubre 2017

1.3 Ubicación y Cobertura territorial:

Indique localidades, comunas y/o provincias para:

- a) Ubicación del proyecto: Canal de Puyuhuapi
- b) Ubicación de beneficiarios: Canal de Puyuhuapi

1.4 Beneficiarios

3414 Hombres

2325 Mujeres

1.5 Monto Iniciativa

Solicitado Total a FIC : \$ 166.100.000

Solicitado a FIC 2017 : \$ 24.970.000

Aporte Propio¹ : \$ 18.500.000

Aporte Asociados : \$ 1.305.558

Monto Total : \$ 185.905.558

¹ Al menos el 5%, entre aportes propios y de asociados, debe ser pecuniario.



1.6 Resumen ejecutivo:

Indique brechas abordadas, mérito innovador de la solución propuesta, objetivo general y principales resultados y productos.

Esta propuesta se enmarca dentro de las líneas de investigación que promueve la Estrategia Regional de Innovación (ERI) Aysén, generando nuevo conocimiento respecto al impacto del cambio climático y las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas acuáticos. Conocer el estado actual del ecosistema de fiordos de la Patagonia así como proyectar el impacto del cambio climático sobre su funcionamiento es fundamental para aplicar estrategias de manejo que permitan mantener en el tiempo un uso sustentable de los recursos y de los servicios que este ecosistema entrega.

El funcionamiento general del ecosistema acuático depende de las condiciones oceanográficas y del flujo de materia orgánica que circula dentro de la trama trófica; desde los productores primarios (microalgas) hasta los consumidores superiores, incluyendo la vía de degradación para reiniciar nuevamente el ciclo. El cambio climático así como también el desarrollo de actividades antropogénicas (ej. salmonicultura) puede alterar las propiedades físico-químicas del agua y la estructura y diversidad de la comunidad de organismos acuáticos. Se ha propuesto que un cambio en la composición de especies puede inducir un cambio en el funcionamiento del ecosistema, principalmente en lo que respecta a la producción y degradación de la materia orgánica, y por lo tanto al suministro y transferencia de ésta hacia niveles tróficos superiores, así como también su transporte hacia los sedimentos.

En este contexto, el objetivo general es determinar la capacidad degradativa de la materia orgánica autóctona y alóctona en aguas del canal de Puyuhuapi bajo futuros escenarios de cambio climático. Los organismos objetivos del estudio serán las comunidades bacterianas, que son capaces de procesar una proporción significativa del carbón orgánico que ingresa al sistema, y los organismos bentónicos filtradores suspensívoros, que han sido propuestos como un mecanismo de control de la eutrofización en áreas costeras impactadas por la acuicultura. Los resultados de esta investigación ayudarán a entender cuál es el rol de la comunidad bacteriana y de los organismos bentónicos suspensívoros en la degradación de la materia orgánica autóctona/alóctona dentro del área de estudio. Además, se obtendrá información de línea base que muestre el comportamiento durante el ciclo anual de la producción y degradación de la materia orgánica y sobre las variables ambientales físicoquímicas (temperatura, salinidad, oxígeno, concentración de nutrientes, radiación) y biológicas (composición y abundancia de las comunidades bacterianas, fito- y zooplanctónicas) que determinan sus cambios en el tiempo. La información experimental junto a los registros de las principales variables ambientales representarán las condiciones de entrada para alimentar un modelo matemático-computacional que permita simular el funcionamiento del ecosistema y lograr algún grado de predicción de la conducta de este bajo diferentes escenarios de cambio climático.

El mérito innovador de esta propuesta, tiene relación con la falta de información acerca de



*FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017*

las tasas de degradación de la materia orgánica en fiordos de la Patagonia, sus cambios temporales y su respuesta a variaciones en las condiciones ambientales y al ingreso de materiales alóctonos. Comparada con la información disponible para producción de materia orgánica, la capacidad degradativa de este ecosistema es prácticamente desconocida.



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

2. ANTECEDENTES DEL POSTULANTE Y ASOCIADOS

2.1 Identificación de la entidad postulante	
Nombre	Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP)
RUT	65.091.146-6
Dirección	Moraleda 16, Coyhaique
Teléfonos	67-2247801
2.2 Identificación Representante Legal²	
Nombre	Mark Buscaglia Solé
CI	[REDACTED]
Dirección	[REDACTED]
Teléfonos	[REDACTED]
E-mail	[REDACTED]
Firma ³	
2.3 Identificación de Representante Técnico	
Nombre	Giovanni Daneri Hermosilla
CI	[REDACTED]
Dirección	[REDACTED]
Teléfonos	[REDACTED]
E-mail ⁴	[REDACTED]
Firma	

² El representante legal, de la entidad receptora, es quién debe firmar cada documento enviado al GORE Aysén.

³ La postulación de iniciativas a esta Convocatoria acredita para todos los efectos legales, que el representante legal de la institución que postula conoce y acepta el contenido íntegro de las presentes bases y se sujetará a los resultados del presente Concurso.

⁴ Las comunicaciones oficiales, para efectos de coordinación de la iniciativa, se realizarán a esta dirección de correo electrónico.



2.4 Presencia Regional del postulante

Refiérase a instalaciones físicas, administrativas, contables y recursos humanos presentes en la región y que el postulante pondrá a disposición para el desarrollo de la iniciativa.

El Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) es una corporación regional de desarrollo cooperativo sin fines de lucro que se proyecta como un importante centro de excelencia académica, que ha permitido el desarrollo de investigación fundamental y aplicada en la región de Aysén, ofreciendo un marco de referencia para organizaciones públicas, privadas y académicas. Responde en especial a la necesidad regional de contar con una institución dedicada a la investigación, innovación y transferencia tecnológica, al alinear su estrategia de acción sobre las prioridades productivas y fortalecer redes de colaboración nacional e internacional que benefician al desarrollo regional.

El CIEP mantiene como objetivos de investigación lo siguiente:

1. Consolidar la investigación fundamental en ecosistemas acuáticos y terrestres, en particular para determinar el impacto del cambio climático en los ecosistemas regionales.
2. Promover el desarrollo de actividades productivas sustentables, en particular en los sectores de acuicultura, pesca artesanal y turismo.
3. Intensificar la investigación aplicada y fomentar el traspaso de conocimiento científico a la sociedad regional.
4. Extender las redes científicas internacionales para multiplicar las investigaciones desarrolladas en la región y mejorar la calidad del conocimiento de sus ecosistemas.

La presente propuesta se enmarca dentro de estos objetivos y dentro de los objetivos de la línea de investigación en Ecosistemas Acuáticos, que incluye principalmente el predecir cambios en la respuesta de los sistemas acuáticos al impacto generado tanto por perturbaciones remotas de gran escala (calentamiento global) como locales (actividades antropogénicas).

Dentro de la línea de Ecosistemas acuáticos el CIEP cuenta con seis investigadores, de los cuales tres participarán de esta iniciativa: Paulina Montero, Giovanni Daneri y Pablo Mata. Además se contará con la participación de los profesionales de apoyo: Soraya Villagrán y Rosa Torres en laboratorio, Nicolás Araneda en terreno y Gabriela Igor como asistente de investigación.

El CIEP cuenta actualmente con una infraestructura de aproximadamente 1.000 m², que incluye espacio de laboratorio con equipamiento con alta capacidad de análisis, entre ellos un set de tres microscopios invertidos (Zeiss) con contraste de fase que permiten la identificación de microalgas y uno de ellos con epifluorescencia para realizar la



identificación de bacterias. Además, se cuenta con dos lupas estereoscópicas (Zeiss Stemi 2000 C) para la identificación de zooplancton y equipamiento para medir la concentración de clorofila (Turner Design TD-700 fluorómetro), carbón orgánico disuelto (TOC-5000 Shimadzu DOC analyzer) y de nutrientes en la columna de agua (UV- 1203 Shimadzu espectrofotómetro). El equipo para el análisis de la composición microbiana por PCR-DGGE estará disponible en el Laboratorio de Geoquímica Orgánica de la Universidad de Concepción, a través de la participación en esta propuesta del Dr. Marcelo Gutiérrez, docente e investigador del Departamento de Oceanografía de ésta Universidad quien ha participado previamente en iniciativas de investigación realizadas en el área de estudio. Adicionalmente, la cercana relación que existe entre el grupo de investigadores del CIEP con la Universidad de Concepción (a través del programa de Financiamiento Basal Copas Sur-Austral, PFB-31) y la Universidad de Génova, permitirá el acceso a todo tipo de información y facilidades de laboratorios para desarrollar en forma exitosa la propuesta. El CIEP además cuenta con un vehículo 4x4 y equipamiento para muestreo en terreno que incluye: Un bote zodiac rígido de 8 metros de largo equipado con dos motores fuera de borda de 75hp c/u que permite el muestreo en estaciones oceanográficas cercanas a la costa, un CTD (Ocean Seven 304, IDRONAUT) que permite realizar perfiles verticales de temperatura y salinidad dentro de la columna de agua, y un espectroradiómetro sumergible (Biospherical PUV2510-2500, radiómetro) para realizar perfiles de luz. Además, se cuenta con botellas oceanográficas para realizar la toma de muestras de agua desde distintas profundidades.

2.5 Identificación de asociados

Nombre asociado 1	Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G. (SalmonChile)
Giro	Investigación científica
Rut	96.689.640-K
Dirección	Juan Soler Manfredini 41, of. 1802, Puerto Montt
Teléfonos	65-2256666
Contacto	Paulina Artacho
E-mail	partacho@intasal.cl



3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INICIATIVA

3.1 Pertinencia y aporte de la iniciativa

Describe el problema a abordar en relación las líneas priorizadas en el punto 3 de las Bases de concurso y su pertinencia con lo descrito en la Estrategia Regional de Innovación.

Dentro de la Estrategia Regional de Innovación (ERI) Aysén uno de los ejes importantes de desarrollo es el que tiene relación con el polo de conocimiento en recursos naturales, biodiversidad y cambio climático para un uso sustentable de los recursos. En este contexto, una de las líneas de investigación que ha sido priorizada para este concurso es la relacionada al estudio de cambios esperados y no conocidos que sufrirá la Patagonia debido al cambio climático.

El problema que pretende abordar este estudio es disminuir la brecha de conocimiento que existe en torno a los recursos naturales y a los ecosistemas de la región, entendiendo la situación actual del sistema y proyectando el futuro de este. En este contexto, consideramos que la investigación del impacto actual y futuro que el cambio climático puede tener en el funcionamiento de los fiordos de la Patagonia es fundamental para aplicar estrategias de manejo que un uso sustentable en el tiempo de los recursos y de los servicios que este ecosistema entrega.

Dentro de los fiordos; y en general en los ecosistemas acuáticos, los efectos del cambio climático y del desarrollo de actividades antropogénicas (como la salmónica) pueden ser múltiples y simultáneas. Una de las principales preocupaciones al respecto tiene que ver con el cambio que se puede producir en las propiedades físico-químicas del agua y el cambio que esto provocaría en la estructura de las comunidades y por consiguiente en el funcionamiento del ecosistema.

Considerando que el funcionamiento general del ecosistema acuático depende del flujo de materia orgánica que circula dentro de la trama trófica, nuestra propuesta busca entender y proyectar cómo y cuánto se degrada y consume la materia orgánica (autóctona y alóctona) dentro de un ecosistema de fiordos actualmente expuesto a diferentes perturbaciones naturales y antropogénicas, y predecir su respuesta bajo distintos escenarios de cambio climático.



