

## ACOMPaña INFORME TÉCNICO

### SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

Sr. Fiscal Instructor

**Nicolás Alejandro Larco**, en representación de **NOVA AUSTRAL S.A.** (en adelante la “Compañía”), según la personería que consta en autos, en procedimiento sancionatorio Rol D-143-2021, respetuosamente digo:

Que vengo en acompañar Informe Técnico preparado por la consultora AVMC SpA, en el que desarrolla argumentaciones que tienen como propósito precisar, conceptualizar y contextualizar apropiadamente la información técnica que la Superintendencia del Medio Ambiente (“SMA”), basada en una denuncia sectorial del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, utiliza para imputar el efecto de daño ambiental a la supuesta infracción objeto del cargo formulado, y con ello poner en perspectiva las brechas argumentales y limitaciones del enfoque metodológico utilizado por la autoridad.

Como esta parte hizo presente en su escrito de descargos presentado con fecha 5 de agosto de 2021, la SMA no indica de manera cierta cómo, a su juicio, se verificaría el efecto dañoso, fundando su imputación de daño en argumentos teóricos, suposiciones y presunciones, infiriendo conclusiones imprecisas que no tienen asidero en los antecedentes de la causa. En este sentido, y como permite confirmar el Informe Técnico que se acompaña, el sustento técnico de la evidencia y los medios de prueba empleados por la SMA no permiten concluir sobre una base concreta, sólida ni rigurosa la verificación de un eventual daño ambiental como consecuencia de una supuesta alteración artificial de la columna de agua y fondo marino.

En efecto, como se indica en el mencionado Informe Técnico, la imposibilidad de articular y conjugar las causas esgrimidas (alteración artificial de la columna de agua y fondo marino) con los efectos imputados (e.g. detrimento de macrofauna bentónica) genera una importante brecha argumental, que no cumple con el mínimo necesario que exige e impone la naturaleza del daño que se acusa. Un ejemplo de esto se verifica en el hecho de que en el expediente sancionatorio la SMA no entrega ningún dato concreto respecto de cómo se vio afectada la columna de agua ni su sustentabilidad ambiental producto de la conducta imputada a Nova Austral. Al respecto llama profundamente la atención que la medida provisional pre procedimental decretada en la Res. Ex N° 1025/2019, no haya incluido mediciones tendientes a la caracterización de esa matriz ambiental en cuanto a su contenido de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad/salinidad, siendo estos precisamente los atributos específicos relevantes que la normativa ambiental obliga a los titulares de proyecto a informar en las INFA en determinadas categorías de concesiones.

Siguiendo esta misma línea, el Informe Técnico permite establecer una serie de conclusiones que exponemos a continuación:

1. Sobre las actividades asociadas a la eventual alteración artificial de la columna de agua y fondo marino imputada por la SMA.
  - i. La acusación sobre supuesto aporte de percarbonato de sodio al medio marino, solo representa una hipótesis carente de respaldo técnico y empírico que no cumple con el

mínimo necesario que exige e impone la naturaleza del daño que se acusa. Es la misma SMA quien sugiere que su uso en el CES Aracena 14 se trataría de una prueba piloto y acotada en tiempo y espacio, por lo que bajo ninguna circunstancia habría implicado un uso masivo de este principio activo en el medio marino. Asimismo, el percarbonato de sodio constituye una sustancia química que existe en el mercado de la acuicultura en diferentes formatos comerciales, y no es un producto químico ajeno ni desconocido en la industria salmonera. Asimismo, la condición de sustancia química “altamente oxidante” y “altamente soluble en agua” que le asigna la SMA en su formulación de cargos, son precisamente las cualidades y propiedades del percarbonato de sodio por las cuales se emplea en granjas de cultivo comercial para mejorar la calidad del agua.

- ii. Respecto a la eventual inyección de agua mediante bombeo desde superficie, cabe destacar que corresponde a una metodología que se aplica en Chile desde hace ya tiempo en actividades asociadas a la acuicultura, por lo que no representa por sí misma una actividad de riesgo o un detrimento para la biodiversidad marina, toda vez que se trata de estrategias metodológicas que permiten acelerar la incorporación de materia orgánica al medio acuático.
  - iii. Sobre la imputación de incorporación de arena al fondo marino, no es plausible considerar que ésta pueda haber generado un impacto significativo que constituya daño ambiental, y menos que dicho efecto se amplíe al Parque Nacional Alberto de Agostini y sus objetivos de protección, dado que la arena a la alude la SMA corresponde a material inerte cuya composición corresponde a elementos no contaminantes y que además decantan rápidamente sobre el lecho marino. Asimismo, la incorporación de arena que se imputa habría sido llevada a cabo de manera acotada en tiempo y espacio, es decir, en puntos discretos y limitado a horas en un periodo de semanas según se revela en la documentación del procedimiento.
  - iv. Para contar con una evaluación objetiva respecto de cuál sería el comportamiento dinámico esperado de un vertimiento de arena sobre el medio acuático, y con ello disponer de una herramienta objetiva de evaluación del posible impacto ambiental, se llevó a cabo un estudio de modelación hidrodinámica de transporte de sedimentos, del que da cuenta el Anexo 2 del Informe Técnico que se acompaña. Este estudio permite concluir, sobre la base de las simulaciones de los escenarios más desfavorables efectuados bajo un criterio precautorio, que las posibles descargas de sedimento no generarían impacto significativo, lo cual se respalda con la hidrodinámica del canal sumado a que la fracción dominante (arena gruesa) sedimenta en un corto periodo debido a ser partículas más pesadas, con una tasa de sedimentación mayor, lo que explica las bajas concentraciones en suspensión de las distintas simulaciones que están por debajo de los umbrales definidos como letales según la bibliografía científica disponible.
2. Sobre los medios de prueba empleados por la SMA.
- v. La evidencia empírica de sustento empleada por la SMA para concluir un supuesto daño ambiental adolece de una condición sub-estándar que no permite configurar, demostrar ni acreditar de manera objetiva aquellos daños sobre el ecosistema acuático que se pretenden, pues no representan una señal objetiva e inequívoca de causalidad directa.
  - vi. Así, respecto de la medición y resultados de pH y potencial Redox en sedimentos, los resultados de las campañas realizadas en el último tiempo no permiten una comparación directa como lo pretende la SMA, debido a que los datos del año 2003, correspondientes

a la Caracterización Preliminar de Sitio del Proyecto original, fueron obtenidos mediante medición *ex situ* con muestras de sedimentos colectadas, embolsadas y enviadas a laboratorio, mientras que durante julio de 2019 la medición de potencial Redox y pH fue llevada a cabo *in situ*. Una medición en condición de laboratorio de pH y Redox con posterioridad a la obtención de la muestra, implica que dicha muestra pierde su condición de tal, invalidando el medio de prueba empleado por la SMA e impidiendo una comparación directa de la cual derive una conclusión viable y confiable.

- vii. Asimismo, respecto de las mediciones y resultados de materia orgánica total (“MOT”) en sedimentos, además de existir importantes diferencias en el marco metodológico empleado por la SMA para la estimación de MOT entre ambas campañas, los resultados obtenidos evidencian que el área concesionada está sujeta a procesos naturales que derivan en niveles importantes de MOT en sedimentos, por lo que no es posible obviar que existen también otros aportes exógenos en el área del proyecto (aparte de los propios aportados por el proyecto), como lo demuestra el hecho de que el 62,5% de las estaciones evaluadas en el área de concesión previo a la operación del Proyecto en 2003, presentara niveles de MOT superiores al actual criterio de aceptabilidad de la normativa vigente y al promedio de MOT de estaciones evaluadas en el contexto de la medida provisional decretada en 2019.
- viii. Por otro lado, la evidencia presentada por la SMA para acusar a la Compañía de la ausencia de fauna bentónica, resulta completamente insuficiente y no tiene el peso específico para siquiera sugerirla sobre una base fundada. En efecto, no existe información sobre esta matriz biológica levantada de manera sistemática en el tiempo de ejecución de los diferentes ciclos productivos que permita hacer comparaciones concretas y fiables de la evolución en el tiempo sobre esta comunidad y, en consecuencia, no es factible establecer una relación causal ya sea que dicha ausencia de macrofauna se vincule a la supuesta alteración artificial del fondo marino, o bien al impacto general atribuido a la industria acuícola en cuanto a la acumulación de materia orgánica por la operación del centro (efecto contemplado en la normativa sectorial).
- ix. Junto con ello, el marco metodológico empleado en la generación de la data granulométrica presenta diferencias que no pueden ser pasadas por alto, las que se detallan en el Informe Técnico. Lo anterior, junto a la ausencia de información sobre esta matriz ambiental levantada de manera sistemática en el tiempo de ejecución de los diferentes ciclos productivos y estaciones, no permite conocer y entender su variabilidad espacio-temporal, y discriminar en qué proporción un determinado hallazgo puede atribuirse, por ejemplo, a los efectos de una eventual alteración física del sustrato o bien si se circunscribe dentro de la variabilidad propia del sistema. Esto conlleva a una interpretación de la SMA arbitraria y forzada, pues no explica el mecanismo mediante el cual una aparente “mejora” en una fracción de estaciones evaluadas podría emplearse como un medio de prueba para justificar un efecto sobre la macrofauna bentónica ni menos un impacto significativo sobre el medio marino.
- x. Respecto a las filmaciones submarinas que toma como base la SMA como medio de prueba y evidencia del vertido de arena en el CES Aracena 14, tras haberlas revisado exhaustivamente, se concluye que este medio de prueba carece de indicadores que permitan definir si el material que la SMA identifica sobre partes puntuales del fondo es exógeno o propio del sector, ya que no existe un estudio donde se presenten índices de meteorización y elementos que permitan establecer la procedencia de los sedimentos de forma certera.

3. Sobre la presencia de fauna en el área de sedimentación.

- xi. El análisis efectuado por la SMA en la formulación de cargos induce a error al sugerir que el sector en cuestión se encuentra desfaunado. Si bien es cierto que los resultados de la medida provisional pre procedimental revelaron la ausencia de fauna en muestras de sedimento obtenidas con draga en el área de estudio, las filmaciones subacuáticas efectuadas en la misma instancia revelan la presencia de abundante fauna en el área de sedimentación del centro de cultivo.
  