3.2 Objetivo general

Corresponde indicar cuál es el resultado directo a ser logrado como consecuencia de la utilización de los objetivos entregados por el programa. Es decir, la contribución específica a la solución del problema diagnosticado. Se debe tener en cuenta que cada programa tiene un solo propósito u objetivo general.

Estimar la capacidad degradativa de la materia orgánica autóctona (producida in situ) y alóctona (proveniente de fuentes antropogénicas) en aguas del canal de Puyuhuapi y proyectar su respuesta bajo futuros escenarios de cambio climático.

3.3 objetivos específicos

Corresponde identificar y describir cuáles son los productos (bienes y/o servicios) específicos que produce o entrega el programa para cumplir su propósito. Cada objetivo debe ser justificado en relación a su contribución al logro del propósito.

1. Estimar las tasas de producción de materia orgánica autóctona durante un ciclo anual en el área de estudio.
2. Estimar las tasas de degradación y la diversidad de la comunidad bacteriana frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).
3. Estimar las tasas de consumo de organismos bentónicos filtradores suspensívoros frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).
4. Desarrollar un modelo matemático-computacional que permita evaluar la degradación de la materia orgánica (autóctona, alóctona) y el funcionamiento del ecosistema bajo futuros escenarios de cambio climático.
5. Difundir los resultados experimentales y de simulación obtenidos.



3.4 Mérito innovador (máximo 1 página)

Breve descripción de la iniciativa, su mérito innovador y nivel de diferenciación respecto de soluciones disponibles o iniciativas ya desarrolladas.

En la región de Aysén, se espera que uno de los principales efectos del cambio climático tenga relación con cambios el régimen anual de precipitaciones y temperatura. El cambio en los patrones establecidos de estas variables podría traducirse en alteraciones de las propiedades físico-químicas del agua y de la estructura y diversidad de la comunidad de organismos acuáticos, y así afectar el funcionamiento del ecosistema. Por otro lado, y junto a los efectos climáticos, el desarrollo de la actividad salmonera, y su potencial intensificación en la región, representa una entrada alóctona de nutrientes y materia orgánica al sistema que podría en un mediano plazo aumentar el riesgo de eutrofización de las aguas.

Un cambio en la composición de especies lleva a un cambio en el funcionamiento del ecosistema, principalmente en lo que respecta a la producción y degradación de la materia orgánica y por lo tanto en el suministro y transferencia de esta hacia niveles tróficos superiores. Bajo la base que el funcionamiento general del ecosistema acuático depende del flujo de materia orgánica a través de la trama trófica, es necesario conocer la variabilidad natural de éstos flujos así como su respuesta a perturbaciones en el ambiente para proyectar su evolución en el tiempo. En este contexto, nuestra propuesta busca entender cómo se degrada y consume la materia orgánica (autóctona y alóctona) dentro de un ecosistema de fiordo que actualmente se encuentra expuesto a diferentes perturbaciones naturales y antropogénicas, además de simular bajo distintos escenarios de cambio climático su potencial funcionamiento. Cabe destacar que la presión natural y antropogénica actualmente ejercida sobre algunos fiordos de la Patagonia representan un verdadero laboratorio natural para evaluar probables escenarios de cambio esperados para este tipo de ambientes acuáticos.

Dentro de los méritos innovadores de esta propuesta se encuentran: i) la caracterización de la variabilidad temporal y causalidad de un proceso prácticamente desconocido en fiordos de la Patagonia como es la tasa de degradación de la materia orgánica, ii) el monitoreo simultáneo de la variabilidad temporal de la síntesis de materia orgánica y sus tasas de degradación y consumo por parte de la comunidad bacteriana y de la comunidad bentónica filtradora suspensiva y iii) la incorporación de la información generada en un modelo que permita hacer proyecciones de cambio en los balances entre síntesis e ingreso de materia orgánica y su degradación asociados a variaciones ambientales.

El nivel de diferenciación de esta propuesta en relación con otros estudios que se hayan desarrollado, es la inclusión de la materia orgánica alóctona que ingresa al sistema proveniente principalmente del desarrollo de la actividad salmonera como un factor de determinación de la capacidad degradativa del sistema. A su vez, la incorporación de la información en un modelo matemático-computacional que permitirá lograr algún grado de predicción del funcionamiento del ecosistema bajo diferentes escenarios de cambio climático e incremento de la actividad antropogénica. De igual forma, es necesario notar



que en la actualidad no existen modelos bio-geoquímicos validados experimentalmente que describan la dinámica estacional de la producción primaria en los fiordos y canales del sur Austral ni tampoco estudios numérico-experimentales acerca del impacto de las acciones humanas y del clima en estos ciclos

3.5 Diagnóstico de la situación actual

Describa qué acciones se han realizado en el ámbito regional, nacional e internacional en relación al problema a abordar y los resultados que se han obtenido. Incluya aspectos técnicos, comerciales, sociales, ambientales incorporar

En los ecosistemas acuáticos el cambio climático está asociado con modificaciones simultáneas en la temperatura, la circulación, la estratificación, el aporte de nutrientes, el contenido de oxígeno y la acidificación del océano, con efectos biológicos potencialmente amplios (Bopp *et al.*, 2005; Boyd *et al.*, 2008; Doney *et al.*, 2012).

Los efectos directos de los cambios en la temperatura y química del océano pueden alterar el funcionamiento fisiológico, el comportamiento y los rasgos demográficos (por ejemplo, la productividad) de los organismos, dando lugar a cambios en la estructura de tamaño, rango espacial y abundancia estacional de poblaciones (Doney *et al.*, 2012). Los cambios a nivel de población que están ocurriendo en diversos ambientes acuáticos son principalmente asociados a la compresión de hábitats debido a la intolerancia fisiológica que muestran ciertas especies frente a las nuevas condiciones ambientales, promoviendo así la migración y la extinción local si la adaptación no es posible (Parmesan, 2006). La no adaptación resulta en una modificación de la estructura y diversidad de la comunidad de organismos acuáticos, con el consiguiente impacto en el funcionamiento general del ecosistema y en los servicios de los que dependen las personas y las sociedades (Doney *et al.*, 2012).

En el ámbito internacional, numerosos estudios han abordado la respuesta de la producción de materia orgánica (productividad primaria) del océano abierto a las forzantes del clima en escalas locales a globales. Estudios retrospectivos muestran que los aumentos en la temperatura del océano superior, y por lo tanto la estratificación vertical, resultan en disminuciones de la abundancia del fitoplancton y por lo tanto en la producción primaria, especialmente en latitudes medias a bajas (Behrenfeld *et al.*, 2006). El calentamiento también puede causar que la fracción de fitoplancton pequeño (picofitoplancton) aumente; reduciendo el flujo de energía a niveles tróficos más altos (Moran *et al.*, 2010), debido a que las tasas de producción de materia orgánica de estos organismos son menores. La disminución en la abundancia histórica del fitoplancton es detectable en escalas de décadas hasta el siglo pasado (Antoine *et al.*, 2005, Boyce *et al.*, 2010). Por lo demás, diferentes modelos climáticos (Steinacher *et al.*, 2010) indican reducciones de la producción de materia orgánica global del 2% a un 20% para el año 2100, con las principales disminuciones localizadas en latitudes medias a bajas producto de la reducción de la entrada



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

de nutrientes a la zona eufótica y en el Ártico debido a temperaturas más cálidas y presencia de menos hielo marino. Tales condiciones oligotróficas, baja concentración de nutrientes y menor productividad primaria, generan un mayor dominio de la red alimentaria bacteriana (anillo microbiano) en la columna de agua que conlleva una mayor degradación de la materia orgánica en aguas superficiales y un menor flujo de exportación de materia orgánica hacia el bentos (Donay *et al.*, 2012).

A nivel regional, numerosos estudios indican que los fiordos y canales de la Patagonia chilena son ecosistemas con una alta producción de materia orgánica y flujo vertical de carbón (González *et al.*, 2010; 2011; 2013; Montero *et al.* 2011), donde la degradación de la materia orgánica es realizada principalmente por la comunidad bacteriana (Montero *et al.*, 2011). Esta comunidad es capaz de procesar una proporción significativa del carbón orgánico que ingresa al sistema, ofreciendo una ruta permanente y fundamental para la transferencia de materia orgánica hacia niveles tróficos superiores (Montero *et al.*, 2011). Aunque la producción de materia orgánica por parte del fitoplancton (materia orgánica autóctona) representa un importante origen de sustratos orgánicos para la comunidad bacteriana, otros estudios han indicado que la materia orgánica alóctona puede ser también un importante origen de nutrientes orgánicos para las bacterias que habitan en fiordos (Newell *et al.*, 1981; Button, 1984; Albright and McCrae, 1987). En fiordos de la Patagonia, la materia orgánica alóctona está principalmente asociada con el flujo de agua dulce que ingresa al sistema, pero también y cada vez más con la actividad antropogénica, particularmente la salmonera. Los microorganismos responden a los cambios ambientales modificando su estructura comunitaria y sus características funcionales (Karl 2007, Campbell *et al.*, 1998). En este contexto, los cambios en la calidad y el suministro de materiales alóctonos asociados con las variaciones en los regímenes de entrada de agua dulce y/o el cultivo de salmones en fiordos Patagónicos pueden tener consecuencias directas en las comunidades microbianas costeras.

Las tasas de degradación de materia orgánica obtenidas *in situ* por Montero *et al.* (2011) en el fiordo Reloncaví, reflejan que el sistema consume más carbón orgánico del que es producido localmente, con altas tasas de producción bacteriana probablemente sostenidas por el ingreso de material alóctono al sistema. Aunque Montero *et al.* (2011) no caracterizó la fuente de carbono utilizada por las bacterias (es decir, la materia orgánica alóctona versus la autóctona), la significativa correlación obtenida entre la producción algal y bacteriana sugiere una fuerte indicación de que el carbono derivado de las microalgas puede ser un importante sustrato para el crecimiento bacteriano en la zona de estudio. En este estado el sistema puede permanecer balanceado desde el punto de vista trófico (autotrofia vs. heterotrofia), sin embargo un eventual aumento en la carga de materia orgánica alóctona puede llevar a un desbalance y cambios en las comunidades de microorganismos que pueden alterar el funcionamiento del ecosistema.



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

Al respecto, las preguntas que requieren pronta respuesta son: ¿Es la materia orgánica alóctona proveniente de la actividad salmonera capaz de ser utilizada por las comunidades naturales de bacterias que habitan los fiordos Patagónicos?, y de ser así ¿Cuánto de la materia orgánica autóctona y alóctona que ingresa al sistema es capaz de ser consumida (capacidad degradativa) por la comunidad bacteriana que habita el canal de Puyuhuapi? Además considerando las futuras modificaciones esperadas para este ecosistema, cabe preguntarse ¿Cómo la capacidad degradativa se verá afectada bajo futuros escenarios de cambio climático y del potencial aumento del desarrollo de la actividad salmonera en el área?. Aunque hay poca información acerca de qué tipo de carbón (alóctono, autóctono) es preferido por diferentes grupos filogenéticos de bacterias, algunos trabajos mencionan que efectivamente existe preferencia por ciertos tipos de materia orgánica (Langenheder *et al.*, 2006), por lo que es esperable que se obtengan modificaciones en la diversidad y estructura comunitaria de bacterias asociadas a aportes de materia orgánica con diferentes origen. En este contexto, un conocimiento más detallado de la capacidad de diferentes comunidades de bacterias para procesar tanto la materia orgánica autóctona como la materia orgánica alóctona es requerido para determinar los posibles umbrales de la capacidad degradativa en términos de calidad y cantidad de materia orgánica.

En la región de Aysén, se espera que uno de los principales efectos del cambio climático tenga relación con el régimen anual de precipitaciones y temperatura (Iriarte *et al.*, 2010). El cambio en los patrones establecidos de estas variables podría traducirse en alteraciones ambientales del ecosistema, provocando principalmente la modificación de la estructura hidrográfica de la columna de agua debido al aumento/disminución en la entrada de agua dulce y al incremento de temperatura en las aguas superficiales. Un aumento en la entrada de agua dulce y en los niveles de temperatura en aguas superficiales tiene el potencial de fortalecer la pycnoclina estratificando la columna de agua. Una fuerte pycnoclina resulta en una menor transferencia de materia orgánica y nutrientes desde la columna de agua superior a la profunda (Rabalais *et al.*, 2010). Se ha demostrado que el ingreso de agua dulce desde el derretimiento de glaciares hacia los fiordos Patagónicos puede alterar la composición de la comunidad bacteriana, al desplazar a las bacterias autóctonas y reemplazarlas por otras mejor adaptadas para vivir bajo condiciones extremas de frío y baja salinidad (Gutiérrez *et al.*, 2015), sin embargo se desconoce el efecto que puede tener en términos funcionales. Por otro lado, una disminución en la entrada de agua dulce disminuye la concentración de ácido silícico, alterando la composición de la comunidad fitoplanctónica desde diatomeas hacia un incremento en la proporción de organismos flagelados y/o hacia distintas especies no silificadas (Olsen *et al.*, 2014), menos eficientes en el transporte vertical de carbono. Este cambio en la composición de la comunidad fitoplanctónica/bacteriana puede alterar la productividad del ecosistema; principalmente en lo que respecta a la producción y degradación de la materia orgánica, y por lo tanto en el suministro y transferencia de esta hacia niveles tróficos superiores.



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

Por otro lado y junto a los efectos climáticos, el desarrollo de la actividad salmonera y su potencial intensificación en la región representa un riesgo de perturbación ambiental, ya que constituye una entrada alóctona de nutrientes y materia orgánica al sistema que podría en un mediano plazo aumentar la probabilidad de eutrofización de las aguas. Es sabido, que la alta cantidad de materia orgánica alóctona y de nutrientes que reciben los ecosistemas de fiordos y canales y en general los sistemas costeros, pueden resultar en fuertes procesos de eutrofización (Kemp *et al.*, 2005; Díaz and Rosenberg, 2008). El incremento que se ha producido durante las últimas décadas en el ingreso de estos materiales a los ecosistemas acuáticos es principalmente atribuible a la acuicultura, la agricultura, la aplicación de fertilizantes, la deforestación y la descarga de aguas residuales domésticas (Gray *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2002; Díaz and Rosenberg, 2008; Korpinen and Bondsdorff, 2015). La eutrofización fomenta el aumento de la biomasa de los organismos autótrofos a niveles excesivos, debido principalmente al aumento en la cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que ingresa a los sistemas acuáticos (Boesh, 2008). Este cambio en la concentración de nutrientes y en su proporción (razón Redfield) por incremento de nitratos y fosfatos muchas veces resulta en un cambio hacia especies fitoplanctónicas oportunistas y de rápido crecimiento y/o en un incremento en la frecuencia de aparición de florecimientos de microalgas nocivas o tóxicas (Kemp *et al.* 2005; Korpinen and Bondsdorff, 2015), que representan un enorme problema para los sistemas socioecológicos costeros.

La degradación de la materia orgánica por parte de la comunidad bacteriana tiene directas implicancias en la habilidad del sistema para exportar carbón, principalmente hacia la comunidad bentónica de organismos filtradores suspensívoros. La alimentación de esta comunidad depende en gran medida del flujo vertical de la materia orgánica (materia orgánica exportada) desde la superficie hacia el bentos. Esta interacción trófica representa un importante proceso de transferencia de energía en los ecosistemas acuáticos, ya que la materia orgánica que circula en la trama trófica pelágica (de la columna de agua) se convierte en biomasa animal en la red alimentaria bentónica. Los organismos suspensívoros han sido destacados por filtrar grandes volúmenes de agua de mar y retener un amplio rango de partículas (de aproximadamente 5-35 μm de diámetro), tales como alimento no consumido, fitoplancton y bacterias (Gili & Coma, 1998; Soto & Mena, 1999; Neori *et al.*, 2004). De hecho, algunos de los organismos filtradores suspensívoros han sido usados como control de abundancia de microalgas (Dolmer, 2000), y de prueba para filtrar pequeñas partículas de alimento o heces de salmónidos (Reid *et al.*, 2010; Irisarri *et al.*, 2015), además de ser utilizados para la posible reducción del impacto ambiental causado por los desechos orgánicos del cultivo de peces (Gao *et al.*, 2008). Este potencial poder de “limpieza” que existe por parte de los organismos bentónicos filtradores ha sido propuesto como un mecanismo de control de la eutrofización en áreas costeras impactadas por la acuicultura (Rice, 1999; Rice *et al.*, 2000). En este sentido, una de las principales preguntas que surgen



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

es ¿cuánto del flujo vertical tanto de materia orgánica autóctona como alóctona consume la comunidad de organismos bentónicos filtradores suspensívoros que habitan el canal de Puyuhuapi? ¿esta comunidad es capaz de consumirla (utilizarla)?, ¿sus tasas de remoción de material particulado pueden verse afectadas bajo futuros escenarios de cambio climático?. Además, es importante conocer si la materia orgánica alóctona es utilizada por los organismos bentónicos suspensívoros una vez que ha sido empaquetada como biomasa bacteriana o pueden utilizarla directamente.

En nuestra región poco es conocido respecto de los efectos de estos escenarios de cambio climático sobre la capacidad degradativa y el funcionamiento del ecosistema, así como el riesgo potencial de eutrofización y el efecto sinérgico de las variaciones ambientales y las perturbaciones derivadas de la actividad antropogénica. Además, se desconoce el papel que podrían tener las bacterias y organismos bentónicos filtradores en minimizar los impactos ambientales potencialmente negativos de la liberación de materia orgánica proveniente de la salmonicultura dentro de los fiordos Patagónicos.

REFERENCIAS

- Albright, L.J., McCrae, S.K., 1987. Annual Bacterioplankton biomasses and productivities in a temperate west coast Canadian Fjord. *Appl Environ Microb* 53 (6), 1277-1285.
- Antoine D, Morel A, Gordon HR, Banzon VF, Evans RH. 2005. Bridging ocean color observations of the 1980s and 2000s in search of long-term trends. *J. Geophys. Res.* 110:C06009
- Behrenfeld MJ, O'Malley RT, Siegel DA, McClain CR, Sarmiento JL, et al. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444, 752-55
- Bopp, L., Aumont, O., Cadule, P., Alvain, S., Gehlen, M. 2005. Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study. *Geophys Res Lett* 32, L19606, doi:10.1029/2005GL023653.
- Boyce DG, Lewis MR, Worm B. 2010. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 466, 591-96
- Boyd, P.W., Doney, S.C., Strzepek, R., Dusenberry, J., Lindsay, K., Fung, I. 2008. Climate-mediated changes to mixed-layer properties in the Southern Ocean: assessing the phytoplankton response. *Biogeosciences*, 5 (3), 847-864.
- Button, D.K., 1984. Evidence for a terpene-based food chain in the Gulf of Alaska. *Appl Environ Microb* 48, 1004-1011.
- Campbell, L., Landry, M.R., Constantinou, J., Nolla, H.A., Brown, S.L., Liu, H., Caron, D.A. 1998. Response of microbial community structure to environmental forcing in the Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 45, 2301-2326.
- Diaz, R. J., Rosenberg, R. 2008. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321, 926-929.
- Dolmer P. 2000. Feeding activity of mussels *Mytilus edulis* related to near-bed currents and phytoplankton biomass. *J Sea Res* 44, 221-231
- Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B. Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., and Talley, L.D. 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annu Rev*



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

- Mar Sci 4, 11-37.
- Gao QF, Xu WZ, Liu XS, Cheung SG, Shin PKS. 2008. Seasonal changes in C, N and P budgets of green-lipped mussels *Perna viridis* and removal of nutrients from fish farming in Hong Kong. Mar Ecol Prog Ser 353, 137-146
- Gili, J. M. & Coma, R. 1998. Benthic suspension feeders: Their paramount role in littoral marine food webs. Trends Ecol Evol 13, 316-321.
- González, H.E., Calderon, M.J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L.A., Daneri, G., Iriarte, J.L., Lizárraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C.A., Molinet, C., 2010. Primary Production and plankton dynamics in the Reloncaví Fjord and the Interior Sea of Chiloé, Northern Patagonia, Chile. Mar Ecol Prog Ser 402, 13-30.
- González, H.E., Castro, L., Daneri, G., Iriarte, J.L., Silva, N., Vargas, C.A., Giesecke, R., Sánchez, N., 2011. Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: carbon flow through the pelagic food web of Aysén Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. Cont Shelf Res 31, 225-243.
- González, H.E., Castro, L.R., Daneri, G., Iriarte, J.L., Silva, N., Tapia, F., Teca, E., Vargas, C.A., 2013. Land-ocean gradient in haline stratification and its effects on plankton dynamics and trophic carbon fluxes in Chilean Patagonian fjords (47-50°S). Prog Oceanogr 119, 32-47.
- Gray, J., Wu, R. S, Or, Y. Y. 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. Marine Ecology Progress Series 238, 249-279.
- Gutiérrez, M.H., Galand, P.E., Moffat, C., Pantoja, S. (2015) Melting glacier impacts community structure of Bacteria, Archaea and Fungi in a Chilean Patagonia fjord. Environ Microbiol 17, 3882-3897.
- Henson, S., Cole, H., Beaulieu, C., Yool, A. 2013. The impact of global warming on seasonality of ocean primary production. Biogeoscience 10, 4357-4369.
- Iriarte, J.L., González, H.E., Nahuelhual, L. 2010. Patagonian Fjord Ecosystems in Southern Chile as a Highly Vulnerable Region: Problems and Needs. AMBIO 39, 463-466.
- Irisarri J, Fernández-Reiriz MJ, Labarta U, Cranford PJ, Robinson SMC. 2015. Availability and utilization of waste fish feed by mussels *Mytilus edulis* in a commercial integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system: a multi-indicator assessment approach. Ecological Indicators 48, 673-686.
- Karl, D.M. 2007. Microbial oceanography: paradigms, processes and promise. Nature Reviews Microbiology 5, 759-769
- Kemp, W. M., Boynton, W. R., Adolf, J. E., Boesch, D. F., Boicourt, W. C., Brush, G., Cornwell, J. C., Fisher, T. R., Glibert, P. M., Hagy, J. D., Harding, L. W., Houde, E. D., Kimmel, D. G., Miller, W. D., Newell, R. I. E., Roman, M. R., Smith, E. M., Stevenson, J. C. 2005. Eutrophication of Chesapeake Bay: historical trends and ecological interactions. Marine Ecology Progress Series Mar 303, 1-29.
- Korpinen, S., Bondsdorff, E. 2015. Eutrophication and hypoxia: impacts of nutrient and organic enrichment. In Marine Ecosystems: Human Impacts on Biodiversity, Functioning and Services, eds T. P. Crowe and C. L. J. Frid. Published by Cambridge University Press. Cambridge University Press 2015. pp 202-243.
- Langenheder, S., Lindström, E.S., Tranvik, L.J. 2006. Structure and function of bacterial communities emerging from different sources under identical conditions. App Env Microbiol 72 (1): 212-22.