- xii. Por otra parte, la intención de la SMA de asignar a las actividades vinculadas con la supuesta alteración artificial del fondo marino, una relación causal principal o exclusiva para explicar la ausencia de macrofauna bentónica en las muestras de sedimento, carece de rigurosidad técnica toda vez que a lo largo de la operación del CES Aracena 14 se han llevado a cabo al menos cuatro ciclos productivos completos y durante los cuales no se ha levantado información sobre esta matriz biológica. En consecuencia, no es posible explicar con ningún grado de certeza, hasta qué punto la ausencia de cierto tipo de fauna bentónica -o el detrimento de la diversidad de estas comunidades o asociaciones biológicas-, es el resultado de condiciones operacionales históricas del centro de cultivo (y esperables en el ámbito de la salmonicultura), o bien el resultado de las actividades que se imputan por la supuesta alteración del fondo marino en el área de sedimentación. Por lo tanto, en el expediente sancionatorio no se dispone de los antecedentes necesarios que permitan establecer una relación causa – efecto al respecto.

**POR TANTO** y en virtud de lo expresado anteriormente,

**SOLICITO A USTED**, tener por acompañado el Informe Técnico preparado por AVMC SpA, para que sea tenido presente en la resolución de este procedimiento.



**Nicolás Alejandro Larco**  
**p.p. Nova Austral S.A.**

# **INFORME TÉCNICO**

**Asesoría Nova Austral S.A.**

**Proceso Sancionatorio Rol D-143-2021  
CES ARACENA 14 RNA N°120096**

**Isla Capitán Aracena  
Comuna de Punta Arenas  
Región de Magallanes y Antártica Chilena.**



**AVMC**

*Analysis, Visualization and Modelling*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>ANTECEDENTES EXAMINADOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS Y PONDERACIÓN DE ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>18</b>
<b>5.</b>	<b>PROFESIONALES RESPONSABLES .....</b>	<b>19</b>



AVMC

Analysis, Visualization and Modelling

## 1. INTRODUCCIÓN

Por medio del estudio de abogados Carey, la empresa Nova Austral S.A. ha solicitado a AVMC SpA asesoría con el propósito de brindar apoyo técnico y efectuar un análisis exhaustivo de las imputaciones (y sus respectivos respaldos argumentales) formuladas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) en el documento Res. Ex. N°1 / ROL D-143-2021, contenido en el proceso administrativo de carácter sancionatorio contra Nova Austral S.A., titular del Centro de Engorda de Salmónidos (CES) Aracena 14, inscrito en el Registro Nacional de Acuicultura con el N° 120096.

Se analiza y pondera toda la información relevante que forma parte integral del expediente sancionatorio actualmente en curso<sup>1</sup>, con el objetivo de detectar brechas en los juicios efectuados por la SMA que le permiten imputar la existencia de daño ambiental por parte de Nova Austral S.A., en lo referente a las eventuales consecuencias y efectos derivados de vertimiento de agentes físicos y otros hechos descritos y considerados en dicho expediente:

Hechos (sic): *“Alteración artificial, entre los meses de marzo y junio de 2019, de la columna de agua y fondo marino del CES Aracena 14, incluyendo la sepultación del sedimento bajo la zona de las balsas jaula, sin la correspondiente autorización sectorial, producto de los resultados anaeróbicos de los muestreos de información ambiental”.*

El análisis que se presenta a continuación, desarrolla argumentaciones que tienen como propósito precisar, conceptualizar y contextualizar apropiadamente la información técnica que entrega la SMA a lo largo del proceso sancionatorio basada en una denuncia sectorial de Sernapesca, y con ello poner en perspectiva las brechas argumentales y limitaciones del enfoque metodológico utilizado por la autoridad ambiental y sectorial para imputar un eventual daño ambiental.

## 2. ANTECEDENTES EXAMINADOS

La información examinada por este consultor para la elaboración del presente informe, corresponde a aquella disponible en el expediente digital del proceso sancionatorio y toda su documentación asociada, incluyendo también los expedientes de evaluación ambiental asociados las RCA 079/2010 y 151/2003 y disponibles en los siguientes links:

LINK PROCESO SANCIONATORIO CES ARACENA 14: <https://snifa.sma.gob.cl/Sancionatorio/Ficha/2626>

LINK SNIFA SOBRE UNIDADES FISCALIZABLES: <https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable/Ficha/4510>

LINK EXPEDIENTE RCA 079/2010:

[https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id\\_expediente=4653657](https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4653657)

---

<sup>1</sup> Fuente: <https://snifa.sma.gob.cl/Sancionatorio/Ficha/2626>



LINK EXPEDIENTE RCA 151/2003:

[https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id\\_expediente=76793](https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=76793)

Adicionalmente y de manera paralela, se llevó a cabo una búsqueda de antecedentes de carácter técnico y científico en medios especializados y disponibles para el área de emplazamiento del CES Aracena 14, correspondiente a la zona de fiordos y canales australes.