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

- Montero, P., G., Daneri, H.E., González, J.L., Iriarte, F.J., Tapia, L. Lizárraga, N., Sanchez, O. Pizarro. 2011. Seasonal variability of primary production in a fjord ecosystem of the Chilean Patagonia: implications for the transfer of carbon within pelagic food webs. *Continental Shelf Research* 31, 202-215.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M., Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* 231, 361-391.
- Newell, S.Y., Christian, R.R., 1981. Frequency of dividing cells as an estimator of bacterial productivity. *Appl. Environ. Microbiol.* 42, 23-31.
- Olsen, L.M., Hernández, K.L., Van Anderlan, M., Iriarte, J.L., Sánchez, N., González, H.E., Tokle, N., Olsen, Y. 2014. Responses in the microbial food web to increased rates of nutrient supply in a southern Chilean fjord: possible implications of cage aquaculture. *Aquacult. Environ. Interact.* 6, 11-27
- Parmesan C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2006. 37, 637-69.
- Rabalais, N. N., Díaz, R. J., Levin, L. A., Turner, R. E., Gilbert, D., Zhang, J. 2010. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences* 7, 585-619
- Reid GK, Liutkus M, Bennett A, Robinson SMC, MacDonald B, Page F. 2010. Absorption efficiency of blue mussels (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) feeding on Atlantic salmon (*Salmo salar*) feed and fecal particulates: implications for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture* 299, 165-169
- Rice, M.A. (1999) Control of eutrophication by bivalves: Filtration of particulates and removal of nitrogen through harvest of rapidly growing stocks. *J. of Shellfish Res.* 18(1):275.
- Rice, M.A., A. Valliere, M. Gibson & A.Ganz (2000) Ecological significance of the Providence River quahogs: Population filtration. *J. of Shellfish Res.* 19(1): 580.
- Soto, D., Mena G. 1999. Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture* 171, 65-81
- Wu, R. S. S. Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses. 2002. *Marine Pollution Bulletin* 45: 35-45.



3.6 Resultados esperados

Enumere los principales resultados que se esperan obtener de la ejecución de la iniciativa.

1. Ciclo estacional de la producción de materia orgánica autóctona en el área de estudio.
2. Tasas de degradación y la diversidad de la comunidad bacteriana frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).
3. Tasas de consumo de organismos bentónicos suspensívoros frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).
4. Modelo matemático-computacional que permita evaluar la degradación de la materia orgánica (autóctona, alóctona) y el funcionamiento del ecosistema bajo futuros escenarios de cambio climático.
5. Resultados difundidos a la comunidad.

3.7 Impactos esperado (económicos, sociales y/o ambientales)

Describa la dimensión, la magnitud y el tipo de los impactos económicos, sociales y/o ambientales que la iniciativa espera causar entre los beneficiarios y la población objetivo

En nuestra región poco es conocido con respecto a los distintos escenarios de cambio climático y su potencial efecto sobre el ecosistema acuático y los servicios que este entrega. Además, aunque se reconoce un impacto potencial de las actividades antropogénicas como la acuicultura en los ecosistemas de fiordos Patagónicos, no existe evidencia concluyente sobre sus efectos en las comunidades de organismos acuáticos ni sobre sus alcances para los sistemas socioecológicos costeros.

Por otro lado, actualmente se desconoce la potencial importancia que organismos tales como bacterias y organismos bentónicos filtradores suspensívoros pudieran tener en minimizar los impactos ambientales potencialmente negativos de la liberación de materia orgánica proveniente de la salmonicultura dentro del sistema, tal como la eutrofización. Por lo tanto, se espera que la información generada durante este estudio se traduzca en un capital de conocimiento con potencial impacto ambiental y económico-social, ya que al entender como funciona el ecosistema hoy y proyectar este funcionamiento bajo un escenario de cambio climático y alta perturbación antropogénica se podrá linear los planes para un uso sustentable del sistema de fiordos Patagónicos.

Específicamente los resultados permitirán que variables biogeoquímicas sean incorporadas dentro del modelo de desarrollo con un enfoque ecosistémico, que facilitará la proyección de acciones futuras, necesarias, a fin de encauzar la sustentabilidad de los recursos y de los servicios que entrega este ecosistema a sus beneficiarios. Adicionalmente, la información



*FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017*

obtenida es: 1) información oceanográfica relevante para el desarrollo sostenible de la acuicultura en fiordos de la Patagonia Chilena y 2) permite la evaluación del impacto del cambio climático y la salmonicultura sobre las principales variables de estado asociadas a los procesos productivos del ecosistema de fiordos.



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

3.8 INDICADORES			
Objetivos	Indicador⁵	Meta⁶	Medios de Verificación⁷
Objetivo general: Estimar la capacidad degradativa de materia orgánica (autóctona y alóctona) en la columna de agua del canal de Puyuhuapi y proyectar su respuesta bajo futuros escenarios de cambio climático.	Muestreos mensuales, intensivos, experimentos en laboratorio con bacterias y bentónicos, 1 modelo	12 Muestreos mensuales, 4 muestreos intensivos, 4 experimentos en laboratorio bacterias, 4 experimentos en laboratorio bentónicos, 1 modelo realizado durante el periodo de estudio	Entrega de informe Final
Objetivo específico 1: Estimar las tasas de producción de materia orgánica autóctona durante un ciclo anual en el área de estudio	Muestreo mensual	12 muestreos realizados	Reporte de los datos obtenidos en informe preliminar, final y en 2 talleres de entrega de resultados
Objetivo específico 2: Estimar las tasas de degradación y la diversidad de la comunidad bacteriana frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).	Experimentos en laboratorio	4 experimentos realizados	Reporte de los datos obtenidos en informe preliminar, final y en 2 talleres de entrega de resultados

⁵ Corresponde a una especificación cuantitativa de la relación de dos o más variables (fórmula) que permite verificar el logro alcanzado por el programa en el cumplimiento de sus objetivos. Cuando corresponda los indicadores deben incorporar el enfoque de género y territorial.

⁶ Corresponde al valor deseado del indicador al término del programa. Cada indicador debe contar con una meta.

⁷ Corresponden a las fuentes de información primaria o secundaria que se utilizarán para obtener los valores de los indicadores que verifiquen el grado de cumplimiento de los objetivos. Fuentes primarias son producidas por el programa mientras que las secundarias son independientes a él.



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

<p>Objetivo específico 3: Estimar las tasas de consumo de organismos bentónicos filtradores suspensívoros frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).</p>	<p>Experimentos en laboratorio</p>	<p>4 experimentos realizados</p>	<p>Reporte de los datos obtenidos en informe preliminar, final y en 2 talleres de entrega de resultados</p>
<p>Objetivo específico 4: Desarrollar un modelo matemático-computacional que permita evaluar la degradación de la materia orgánica (autóctona, alóctona) y el funcionamiento del ecosistema bajo futuros escenarios de cambio climático.</p>	<p>Muestreo intensivo Modelo matemático-computacional</p>	<p>4 muestreos intensivos realizados, 1 modelo matemático-computacional aplicado bajo futuros escenarios de cambio climática</p>	<p>Reporte de los datos obtenidos en informe preliminar, final y en 2 talleres de entrega de resultados</p>
<p>Objetivo específico 5: Difundir los resultados experimentales y de simulación obtenidos.</p>	<p>Charlas, Talleres de presentación de resultados, congresos</p>	<p>3 charlas abiertas a la comunidad realizadas, 1 exposición en congreso nacional y 1 en congreso internacional realizada, 2 talleres de presentación de resultados</p>	<p>Lista de asistencia Charlas, Talleres, resumen de presentación oral en libro de resúmenes de congresos</p>



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

3.10 Detalle de Actividades

Corresponde indicar cuáles son las principales actividades que se deben desarrollar para generar los productos (objetivos) del programa. Las actividades deben presentarse agrupadas por objetivo. De ser necesario, considerar el enfoque de género y territorial.

OBJETIVO	Actividad	Descripción
<p>Objetivo específico 1: Estimar las tasas de producción de materia orgánica autóctona durante un ciclo anual en el área de estudio</p>	<p>Muestreo mensual en el canal de Puyuhuapi</p> <p>Análisis de muestras</p> <p>Interpretación de resultados</p>	<p>Se realizará el monitoreo de las tasas de producción de materia orgánica autóctona en una estación fija del canal de Puyuhuapi, junto a la toma de muestras para análisis de variables biológicas y químicas. Las variables físicas serán monitoreadas a través de perfiles verticales</p> <p>Las muestras serán analizadas en el laboratorio. Una vez obtenida la data se interpretarán los resultados.</p>
<p>Objetivo específico 2: Estimar las tasas de degradación y la diversidad de la comunidad bacteriana frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).</p>	<p>Experimentos en laboratorio</p> <p>Análisis de muestras</p> <p>Interpretación de resultados</p>	<p>Las tasas de degradación y la diversidad de la comunidad bacteriana frente a diferentes tipos de materia orgánica serán evaluadas a través de experimentos. Para esto se utilizará un sistema de microcosmo (10L) que será monitoreado por 4 días. Los experimentos se realizarán cada 4 meses. Una vez analizadas las muestras, se interpretarán los resultados.</p>
<p>Objetivo específico 3: Estimar las tasas de consumo de organismos bentónicos filtradores suspensívoros frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona).</p>	<p>Experimentos en laboratorio</p> <p>Análisis de muestras</p> <p>Interpretación de resultados</p>	<p>Las tasas de consumo de organismos bentónicos filtradores frente a diferentes tipos de materia orgánica serán evaluadas a través de experimentos. Para esto se utilizarán un sistema de estanques de cultivo (10L) que será monitoreado por 4 días. Los experimentos se realizarán cada 4 meses. Una vez analizadas las muestras, se interpretarán los resultados.</p>
<p>Objetivo específico 4: Desarrollar un modelo matemático-computacional que permita evaluar la degradación de la materia orgánica (autóctona, alóctona) y el funcionamiento del ecosistema bajo futuros escenarios de cambio climático.</p>	<p>Muestreo intensivo en el canal de Puyuhuapi</p> <p>Formulación e implementación del modelo matemático-computacional</p> <p>Calibración del Modelo</p> <p>Aplicación del modelo e interpretación de resultados</p>	<p>Se realizará el monitoreo de variables físicas, químicas y biológicas a través de una transecta dentro del canal de Puyuhuapi. Los muestreos se realizarán cada 4 meses.</p> <p>Validación de un modelo computacional tridimensional para simular la hidrodinámica del canal de Puyuhuapi empleando el programa SLIM (desarrollado en la Universidad Católica de Lovaina en Bélgica) para la simulación de la dinámica del océano.</p> <p>Construcción, calibración y validación de un modelo para simular la componente bio-geoquímica de la dinámica del ecosistema existente en el canal de Puyuhuapi empleando los programas GOTM y FABM (desarrollados por un consorcio de universidades europeas) para la simulación de los procesos biofísicos (turbulencia y dinámica de la cadena trófica) existentes</p>



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

		<p>en la columna de agua de Puyuhuapi.</p> <p>Aplicación del modelo bajo de distintos escenarios de cambio climático en el canal de Puyuhuapi, incluidos los efectos de la industria acuícola por medio de simulación numérica.</p>
<p>Objetivo específico 5: Difusión de resultados</p>	Charlas abiertas a la comunidad	Investigadores ofrecerán charlas abiertas a la comunidad de Puerto Cisne durante los meses en que se realicen los muestreos intensivos.
	Talleres de presentación de resultados	Se realizarán dos talleres de presentación de resultados (preliminares y finales) en la ciudad de Coyhaique.
	Congresos científicos	Los investigadores asistirán a congresos nacionales e internacionales para exponer los resultados obtenidos durante el estudio.

3.11 Metodología

Debe señalar la modalidad de producción de cada objetivo (mecanismos de ejecución o formas de proveer los productos y/o servicios, especificando en quién recae la responsabilidad de la ejecución de los productos o parte de ellos (entidades públicas o privadas).

El área de estudio corresponde al canal de Puyuhuapi, ubicado en la región de los fiordos al norte de la Patagonia Chilena. Este canal presenta una dirección N-NE y conecta directamente con el canal de Moraleda en su boca y a través del canal Jacaf cerca de su cabeza. Tres principales ríos aportan con el ingreso de agua dulce Ventisquero norte y sur (hacia la cabeza del canal) y el río Cisne (en la mitad del canal). Al mismo tiempo el área hospeda a una gran cantidad de concesiones para cultivo de salmones (50). Consecuentemente, el canal de Puyuhuapi recibe grandes contribuciones de materia orgánica disuelta y particulada desde la producción fitoplanctónica (materia orgánica autóctona) y desde el ingreso de material a través de ríos y la actividad salmonera (materia orgánica alóctona). Bajo esta situación el área de estudio provee un complejo set de diferentes sustratos orgánicos que pueden ser usados por la comunidad bacteriana y por la comunidad bentónica de organismos filtradores suspensivos. No existen estudios *in situ* que describan la composición de la comunidad de bacterias de acuerdo al suministro de sustratos orgánicos (alóctonos y autóctonos), y se sabe poco sobre la importancia de la materia orgánica alóctona en la producción bacteriana y en la nutrición de organismos bentónicos suspensivos.

Se realizarán muestreos mensuales e intensivos dentro del área de estudio. Los muestreos mensuales corresponden a un monitoreo oceanográfico de línea base, que incluye la toma de muestras para estimar la producción de materia orgánica por parte del fitoplancton (producción primaria bruta; GPP) y las tasas de degradación de materia orgánica por parte de las bacterias (producción bacteriana; BP). Adicionalmente, en cada muestreo se obtendrán muestras de agua para estimar la concentración de clorofila, nutrientes inorgánicos (NO₃, NO₂, NH₄, Si(OH)₄, y

PO₄), carbón orgánico disuelto (DOC) y abundancia de microorganismos (bacterias, fitoplancton, microzooplancton y mesozooplancton). Perfiles verticales de temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y luz, también serán realizados en cada muestreo mensual. Los muestreos intensivos incluyen la medición de las mismas variables antes mencionadas, pero esta vez en una serie de estaciones oceanográficas dentro del canal de Puyuhuapi (Fig. 1).

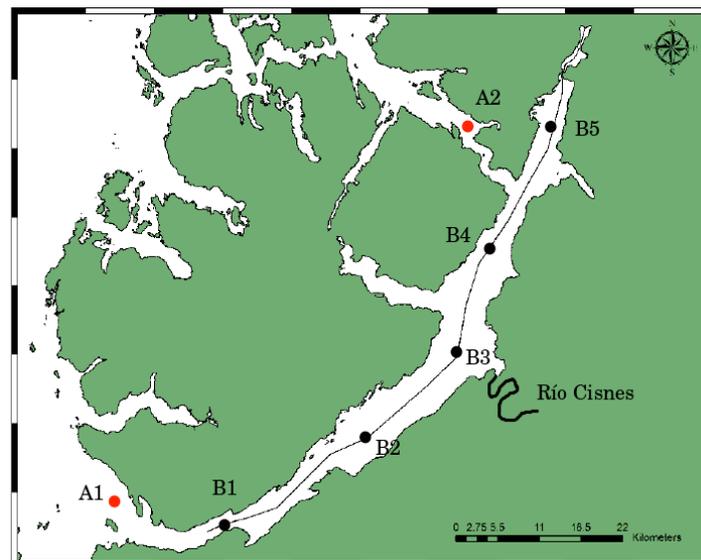


Figura 1. Estaciones de muestreo en el canal de Puyuhuapi. Estación fija B4.

Los experimentos de laboratorio con bacterias y organismos bentónicos filtradores suspensívoros serán realizados dentro de la misma campaña del muestreo intensivo. Se recolectará el agua y los organismos necesarios para montar los experimentos en el laboratorio dispuesto en la comuna de Cisne.

Paralelamente al trabajo en terreno, se trabajará en la formulación e implementación del modelo matemático-computacional. Una vez obtenidos los resultados de los muestreos intensivos, mensuales y de los experimentos, estos alimentarán la base de datos de entrada para validar el modelo construido.

Objetivo específico 1. Estimar las tasas de producción de materia orgánica autóctona durante un ciclo anual en el área de estudio: Las tasas de producción de materia orgánica (GPP) serán estimadas mensualmente en una estación fija del canal de Puyuhuapi. Las muestras serán obtenidas desde la columna de agua a distintas profundidades. Adicionalmente se obtendrán muestras para estimar las tasas de degradación de materia orgánica (PB) e identificar la diversidad de especies que esta comunidad presenta durante un ciclo estacional. Variables físicas, químicas y biológicas que se detallan a continuación también serán incluidas en el



muestreo.

Procedimientos analíticos

Producción primaria (GPP): Las muestras de agua serán obtenidas dentro de la capa fótica (1-20 metros) al amanecer. El agua colectada será transferida a botellas de borosilicato de 125 ml, usando un tubo de silicona para repartirla en 5 botellas cero, 5 botellas claras y 5 botellas oscuras. Cada botella oscura será cubierta con papel Alusa Foil y dispuesta dentro de una bolsa plástica negra. Las botellas claras y oscuras serán incubadas durante el periodo de luz en la profundidad desde la cual fueron obtenidas. Las botellas ceros no serán incubadas y su concentración de oxígeno disuelto, será medida al inicio del experimento. Las concentraciones de oxígeno disuelto se determinarán utilizando un transmisor de fibra óptica (medidor óptico de oxígeno FIBOX, PreSens®). Las tasas diarias de GPP se calcularán de la siguiente manera: $GPP = (\text{botellas claras promedio } [O_2] - \text{botellas oscuras promedio } [O_2])$; Los valores de GPP se convertirán de oxígeno a unidades de carbono usando un cociente fotosintético conservador (PQ) de 1,25 (Williams and Robertson, 1991).

Producción bacteriana (PB): Las muestras de agua serán obtenidas desde distintas profundidades de la columna de agua. La PB se estimará a través de la de incorporación de ³H-leucina (³H-Leu) en las proteínas (Simon and Azam, 1989; Smith and Azam, 1992). Muestras triplicadas de 1.5 mL y un blanco desde cada profundidad serán incubadas en la oscuridad durante 1 hora. Después de las incubaciones, las muestras se extraerán con ácido tricloroacético al 100% (TCA), se aclararán con TCA frío al 5% y se centrifugarán a ~ 13500 rpm dos veces durante 10 minutos antes de retirar el sobrenadante. Todas las muestras se medirán en dpm usando un contador de centelleo líquido. Las tasas de incorporación de leucina se transformarán en carbón bacteriano (Producción bacteriana) utilizando un factor de conversión (Simon and Azam, 1989).

Concentración de nutrientes inorgánicos: Muestras de agua de 500 mL serán obtenidas desde distintas profundidades de la columna de agua (1-5-10-15-20-50-75-100-150-200 metros). y congeladas hasta su posterior análisis en el laboratorio. Una vez en el laboratorio las muestras serán descongeladas y analizadas siguiendo la metodología propuesta en Strickland and Parsons (1968) para estimar la concentración de (NO₃, NO₂, Si(OH)₄, y PO₄); y la metodología de Solórzano (1969) para estimar la concentración de NH₄.

Clorofila-a (Clo-a): Las muestras de agua serán obtenidas desde distintas profundidades de la capa fótica (iluminada; 1-20 metros). Se colectarán entre 200 y 500 mL de agua de mar que serán filtrados y congelados hasta su posterior análisis en el laboratorio. El análisis se realizará utilizando un fluorómetro (Turner Design TD-700) siguiendo la metodología de Parsons *et al.* (1984).

Carbono Orgánico Disuelto (DOC): Muestras para DOC serán obtenidas desde cada profundidad de muestreo. Estas muestras se medirán utilizando una alta combustión catalítica de TOC-5000 Shimadzu. Antes del análisis, las muestras de agua serán descarboxatadas mediante la adición de ácido fosfórico (a un pH de 2) y posteriormente purgadas con gas libre de CO₂ de alta pureza (Cuevas *et al.*, 2004).



Abundancia de la comunidad bacteriana: Las muestras de agua (50 mL) serán obtenidas desde diferentes profundidades de muestreo. Estas se fijarán con glutaraldehído (2% v/v) y se mantendrán en la oscuridad a 4°C hasta el recuento por microscopía de epifluorescencia. Dos y tres mililitros de la muestra que contiene agua de mar se filtrarán sobre filtros de policarbonato negro de 0.2 mm y se teñirá con DAPI (406-diamidina-2-fenilindol) siguiendo la metodología descrita en Porter and Feig (1980).

Diversidad de la comunidad bacteriana: Al menos 1 L de agua será filtrada por filtros de membrana estériles de 0.22 μm de poro y almacenados a -20 °C hasta su procesamiento. La extracción de ADN desde el material particulado atrapado en los filtros se realizará utilizando el Kit de extracción Power Water DNA Kit (MO BIO Laboratories, Inc.). Un μL del templado de ADN será sometido a PCR estándar utilizando partidores generales de bacterias, uno de los partidores estará enriquecido en GC (GC-clamp) de manera de obtener productos de PCR capaces de ser separados a través de Electroforesis en Gel con gradiente Denaturante (DGGE). Las amplificaciones serán realizadas en un termociclador TC-Pro BOECO. Para el DGGE se utilizará un gel de acrilamida/bisacrilamida al 8% con el gradiente denaturante de 20-60%. El gel será incubado en TAE buffer en un sistema de electroforesis vertical (BIO-Rad). La electroforesis se llevará a cabo con 40 μL de productos de amplificación a 100 V y 60 °C por 10 h. El gel será teñido con SYBR Green y fotografiado en un transiluminador. Los patrones de migración y riqueza de bandas serán identificados utilizando el software Quantity One.