### **3. ANÁLISIS Y PONDERACIÓN DE ANTECEDENTES**

#### **3.1. Actividades asociadas a la eventual alteración artificial de la columna de agua y fondo marino imputada por S.M.A.**

##### **3.1.1 Del aporte de Percarbonato de sodio (PdS) al medio marino**

Según consta en la documentación disponible en el expediente sancionatorio, la empresa Marine Duty Ltda. (contratada por Nova Austral S.A.), habría sido la encargada de llevar a cabo la aplicación de este producto al medio marino y el respectivo monitoreo de su efectividad, indicando que se habría tratado de una prueba única y con resultados negativos, es decir, sin cambios en el fondo ni en la cubierta de microorganismos presente sobre el fondo marino: *“Ante la ausencia de cambios evidentes respecto de la condición previa, se optó por no insistir en el método”*<sup>2</sup>. No obstante, no se informa la fecha de la prueba de ejecución como tampoco datos referidos a la cantidad de producto empleado ni el área puntual en la que se habría realizado supuesta experiencia con percarbonato. En la Formulación de Cargos, específicamente en su numeral 33, la S.M.A. establece (sic) *“resulta especialmente preocupante la implementación de un agente químico vertido al área de sedimentación del CES Aracena 14, identificado como ‘percarbonato’, que correspondería a percarbonato de sodio que es una sustancia química altamente soluble en agua, que libera peróxido de hidrógeno – sustancia altamente oxidante-, que habría ocasionado un peligro adicional a la biota acuática presente en la zona del centro de engorda”*.

El examen y análisis de la evidencia disponible sobre esta imputación en la documentación del expediente y tal como lo expone la S.M.A., sugiere claramente que la eventual incorporación al medio acuático se trataría de una prueba piloto y acotada en tiempo y espacio, es decir, en un limitado tiempo de exposición y en un espacio puntual y discreto. En consecuencia, bajo ninguna circunstancia habría implicado un uso masivo de este principio activo en el medio marino que abarcara la columna de agua y fondo marino del área de concesión, en razón de lo cual no

---

<sup>2</sup> Carta Marine Duty contenida en Anexo 9 expediente EXP. DFZ-2019-1418-XII-RCA. <https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1044053>



resulta plausible imputar al presunto uso de esta sustancia un efecto o condición de peligro adicional sobre la biota acuática a ninguna escala espacial, ni tampoco sugerir un eventual efecto sobre el parque Nacional de Agostini ni sus objetivos de protección.

El PdS que alude la S.M.A. (cuyo principio activo es el peróxido de hidrógeno), existe en el mercado de la acuicultura en diferentes formatos (nombres) comerciales, y no es un producto químico ajeno ni desconocido en la industria salmonera convencional que se desarrolla a nivel nacional e internacional. De hecho, el PdS es ampliamente empleado con diversos fines en la acuicultura tradicional, siendo uno de sus principales usos el de agente anti-parasitario (Caligidosis), condición profusamente documentada en la literatura especializada. El PdS se emplea también ampliamente en la acuicultura orgánica, que usa preferentemente desinfectantes fácilmente degradables. En Chile, la autoridad sectorial introdujo recientemente una modificación al Programa Sanitario de Vigilancia y Control de Caligidosis mediante la Res. Ex. N° 4161-2019<sup>3</sup>, en la que se establece al peróxido de hidrógeno como un principio activo dentro de la categoría de los tratamientos no farmacológicos, pero incluso distinto de ellos (7.6. Tratamientos No Farmacológicos y Peróxido de Hidrógeno). En ese documento se establece también una serie de exclusiones de trámites respecto de aquellos centros de cultivo con tratamientos farmacológicos, y permite la inclusión del PdS en la rotación de principios activos de una agrupación de concesiones previa evaluación y autorización de Sernapesca con consulta al menos de tres días de anticipación. En consecuencia, si su uso representa un riesgo adicional para la fauna marina, este producto no sería empleado con los fines que se utiliza.

La condición de sustancia química “altamente oxidante” y “altamente soluble en agua” que le asigna la S.M.A. en su Formulación de Cargos, son precisamente las cualidades y propiedades del PdS por la cual se emplea en granjas de cultivo comercial de peces para mejorar la calidad del agua por adición indirecta de oxígeno y la eliminación de bacterias. El hecho de ser una sustancia altamente soluble en agua revela que su uso implica una rápida dilución y dispersión en el campo cercano. El 2019 en Chile la Autoridad Marítima autorizó una prueba piloto basada en un ensayo de campo para el uso del producto ATEOX (principio activo es precisamente PdS, y cuya hoja de seguridad declara como información ecológica que no presenta toxicidad, no posee persistencia y rápidamente degradable), para medir el efecto su efecto como elemento oxigenador de la columna de agua en un centro de cultivo en la localidad de Calbuco, empleando para ello 8 bloques del producto de 10 kilos cada uno a diferentes profundidades de la columna de agua. Las conclusiones de dicha experiencia piloto revelaron, entre otros aspectos importantes, ser altamente funcional como oxigenador de la columna de agua, y que los bioensayos efectuados concluyeron que su presencia en dicha columna de agua y a un metro de la matriz sedimentaria no establece interacción negativa ni deletérea con el bentos y sedimentos marinos (ver Anexo 1).

---

<sup>3</sup> Modifica Resolución Exenta Número 13, de 2015 que aprueba Programa Sanitario Específico de Vigilancia que la evidencia disponible en la documentación que forma parte del expediente sancionatorio y Control de la Caligidosis en términos que Indica.