Las muestras que arrojen los patrones más relevantes serán seleccionadas y limpiadas utilizando un Power Clean DNA Kit (MO BIO Lab.). Las muestras de ADN serán amplificadas usando partidores de bacteria generales y secuenciadas utilizando la plataforma de secuenciación Illumina MiSeq en un Laboratorio especializado.

Composición de la comunidad fitoplanctónica: Las muestras (500 mL) serán obtenidas desde distintas profundidades de la columna de agua, ubicadas principalmente dentro de la capa fótica. Estas serán fijadas y preservadas en una solución de Lugol al 1%. Desde cada muestra, se analizarán en el laboratorio alícuotas de 10 mL. Para el análisis, las alícuotas serán ubicadas en cámaras de sedimentación por un período de 24 horas (Utermöhl, 1958). Luego de esto, se realizará la lectura utilizando un microscopio invertido (Carl Zeiss, Axio observer A.1). Los organismos serán identificados a nivel de especie, género o grupo funcional.

Abundancia de microzooplancton: Las muestras (5 a 10 L) serán obtenidas desde distintas profundidades de muestreo. Estas serán filtradas a través de una malla de 20 μm y concentradas en frascos de 100 mL. Las muestras serán fijadas con Lugol hasta la enumeración en el laboratorio mediante microscopía invertida (Utermöhl, 1958). Los organismos serán identificados dentro de grupos funcionales.

Abundancia de mesozooplancton: Las muestras serán colectadas desde la columna de agua utilizando una red de arrastre. Los lances serán oblicuos y la red será equipada con un flujómetro calibrado que indica cuanta agua pasas a través de la red. Las muestras se conservarán en formalina tamponada con bórax (concentración final del 10%) hasta el conteo de organismos bajo lupa estereoscópica (Zeiss Stemi 2000 C) en el laboratorio. El análisis de los organismos



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

incluirá la cuantificación de los grupos mayores del zooplancton.

Perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto: Utilizando un instrumento CTD-O (Ocean Seven 304, Idronaut) se obtendrán perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno hasta los 200 metros de profundidad en cada estación de muestreo.

Irradianza: Utilizando un instrumento espectralradiómetro sumergible (Biospherical PUV2510-2500) se obtendrá el perfil de luz de la columna de agua hasta 50 metros de profundidad en cada estación de muestreo.

Objetivo específico 2. Estimar las tasas de degradación y la diversidad de la comunidad bacteriana frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona): Para alcanzar este objetivo se realizarán experimentos en laboratorio. Se utilizarán 180 L de agua que serán obtenidos desde los 2 y 20 metros de profundidad de la estación fija del canal de Puyuhuapi. A bordo de la embarcación, el agua será prefiltrada utilizando un tamiz de 20 μm . Una vez en el laboratorio, el agua nuevamente será filtrada por un filtro de 0.8 μm de tal manera de separar a la comunidad bacteriana del resto de los organismos microplanctónicos. Se utilizarán microcosmos de 10L para realizar los experimentos, que incluyen 3 tipos de tratamiento (bacteria/pellet, bacteria/diatomea, bacteria de 20m en agua 2m), 1 control positivo (bacteria/agua filtrada) y 1 control negativo (agua filtrada) por cada profundidad de muestreo y con su respectiva réplica. Los experimentos serán mantenidos en el laboratorio por un período de 4 días, donde se obtendrán muestras cada 12 horas el primer día para después continuar muestreando cada 24. Las siguientes variables serán monitoreadas: abundancia de bacterias, diversidad de bacterias, PB, DOC y actividad enzimática extracelular. Adicionalmente se medirán los niveles de oxígeno en el inicio, mitad y fin del experimento.

Los procedimientos analíticos utilizados para el análisis de la abundancia de bacterias, diversidad de bacterias, PB y DOC fueron descritos en el objetivo 1.

Procedimientos analíticos

Actividad enzimática extracelular: Para las estimaciones de actividad hidrolítica extracelular se colectarán alícuotas de 5 mL de agua en duplicado, las cuales serán incubadas a temperatura in situ y en oscuridad con sustratos fluorogénicos, similares de proteínas (L-leucine-4-methylcoumarinyl-7-amide, MCA-Leu). La fluorescencia será medida en el tiempo 0 y su aumento cada 30 minutos por 2 h en un fluorómetro Turner. Para los cálculos de concentración equivalente a la fluorescencia se realizarán curvas de calibración con el producto MCA y luego se calcularán las tasas constantes de reacción a través de la determinación de la pendiente de la relación entre el aumento de la concentración de producto respecto a la concentración inicial y el tiempo.

Objetivo específico 3. Estimar las tasas de consumo de organismos bentónicos filtradores suspensívoros frente a diferentes tipos de materia orgánica (autóctona, alóctona): Para alcanzar este objetivo se realizarán experimentos en laboratorio. Antes de iniciar el experimento, los organismos que se utilizarán (*Mytilus chilensis*, *Aulacomya atra*) serán colectados desde el canal de Puyuhuapi mediante Buceo. Se utilizarán 240 L de agua de mar que serán obtenidas desde el



canal de Puyuhuapi a la misma profundidad desde donde se recolectaron los organismos filtradores. Una vez en tierra los filtradores serán aclimatados y luego dispuestos en los estanques de incubación. Se utilizarán estanques de 10L para realizar los experimentos, que incluyen 3 tipos de tratamiento (bacteria/pellet/filtrador en agua de mar filtrada, pellet/filtrador en agua de mar filtrada, filtrador/agua de mar sin filtrar) y 2 control positivo (filtrador/agua de mar filtrada, agua de mar sin filtrar) cada uno con su respectiva réplica y para cada tipo de organismo. Los experimentos serán mantenidos en el laboratorio por un período de 4 días, donde se obtendrán muestras cada 24 horas. Las siguientes variables serán monitoreadas: Tasas de aclarado y de consumo, abundancia de bacterias, diversidad de bacterias, PB, DOC y actividad enzimática extracelular. Adicionalmente se medirán los niveles de oxígeno en el inicio, mitad y fin del experimento.

Procedimientos analíticos

Tasa de aclarado y consumo: Estas tasas en los organismos filtradores, se definen como el volumen de agua que fue procesado y del cual fueron removidos partículas/células, asumiendo un 100% de eficiencia y una distribución homogénea del alimento. Estas se evaluarán a partir de la estimación de la reducción en la concentración de partículas al inicio y al final de los experimentos. Para esto se tomarán muestras de agua iniciales de 500 mL de los estanques tratamiento y control, después de 2 horas nuevas muestras serán obtenidas (muestras finales). Las tasas se calcularán a partir de la disminución en la concentración de presas o partículas que se obtiene en los estanques tratamiento comparadas con lo que se obtendrá en los estanques control (Ribes *et al.*, 2000; Tsounis *et al.*, 2006). De la muestra de 500 mL se cuantificará la concentración de bacterias (Campbell *et al.*, 1994), de fitoplancton (Utermöhl, 1958), el POC (Ribes *et al.*, 2000) y el DOC. Estos experimentos se realizarán en el tratamiento Filtrador/agua de mar sin filtrar y en el control agua de mar sin filtrar.

Las mediciones de abundancia de bacterias, diversidad de bacterias, PB, DOC y actividad enzimática extracelular, se realizarán en el resto de los tratamientos y controles. Los procedimientos analíticos para el análisis de estas variables ya fueron descritos en el objetivo 2.

Objetivo específico 4. Desarrollar un modelo matemático-computacional que permita evaluar la degradación de la materia orgánica (autóctona, alóctona) y el funcionamiento del ecosistema bajo futuros escenarios de cambio climático: La Figura 2 presenta un esquema del modelo numérico-computacional que se desarrollará durante el estudio para la simulación de la dinámica del ecosistema del canal de Puyuhuapi. El lenguaje de programación empleado en la construcción de los modelos computacionales será FORTRAN 2003. Inicialmente, se consideran los siguientes dos módulos:

El Módulo físico (representado en la Figura 2 por medio del rectángulo amarillo P.1) corresponde a un modelo computacional que se empleará para simular la componente física de la dinámica del canal de Puyuhuapi. La función básica de este programa consiste en resolver en el tiempo las ecuaciones diferenciales de continuidad, balance de momento, transferencia de calor, transporte de trazadores (concentración de sal) y disipación de por turbulencia.

El Módulo Bio-geoquímico (representado en la Figura 2 por medio del rectángulo amarillo P.2)



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

que corresponde a un modelo computacional que se usa de manera acoplada con el módulo P.1 para simular la componente bio-geoquímica de la dinámica del canal. La función básica de este módulo consiste en resolver un sistema de ecuaciones diferenciales que describe la evolución temporal de las concentraciones de biomasa (Zooplankton, Fitoplancton, Bacterias), nutrientes inorgánicos (N, P, Si), oxígeno disuelto y materia orgánica existente en el ecosistema de acuerdo a un esquema trófico que se asume como un supuesto de la modelización. La salida de datos (output) producida por medio del módulo computacional P.1 es requerida por el módulo P.2 para llevar a cabo las simulaciones.

El conjunto de los módulos P.1 y P.2 corresponde a un programa matemático-computacional para la simulación de la dinámica de ecosistemas existentes en los fiordos o canales Australes. Para poder aplicar este programa al caso del canal de Puyuhuapi es necesario contar con información obtenida en campañas experimentales en terreno y trabajo de laboratorio donde se midan tanto los forzantes medioambientales como las condiciones de borde del modelo físico-biológico acoplado. Adicionalmente, en la Figura 2 se identifican los siguientes componentes:

1. El rectángulo verde I.1 representa los **forzantes medio-ambientales** (registro anual de velocidad y dirección del viento, componentes mareales, radiación solar incidente, caudales y temperatura de las descargas de agua dulce que concurren a un sitio, etc.) y las **condiciones de borde** (perfiles en profundidad de temperatura y salinidad de los bordes del sitio conectados a mar abierto) que sirven para alimentar la entrada de datos del módulo computacional físico P.1.

2. El rectángulo verde I.2 representa tanto los **forzantes medio-ambientales** (flujos exógenos de nutrientes) como las **condiciones de borde** del módulo computacional bio-geoquímico P.2. Adicionalmente, I.2 incluye los **vertidos orgánicos de la industria acuícola** y los ríos como un forzante adicional del ecosistema. Básicamente, los vertidos orgánicos de la industria corresponden a materia orgánica generada por alimento no consumido.

De esta forma, al aplicar el programa desarrollado en un escenario climático y/o escenario productivo particular, se debe contar con datos iniciales que deben haber sido obtenidos en campañas experimentales, recopilaciones bibliográficas y trabajos de laboratorio. Los rectángulos color rojo-claro designados como O.1 y O.2 de la Figura 2 corresponden a las salidas de datos obtenidas con los programas P.1 y P.2, respectivamente. En particular, mencionamos que: El rectángulo O.1 representa la salida de datos del módulo físico P.1 y contiene las variaciones espaciales y temporales de la velocidad del agua, temperatura, densidad y salinidad en el fiordo o canal. Esta salida se puede usar de manera independiente para estudiar la hidrodinámica del sitio o puede utilizarse como una parte de los forzantes de la componente biogeoquímica del ecosistema (P.2). El rectángulo O.2 representa la salida generada por el módulo biogeoquímico P.2 y describe la variación espacial y temporal de la concentración de nutrientes, biomasa y otros parámetros bio-geoquímicos dentro del ecosistema.

La información contenida en O.2 es de vital importancia para la **estimación de la capacidad de absorción de materia orgánica** por parte del ecosistema. La idea básica para estimar esta capacidad se esquematiza en la Figura 2.2. Los pasos son los siguientes:

1. El módulo computacional bio-geoquímico es alimentado por: 1) la salida de datos del



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

módulo físico P.1, 2) los forzantes medio-ambientales, 3) las condiciones de borde apropiadas y 4) el volumen de materia orgánica vertida por la industria acuícola (es decir, por el input I.2 mas el output de P.1).

2. Este módulo se encarga de resolver las ecuaciones diferenciales que describen la cadena trófica del ecosistema del sitio más los efectos del medio ambiente (cambio climático) y los vertidos de la industria.

3. La salida del módulo bio-geoquímico viene dada por las variaciones espaciales y temporales de las concentraciones de nutrientes, materia orgánica disuelta y biomasa (entre otros). A continuación se lleva a cabo el **proceso de análisis de los datos obtenidos** en las simulaciones numéricas. Este proceso se representa en la Figure 2.2 por medio de las operaciones esquematizadas al interior del círculo azul de trazo punteado. Básicamente, se comparan los valores de concentración de materia orgánica disuelta que se obtienen en simulaciones computacionales con escenarios climáticos promedio y sin la presencia de la industria acuícola con aquellos valores obtenidos en distintos escenarios de **calentamiento global y alta actividad antropogénica**. En todos los casos, en paralelo se testean los parámetros de calidad del agua (turbidez, concentración de Oxígeno disuelto) para determinar ciertos valores umbrales que se definen como aceptables para asegurar que el ecosistema es capaz de ofrecer servicios ecosistémicos de calidad al mismo tiempo que permitir el desarrollo sustentable de la industria acuícola. En caso de que los valores umbrales de los parámetros de calidad del agua sean superados en una zona del canal durante un período de tiempo, sería necesario diseñar una estrategias de redistribución de protección medio-ambientales.

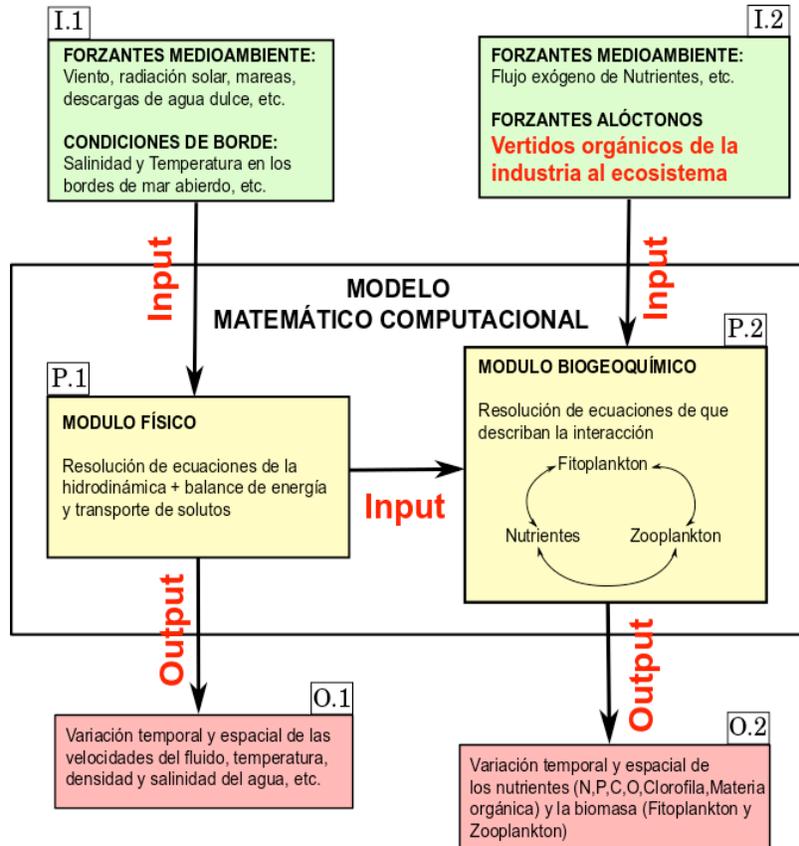


Figura 2. Esquema que representa la estructura general del modelo numérico-computacional. El rectángulo I.1 comprende la definición de los forzantes medio-ambientales y las condiciones de borde necesarios para alimentar el módulo computacional P.1 que describe la componente física del ecosistema de fiordo o canal. El rectángulo O.1 corresponde a la salida de datos de P.1 que se utiliza para alimentar el módulo biológico designado como P.2 en el esquema. El rectángulo I.2 proporciona los forzantes y condiciones de borde para P.2. Finalmente, el rectángulo O.2 corresponde a la salida (output) de P.2.

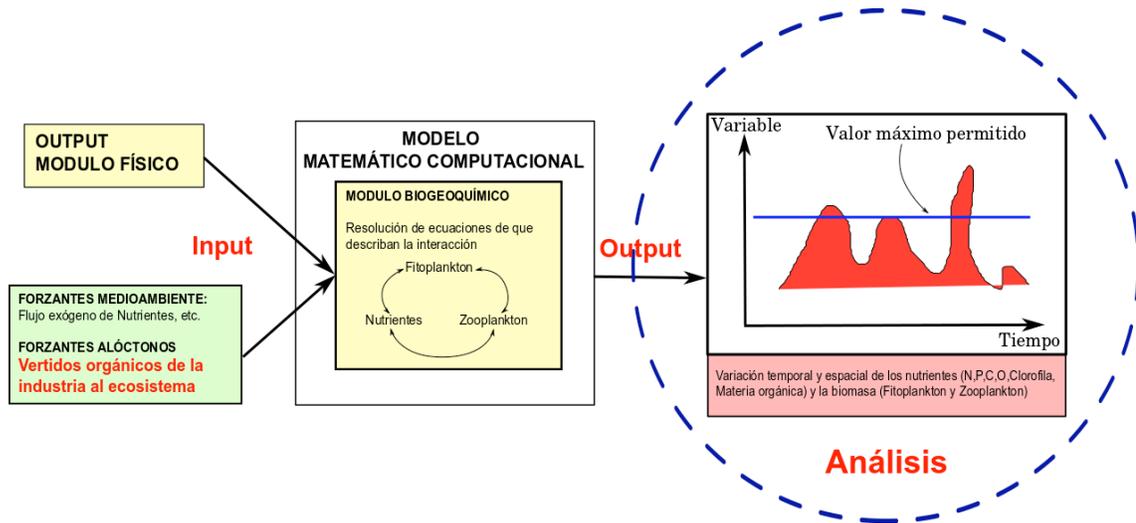


Figura 2.1. Esquema que representa la forma propuesta para estimar la capacidad de procesar materia orgánica que posee un sitio específico. El módulo bio-geoquímico es alimentado por los forzantes medio-ambientales en conjunto con el output obtenido a partir del módulo físico y los vertidos orgánicos de la industria acuícola. El output del módulo biogeoquímico contiene las variaciones espaciales y temporales de las concentraciones de nutrientes y biomasa. Las historias de tiempo de las concentraciones de nutrientes, biomasa y otros parámetros bio-geoquímicos del sistema son comparados con valores umbrales que definen una calidad aceptable del agua en el ecosistema.

Adicionalmente se debe notar que:

- La metodología de estimación la capacidad de absorción de materia orgánica que se propone en este trabajo considera la dinámica del ecosistema a nivel de meso-escala (canal) y no de los efectos puntuales que se pueden producir a nivel local (fondos bajo las balsas jaulas). Esta forma de abordar el problema está en consonancia con el enfoque ecosistémico de la acuicultura que propone la FAO.
- A nivel nacional no se encuentran definidos los parámetros que determinan la calidad del agua de los ecosistemas de fiordos y canales. El *Reglamento medio-ambiental para la acuicultura* fija algunas directrices para la actividad acuícola de manera que no se generen cuadros de anoxia en la columna de agua. Sin embargo, no se hacen especificaciones acerca de la escala espacial o temporal en la que se debe cumplir dicha recomendación. Los datos que se emplearán para alimentar los modelos computacionales se deben obtener por medio de una metodología que precise claramente los procedimientos que se deben seguir en terreno para monitorear tanto los parámetros físicos como biológicos que sean requeridos. En la actualidad no existen en el país estándares que especifiquen las características biofísicas que se deben medir



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

para llevar a cabo el tipo de análisis que se propone en este estudio. Esta carencia de estándares, entre otras razones, hace que en la actualidad la información existente sea la mayor parte de las veces, incompleta o inexistente. Por tanto, se dificulta enormemente el empleo de métodos computacionales refinados de evaluación ambiental que frecuentemente son muy demandantes en datos de buena calidad.

El programa computacional empleado en el estudio debe reflejar el estado del arte internacional en materia de modelización matemática de la hidrodinámica de ecosistemas marinos costeros. Básicamente, se construirá un programa que permita resolver en las ecuaciones de balance de momento, continuidad, transporte de trazadores, y conducción térmica de manera de reproducir los procesos estacionales de mezcla y estratificación de la columna de agua. El programa podrá emplearse de manera autónoma para hacer estudios hidrodinámicos o de manera acoplada con el módulo bioquímico anteriormente explicado. El programa testeado y validado en el canal de Puyuhuapi se empleará para estudiar el impacto de las actividades humanas y el cambio climático en la capacidad de absorción de materia orgánica por parte del canal.

Al igual que con el módulo físico, el módulo bio-geoquímico debe reflejar el estado del arte internacional en materia de modelización matemática de sistemas NPZ (Nutrientes-Fitoplancton-Zooplancton) pero adaptado a los ecosistemas de fiordos y canales presentes en Aysén. El programa se encargará de resolver las ecuaciones que describen las relaciones tróficas entre los componentes biológicos y nutrientes del ecosistema y debe ser capaz de integrarse con el programa para la simulación de la parte hidrodinámica. Adicionalmente debe incorporar el efecto de la acuicultura en el ecosistema en términos de las variaciones en los vertidos de materia orgánica, Nitrógeno y Fósforo al medio-ambiente marino.

Finalmente, se desarrollará una metodología que permita estimar la capacidad de absorción de materia orgánica en cuerpos de agua costera. Esta metodología contendrá la siguiente información técnica: i) la definición de los parámetros físicos y biológicos que definen un estándar de calidad del agua y, ii) los valores umbrales de los parámetros de calidad del agua que aseguran que los ecosistemas de serán capaces de proporcionar servicios ecosistémicos a los usuarios.

Objetivo específico 5. Difusión de resultados: La difusión de los resultados se realizará a través de talleres de entrega de resultados (preliminares y finales) dirigidos a la comunidad local, academia, sector público y privado. Además, los investigadores participarán en congresos tanto nacionales como internacionales, donde serán difundidos los resultados del estudio a la comunidad científica. Al menos un manuscrito será enviado a una revista indexada que contenga los resultados obtenidos durante el estudio. Durante las campañas de muestreo, se realizarán charlas abiertas a la comunidad de Puerto Cisne en dependencias del Liceo “Arturo Prat Chacón”, logrando así traspasar los resultados obtenidos hacia estudiantes y comunidad en general.