En consecuencia con los antecedentes y argumentaciones expuestas en los párrafos precedentes, y considerando la naturaleza, característica, usos y efectos del PdS en la industria acuícola determinados sobre una base empírica, la imputación de la S.M.A. en su formulación de cargos respecto de que el eventual uso de este producto químico podría haber generado *per se* o bien en conjunción con las otras acciones imputadas respecto de la alteración del fondo marino y columna de agua, un detrimento a la biodiversidad del fondo marino, solo representa una hipótesis carente de respaldo técnico y empírico que no cumple con el mínimo necesario que exige e impone la naturaleza del daño que se acusa.

### **3.1.2 De la inyección de agua mediante bombeo desde superficie**

Conforme a la evidencia presentada por la S.M.A. disponible en la documentación que forma parte del expediente sancionatorio, Marine Duty S.A. habría sido también la encargada de mover agua desde la superficie hacia capas inferiores de la columna de agua, empleando para ello equipos tales como grupo electrógeno, mangueras, bomba de agua. No obstante, no se informan ni detallan aspectos relevantes para poder evaluar adecuadamente esta eventual alteración de la columna de agua y/o fondo marino, como por ejemplo, fecha y lugar específico en que se habría llevado a cabo, datos referidos al caudal movilizado, profundidad de inyección del agua superficial, tiempo de duración de la experiencia, velocidad del caudal inyectado, entre otros relevantes. Al igual que en el caso ya comentado del Percarbonato, lo que se infiere de los antecedentes entregados por la S.M.A., es que la eventual inyección de agua superficial en capas inferiores de la columna de agua habría sido una experiencia piloto, que ante la ausencia de resultados no se habría repetido en el tiempo. La S.M.A. plantea además que el propósito de esta actividad es *“llevar agua desde la superficie al fondo (unos metros antes del fondo) para cambiar los niveles de O<sub>2</sub> presentes en esa capa de agua”*. Cabe preguntarse ¿qué necesidad podría haber tenido el titular del proyecto de producir este efecto, toda vez que los resultados de la columna de agua reportados en las INFAs muestran preferentemente una columna de agua bien oxigenada entre superficie y fondo?.

Independiente de lo anteriormente expuesto, y respecto del método de inyección de agua superficial en capas más profundas y contiguas al fondo marino, cabe destacar que corresponde a una estrategia que se aplica en Chile desde hace ya tiempo en actividades asociadas a la acuicultura, de hecho empresas como DVS Tecnología lo aplican regularmente para restaurar los cuerpos de agua hipóxicos o anóxicos en salmonicultura (con las respectivas autorizaciones sectoriales), además del sedimento marino propiamente tal, por lo que no representa por sí mismo una actividad de riesgo o un detrimento para la biodiversidad marina, toda vez que son estrategias metodológicas que permiten acelerar la incorporación de la materia orgánica al medio acuático.

En consecuencia, tampoco es posible asignar a la inyección de agua superficial que se imputa, un efecto de daño ambiental como el que afirma la S.M.A.



### **3.1.3 De la incorporación de arena al fondo marino**

A priori es posible establecer que la evidencia disponible en la documentación que forma parte del expediente sancionatorio, sugiere que los efectos y alcances asociados a la incorporación (sepultación) de material inerte (arena) de tamaño variable entre 0-10 mm imputado por la S.M.A. en su Formulación de Cargos en el área de sedimentación del centro Aracena 14, tienen un carácter local y acotado al entorno inmediato de dicho centro, y en ningún caso representaría una alteración del fondo marino de mayor envergadura espacial.

La arena que alude la S.M.A., corresponde a material inerte cuya composición está conformada principalmente por sílice, granito, basalto, dolomita o cuarzo, entre otros, todos los cuales corresponden a elementos no contaminantes y que además decantan rápidamente sobre el lecho marino, en comparación con la fracción de alimento no consumido y heces de peces que se menciona en la Declaración de Impacto Ambiental, cuya dispersión variaría según ese documento, entre 604 y 1812 m en torno de la concesión. Esta aseveración se refuerza por el hecho de que la incorporación de arena que se imputa habría sido llevada a cabo de manera acotada en tiempo y espacio, es decir, en puntos discretos y acotado a horas en un periodo de semanas según se revela en la documentación del proceso.

Es importante mencionar que en Chile no existen estándares de referencia o normativa que permita establecer umbrales por sobre los cuáles se verifican efectos o impactos sobre, por ejemplo, la transparencia de la columna de agua, y eventuales efectos sobre la biota local incluidas las comunidades bentónicas. Esto se considera relevante pues diversos autores indican que la duración y la frecuencia de la perturbación y suspensión del sedimento son relevantes para definir un eventual impacto ambiental (Newcombe y MacDonald, 1991<sup>4</sup>; Shaw y Richardson, 2001<sup>5</sup>). En consecuencia, no es plausible considerar que la supuesta incorporación de arena pueda generar un impacto significativo que constituya un eventual daño ambiental, y menos que dicho efecto se amplíe al Parque Nacional de Agostini y sus objetivos de protección (Ver Anexo N°2 para mayor detalle).

### **3.1.4. Comportamiento dinámico de la dispersión y estimación del área de influencia asociada a un vertimiento de arena en el área de estudio.**

En virtud del esfuerzo dedicado por la autoridad ambiental en el ámbito del presente sancionatorio a demostrar el eventual impacto y efectos de un vertimiento de arena en el área de concesión (ausencia de macrofauna bentónica), se ha estimado pertinente y necesario

<sup>4</sup> Newcombe C.P.& D. D. Macdonald. 1991. Effects of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems, North American Journal of Fisheries Management, 11:1,72-82, DOI: 10.1577/1548-8675(1991)011<0072:EOSSOA>2.3.CO;2.

<sup>5</sup> Shaw, E. A., and J. S. Richardson. 2001. Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 58:2213-2221.



aportar una evaluación objetiva respecto de cuál sería el comportamiento dinámico esperado de un vertimiento de arena sobre el medio acuático, y con ello disponer de una herramienta objetiva de evaluación del posible impacto ambiental y a la vez permita determinar el área de influencia que tendría sobre la columna de agua y fondo marino la pluma de dispersión de dicho vertido. Los principales resultados de esta evaluación se entregan en el Anexo N°2 a este informe, no obstante, a continuación se presenta un breve resumen de los principales alcances y resultados obtenidos:

A partir de los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones efectuadas, es posible establecer objetivamente que las descargas de sedimento que se imputan en el área del proyecto tendrían un efecto local, donde el gran porcentaje de sedimentación del material se daría en torno a la concesión y el centro de cultivo, y en un menor grado cerca de la costa aledaña a dicha concesión.

Los resultados de las distintas simulaciones mostraron que las concentraciones de sedimento en suspensión en la columna de agua serían muy bajas en todas las condiciones oceanográficas y periodos simulados, debido a las características del material que habría sido vertido, pues la arena gruesa presenta una tasa de sedimentación mayor en comparación con fracciones más finas del sedimento.

A partir de las condiciones dinámicas evaluadas en el sector de emplazamiento del proyecto, se estimó un área de influencia máxima de la sedimentación de los sedimentos de 0,65 km<sup>2</sup> asociada a la simulación 3 (que corresponde al posible vertimiento de 6.000 Kg de arena, las cuales podrían haberse vertido entre las 13:00 y las 15:00 del 04 de mayo de 2019), El resto de las simulaciones presentaron áreas menores, como es el caso de la simulación 2 (que corresponde al posible vertimiento de 17 bolsas o sacos de arena de 500 Kg cada una, las cuales podrían haberse vertido entre las 9:00 y las 11:00 del 15 de abril de 2019) donde el área de influencia calculada fue de 0,41 km<sup>2</sup>, y de 0,43 km<sup>2</sup> en la simulación 4 (que representa el probable vertimiento de 110 bolsas o sacos de 1.200 Kg de arena cada una, las cuales podrían haberse vertido entre las 10:00 y las 12:00 del 12 de julio de 2019), en base a estos antecedentes se puede afirmar que el efecto del vertimiento sería local.

Sobre la base de las simulaciones de los escenarios más desfavorables efectuados bajo un criterio precautorio, se puede concluir que las posibles descargas de sedimento no generarían impacto significativo, lo cual se respalda con la hidrodinámica del canal sumado a que la fracción dominante (arena gruesa) sedimentará en un corto periodo debido a ser partículas más pesadas, con una tasa de sedimentación mayor, lo que explica las bajas concentraciones en suspensión de las distintas simulaciones que están por debajo de los umbrales definidos como letales según bibliografía científica disponible (para mayor detalle Ver Anexo N°2).

## 3.2 Sobre los medios de prueba empleados por la S.M.A.

En lo que respecta a las propiedades del sedimento caracterizado por orden de la S.M.A. en el área de sedimentación en julio de 2019, se entrega a continuación las siguientes consideraciones, observaciones y reparos que condicionan su valor y calidad probatoria, y a partir de los cuales la autoridad ambiental pretendería extraer o derivar conclusiones confiables y definitivas en el ámbito del proceso en curso. Es así como en el denominado Informe Técnico (documento IFA DFZ-2019-1418-XII-RCA)<sup>6</sup>, la S.M.A. lleva a cabo una serie de comparaciones entre la caracterización de sedimento obtenida en julio de 2019 con aquella obtenida en abril de 2003 durante la Caracterización Preliminar de Sitio del proyecto original (modificado 2010). A saber:

### 3.2.1 Medición y resultados de pH y potencial Redox en sedimentos

Los datos de pH y Redox de ambas campañas no permiten una comparación directa como lo pretende la S.M.A., ello debido a que los datos del 2003 fueron obtenidos mediante medición *ex situ* con muestras de sedimentos colectadas el 2 de abril, embolsadas y enviadas a laboratorio TecnoLab en Punta Arenas, donde el proceso de análisis se extendió hasta el 21 del mismo mes. En contraste, durante julio de 2019 la medición de potencial Redox y pH fue llevada a cabo *in situ* directamente sobre la draga o core una vez a bordo de la embarcación, cumpliendo con el estándar normativo vigente (Res. Ex. 3612/2009 y sus modificaciones).