Durante el último año de desarrollo del estudio, se realizarán sesiones de trabajo donde se aplicará el modelo e interpretarán los resultados. En estas reuniones participará el equipo de investigadores CIEP junto a profesionales de SubPesca e Intesal (instituciones asociadas), de tal



manera de que estas instituciones adicionen un enfoque ecosistémico a los resultados que arroje el modelo biogeoquímico. Posterior a estas reuniones, este análisis será presentado por Subpesca o Intesal en el taller final de entrega de resultados.

REFERENCIAS

- Campbell, L., Landry, M.R., Constantinou, J., Nolla, H.A., Brown, S.L., Liu, H., Caron, D.A., 1998. Response of microbial community structure to environmental forcing in the Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 45, 2301-2326.
- Cuevas, L.A., Daneri, G., Jacob, B., Montero, P., 2004. Microbial abundance and activity in the seasonal upwelling area off Concepción (~36°S), central Chile: a comparison of upwelling and non-upwelling conditions. *Deep-Sea Res. II* 51, 2427–2440.
- Parsons, T.R., Maita, R., Lalli, C.M., 1984. Counting, media and preservatives. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis (pp. 1–163). Pergamon Press, Toronto.
- Porter, K., Feig, Y., 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25, 943–948.
- Ribes, M., Coma, R., Gili, J.M., Svodoba, A., Julià, A., Parera, J. 2000. A ‘semi-closed’ recirculating system for the *in situ* study of feeding and respiration of benthic suspension feeders. *Scientia Marina*, 64 (suppl 1), 265-275
- Simon, M., Azam, F., 1989. Protein content and protein synthesis rates of planktonic marine bacteria. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 51, 201–213.
- Smith, D.C, Azam, F., 1992. A simple, economical method for measuring bacterial protein synthesis rates in seawater using ³Hleucine. *Marine Microbial Food Webs* 6 (2): 107-114.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1968. Determination of reactive nitrite, in: *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bull. Fish. Res. Board Can. 167, 71–75.
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14, 799-801.
- Tsounis, G., Rossi, S., Laudien, J., Bramanti, L., Fernández, N., Gili, J.M., Arntz, W. 2006. Diet and seasonal prey capture rates in the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L.). *Marine Biology* 149(2), 313-325.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor Angew Limnol* 9, 1–39.
- Williams, P.J.LeB., Robertson, J. E. 1991. Overall planktonic oxygen and carbon dioxide metabolism: the problem of reconciling observations and calculations of photosynthetic quotients. *J. Plankton Res.* 13 (1), 153–169.



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

Actividad 4.1: Muestreo intensivo													
Actividad 4.2: Formulación e implementación modelo													
Actividad 4.3: Calibración modelo													
Actividad 4.4: Aplicación modelo e interpretación de resultados	X	X	X	X	X	X	X	X					
Hito: Modelo aplicado								X					
Objetivo 5.													
Actividad 5.1: Talleres de entrega resultados			X						X				
Actividad 5.2: Asistencia a congresos nacionales					X								
Actividad 5.3: Asistencia a congresos internacionales							X						
Actividad 5.4: Charlas a la comunidad													
Hito: Resultados difundidos													
Entrega informes de avance			X										
Entrega Informe Final									X				



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

3.13 Equipo técnico

Señalar el equipo técnico que desarrollará la iniciativa. Indicar quién actuará de coordinador técnico.

Nombre completo	Profesión	Rol	Funciones Principales	Dedicación (hrs.)	Relación Contractual y financiamiento (1)
Paulina Montero	Oceanógrafo (M.Sc.)	Investigador Coordinador técnico	Coordinación general del proyecto, diseño experimentos, interpretación y análisis de resultados obtenidos en los objetivos 1, 2, 3 y 4	12	Sin financiamiento FIC
Giovanni Daneri	Oceanógrafo (Ph.D)	Investigador	Interpretación y análisis de resultados obtenidos en los objetivos 1, 2, 3 y 4	6	Sin financiamiento FIC
Pablo Mata	Ingeniero Civil (Ph.D)	Investigador	Formulación, calibración y aplicación del modelo matemático e interpretación de resultados resultados	12	Sin financiamiento FIC
Marcelo Gutiérrez	Oceanógrafo (Ph.D)	Investigador	Diseño experimentos bacterias, interpretación y análisis de resultados obtenidos en los objetivos 1, 2, 3 y 4.	12	CH Financiamiento FIC
Gabriela Igor	Técnico de Nivel Superior en Salmonicultura	Asistente investigación	Trabajo de terreno, elaboración informes, análisis de muestras oceanográficas.	½ jornada	CH Financiamiento FIC
NN	Estudiante Magister	Asistente investigación	Trabajo de terreno, elaboración informes, formulación y análisis de modelo matemático.	Jornada completa	CH Financiamiento FIC
Amanda Paredes	Biólogo Marino	Asistente investigación	Trabajo de terreno, elaboración informes, análisis data diversidad de bacterias.	½ jornada	CH Financiamiento FIC
Nicolás Araneda	Técnico	Técnico Terreno	Trabajo de terreno.	6	Sin financiamiento FIC
Investigadores Universidad de	Ph. D	Investigadores	Diseño de experimentos comunitaria bentónica,	Asistencia a 2	EX Financiamiento



FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017

Génova			interpretación y análisis de resultados.	campañas de muestreo de 10 días cada una	ento FIC
--------	--	--	--	--	----------

(1) *Relación contractual: CT: Contrato código del trabajo; CH: Contrato a honorarios; EX: Externo/a (a través de una subcontratación)*
Financiamiento: FIC - Aporte Propio - Asociados

3.14 Subcontrataciones

Señalar, si los habrá, contratos con personas jurídicas para la prestación de servicios relacionados directamente con las actividades del programa. Se excluye de este ítem todo gasto destinado a contratar servicios de administración y apoyo. Indicar razón social, RUT, giro, descripción de los servicios a contratar y experiencia relevante.

Los investigadores de Universidad de Génova, del laboratorio de Zoología Marina serán subcontratados por el CIEP para la realización de 2 experimentos en laboratorio con organismos Bentónicos filtradores suspensívoros durante el desarrollo del estudio. Se adjunta el curriculum de los investigadores que participarán de las campañas de muestreo, que detallan la experiencia del grupo en esta línea de investigación. El giro es investigación y el código fiscal es 00754150100.



3.15 Estrategia de Comunicación, Difusión y/o Transferencia

La estrategia deberá ser desarrollada durante toda la ejecución de la iniciativa y remitirse solo resultados finales.

Deberá detallar el o los mecanismos, instituciones, organismos empresariales o empresas involucradas y tiempos. Si la iniciativa no contempla transferencia tecnológica como parte de su desarrollo, analizar al menos su proyección para una etapa siguiente.

La Difusión de los resultados se realizará a través de talleres de entrega de resultados (preliminares y finales) a la comunidad local, academia, sector público y privado. Además los investigadores participarán en congresos tanto nacionales como internacionales, donde serán difundidos los resultados del estudio a la comunidad científica. En este contexto, también se espera enviar a una revista indexada al menos un manuscrito utilizando los datos obtenidos durante el estudio.

Se realizarán sesiones de trabajo donde participará Intesal, de tal manera de adicionar un enfoque ecosistémico al modelo biogeoquímico que se obtenga. En el taller final de entrega de resultados este enfoque será presentado por esta institución.

Se espera que los centros de cultivo y las empresas ubicadas en el canal de Puyuhuapi utilicen esta información que es relevante para el manejo sustentable de la actividad que ellos desarrollan. Por otra parte los residentes de la comunidad de Cisne; principalmente los alumnos del liceo “Arturo Prat Chacón” de la modalidad técnico profesional en acuicultura, también conocerán acerca de este estudio y de sus resultados, ya que los investigadores que asistan a las campañas de terreno darán charlas abiertas a la comunidad.

4. FINANCIAMIENTO

El financiamiento debe incluir todos los gastos en que incurre la iniciativa. (De estimarse necesario se solicitarán cotizaciones y detalles de la valoración de ciertos ítems).

4.1 Presupuesto Total

Monto total solicitado al FIC	\$ 166.375.000
Solicitado a FIC 2017	\$ 24.970.000
Aporte Propio (1)	\$ 18.500.000
Aporte Asociados (1)	\$ 1.305.508
COSTO TOTAL INICIATIVA	\$ 186.180.558

(1) Los aportes Propio y de Asociados, en conjunto deben ser iguales o superiores al 10% del costo total de la iniciativa y debe estar respaldado por cartas compromiso.



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

Tabla completa en anexo Excel

4.2 Presupuesto (aporte propio y asociados)				
Cuentas (a)	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario \$	Costo Pecuniario Total \$
1. Recursos humanos (b)				
Profesionales				
Técnicos				
Subtotal			0	0
2. Equipamiento (c)				
Subtotal			0	0
3. Operación				
Viáticos				
Pasajes				
Combustible camioneta CIEP/Embarcación calafate				
Uso de lancha Calafate muestreo mensual	Mes	12	250.000	
Uso de laboratorio y equipamiento	Día	40	100.000	
Uso de camioneta muestreo mensual	mes	12	85.000	
Arriendo de salón y servicio de café				
Reunión de trabajo				
Subtotal				
SUB-TOTAL M\$	----	----	----	



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

Tabla completa en anexo Excel

4.3 Presupuesto General Solicitado				
Cuentas (a)	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario M\$	Costo Total M\$
Recursos humanos (b)				
Marcelo	Mes			
Técnicos	Mes			
Viáticos	Mes			
Subtotal				
Operación				
Difusión				
Misiones y pas.				
Subcontrataciones (d)				
Otros gastos (e)				
Subtotal				
5. Overhead (máximo 5%)				
SUB-TOTAL M\$	----	----	----	



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**

Tabla completa en Anexo Excel

4.4 Presupuesto Anual Detallado

Para cada año calendario de ejecución de la iniciativa llenar el siguiente cuadro:

Presupuesto Solicitado 20__					
Cuentas (a)	Actividad asociada	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario M\$	Costo Total M\$
1. Recursos humanos (b)					
Profesionales		Mes			
Técnicos		Mes			
Viáticos					
Subtotal					
2. Equipamiento (c)					
Subtotal					
3. Operación					
Difusión					
Misiones y pas.					
Subcontrataciones (d)					
Subtotal					
5. Overhead (máximo 5%)					
SUB-TOTAL 20__ M\$		----	----	----	

(a) Ver Bases Concurso FIC 2014 (Punto 12.2 Gastos permitidos)

(b) Detallar recurso humano agrupado por tipo y nivel de remuneraciones, la unidad de medida debe la remuneración mensual.

Coordinadores de proyecto cargados a la provisión FIC, deberán cumplir funciones Técnicas dentro de la iniciativa y demostrar su experiencia técnica y aporte a la iniciativa.

(c) Detallar por tipo de equipamiento considerado

(d) Detallar a nivel de contrato

(e) otros cargos a operación deberán ser detallados conformes a por partidas principales, y de ser necesario se solicitará el cálculo de estimación y cotizaciones correspondientes.



**FORMULARIO DE
PRESENTACIÓN INICIATIVAS CONCURSO
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD 2017**