Es importante tener en consideración que en las mediciones de pH y Redox *ex situ* sobre la matriz sedimentaria, días después de haber sido obtenidas las muestras, el proceso de degradación de esa muestra sigue evolucionando y todas las reacciones químicas de óxido-reducción siguen consumiendo oxígeno y, en consecuencia, cambian los estados de oxidación y se generan otros productos que modifican el pH/Redox de la muestra. Es decir, en su conjunto siguen evolucionando los procesos físicos como por ejemplo la difusión diferencial de las especies disueltas en el agua intersticial de la matriz sedimentos (dado que hay una interacción de los estados de oxidación, el pH y las reacciones ácido/base), las que suelen variar rápidamente. En particular, la disolución y la precipitación de los elementos en la columna de sedimentos (minerales) son procesos de equilibrio local (Boudreau y Canfield, 1993), que deben ser monitoreados inmediatamente luego de obtenida la muestra (medidos *in situ*). La oxidación que implica la demanda de oxígeno en los sedimentos puede cambiar casi por completo la descomposición de la materia orgánica (MO), provocando la generación de subproductos reducidos en la medida que aumenta la cantidad de reducción de compuestos inorgánicos (Boudreau y Canfield, 1993)<sup>7</sup>, consecuencia del paso del tiempo y descomposición de esta MO.

<sup>6</sup> <https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1044053>

<sup>7</sup> Boudreau B., D. Canfield. 1993. A comparison of closed and open system models for porewater pH and calcite-saturation state. *Geochimica d' Cosmochimica Acta.* (57): 317-334.



Lo anterior explica que en todas las versiones de la resolución acompañante del RAMA, se exija un marco metodológico con medición *in situ* de estas variables, evitando así una lectura alterada y una interpretación equívoca. En otras palabras, una medición en condición de laboratorio de pH y Redox con posterioridad a la obtención de la muestra, implica que dicha muestra pierde su condición de tal, invalidando el medio de prueba empleado por la S.M.A. e impidiendo una comparación directa de la cual derive una conclusión viable y confiable.

### **3.2.2 Medición y resultados de materia orgánica total (MOT) en sedimentos**

Se aprecian diferencias en el marco metodológico empleado para la estimación de MOT entre ambas campañas, que condicionan la comparación directa que lleva a cabo la S.M.A., y que dicen relación con el cálculo de MOT en la campaña de 2003 y aquellos obtenidos como resultado de la medida provisional decretada por la Res. Ex. N° 1025/2019. Más allá de estas diferencias (por ejemplo, en el 2003 la MOT es calculada de manera indirecta asumiendo la conversión 10 mg/gr = 1%), en la Formulación de Cargos (numeral 34) la S.M.A. destaca el hecho del “aumento significativo” de la MOT en sedimentos (y el consiguiente incremento en el consumo de oxígeno necesario para su degradación), pudo repercutir en la distribución y subsistencia de la macrofauna y explicar su ausencia en el sedimento evaluado.

Para respaldar este argumento la S.M.A. enfatiza los registros de MOT obtenidos en las estaciones M1 y M2. Pues bien, lo cierto es que efectivamente esas dos estaciones (de mayor profundidad), que representan el 50% de las estaciones ubicadas en el sector de la concesión (pero solo un tercio de las estaciones totales evaluadas en dicha instancia), registraron valores de MOT que sobrepasan el límite de aceptabilidad establecido en la normativa vigente aplicable ( $\leq 9\%$ : Res. Ex. N° 3612/2009), sin embargo, el resto de estaciones evaluadas está por debajo de dicho umbral (es el caso de las estaciones M3, M4, y control M5 y M6, que en conjunto registraron un promedio de 4,15% de MOT). En contraste, durante el 2003 y previo a la operación del proyecto, el MOT varió entre 5,61 y 13,4% registrándose un promedio total de 9,94%, valor que resulta superior al límite de aceptabilidad, al igual que el 62,5% de las estaciones evaluadas en dicha instancia.

El hecho de que el 62,5% de las estaciones evaluadas en el área de concesión previo a la operación del proyecto (CPS, 2003) presentara niveles de MOT superiores al actual criterio de aceptabilidad de la normativa vigente y al promedio de MOT de estaciones evaluadas en el contexto de la Res. Ex. N° 1025/2019, es a nuestro juicio un antecedente relevante para efectos del presente análisis, pues permite contextualizar y entender que el área concesionada está sujeta a procesos naturales que derivan en niveles importantes de MOT en sedimentos. El CES Aracena 14 se enmarca en un entorno costero donde la principal fuente de material particulado en la columna de agua podría provenir de la alta productividad biológica en las capas

superficiales, junto con el escurrimiento, *runoff* y la erosión costera (Silva y Prego, 2002<sup>8</sup>). En efecto, en general en el Estrecho de Magallanes y sus canales interiores se ha constatado que en la composición de los sedimentos suele haber una relación directa entre la concentración de partículas orgánica (POM) en él depositada, y la intensidad de la producción biológica que se produce en la columna de agua (Silva y Prego, 2002 op cit), pues entre el 25 al 50% de la productividad primaria superficial llega al fondo después de caer a través de la columna de agua (Nixon, 1981<sup>9</sup>; Jorgensen, 1982<sup>10</sup>; Farías *et al.*, 1996<sup>11</sup>). En consecuencia, es relevante considerar que existen también otros aportes exógenos en el área del proyecto (aparte de los propios aportados por el proyecto), que no es posible obviar en el ámbito de cualquier análisis o evaluación objetiva sobre la cantidad (y calidad) de materia orgánica de sedimentos marinos en el ámbito del presente sancionatorio.

Estos antecedentes dejan en evidencia varios problemas respecto de la lógica del planteamiento que aplica la S.M.A. cuando establece (sic) “no se puede descartar que la referida ausencia de macrofauna bentónica tenga como causa – principal o exclusiva- la conducta del titular por la que se formularán cargos, aparte de la operación del centro”. Lo cierto es que la evidencia presentada respecto de la alteración artificial del fondo que se imputa no explica la ausencia de macrofauna bentónica ni tampoco tiene el peso específico para siquiera sugerirla sobre una base fundada. En efecto, por una parte, no existe información sobre esta matriz biológica levantada de manera sistemática en el tiempo de ejecución de los diferentes ciclos productivos que permita hacer comparaciones concretas y fiables de la evolución en el tiempo sobre esta comunidad y, en consecuencia, no es factible establecer una relación causal ya sea que dicha ausencia de macrofauna se vincule con la supuesta alteración artificial del fondo marino, o bien al impacto general atribuido a la industria acuícola en cuanto a la acumulación de materia orgánica por la operación del centro (efecto contemplado en la normativa sectorial). De hecho, ni siquiera es posible establecer una probabilidad que permita discriminar en qué medida o proporción la ausencia total o parcial de macrofauna bentónica pueda atribuirse a una u otra causa. En este punto del análisis resulta conveniente preguntarse ¿de qué manera dos estaciones con valores puntuales altos de MOT representan una tendencia o evidencia de un impacto significativo sobre la base del cual es posible asignar un eventual daño ambiental extensible incluso a nivel del Parque Nacional Alberto de Agostini, o siquiera como evidencia de un impacto local a nivel de concesión del CES Aracena 14?. Resulta entonces evidente que dos estaciones

---

<sup>8</sup> Silva N., y Prego R., 2002. Carbon and Nitrogen Spatial Segregation and Stoichiometry in the Surface Sediments of Southern Chilean Inlets (41°–56°S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (2002) 55, 763–775

<sup>9</sup> Nixon, S. 1981 Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystem. In *Nutrient Enrichments in Estuaries* (Neilson, B. & Cronin, L., eds). Humana Press, New York, pp. 111–138.

<sup>10</sup> Jorgensen, B. B. 1982 Mineralization of organic matter in sea bed: The role of sulfate reduction. *Nature* 296, 643–645.

<sup>11</sup> Farías, L., Chuecas, L. & Salamanca, M. 1996. Effect of coastal upwelling on nitrogen regeneration from sediments and ammonium supply to the water column in Concepción bay, Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43, 137–155.



puntuales no representan tendencia, y solo demuestran que una fracción espacial de la concesión registra altos porcentajes de MOT al momento que se llevó a cabo el muestreo.

Conviene enfatizar que el ordenamiento jurídico ambiental de carácter sectorial aplicable a la actividad acuícola, contempla límites de aceptabilidad para las variables comentadas en los numerales 3.2.1 y 3.2.2 de este documento (pH, Redox y MOT), y que en caso de ser sobrepasados debido a las actividades propias del cultivo (o bien se supere la capacidad del cuerpo de agua), establece un mecanismo correctivo que permite la continuidad de las operaciones mediante el restablecimiento de esas condiciones de aceptabilidad, siendo el titular del centro de cultivo el responsable de demostrarlo (Artículo 20 del RAMA).

### 3.2.3 Medición y resultados de granulometría

Si bien el marco metodológico empleado en la generación de la data granulométrica es similar en ambos set de datos comparados por la S.M.A. (pero no el mismo), se aprecian diferencias que obligan a una mayor cautela al momento de hacer una comparación directa. Por ejemplo, estaciones caracterizadas por un diámetro medio similar son clasificadas de manera diferencial, tal es el caso de la estación P1 informada en la CPS 2003 que tiene un diámetro medio ( $\phi$ ) 0,60 y la estación 1A informada como resultado de la medida procedimental cuyo diámetro medio ( $\phi$ ) 0,61, sin embargo, la primera es clasificada como Arena gruesa y la segunda clasificada como Grava. Esto adquiere relevancia toda vez que un medio de prueba utilizado por la S.M.A. dice relación con el aumento proporcional de la fracción grava en el muestreo asociado a la Res. Ex. N° 1025/2019.

Otro aspecto relevante de considerar al hacer una comparación directa de la caracterización granulométrica, es la ausencia de información sobre esta matriz ambiental levantada de manera sistemática en el tiempo de ejecución de los diferentes ciclos productivos que permita conocer y entender su variabilidad espacio-temporal, y junto con ello permita discriminar en qué proporción un determinado hallazgo puede atribuirse, por ejemplo, a los efectos de una eventual alteración física del sustrato o bien se circunscribe dentro de la variabilidad propia del sistema. En el presente caso, cabe preguntarse ¿De qué manera una característica específica del sustrato evaluado en estaciones de las cuales no se dispone información sistemática previa que permita conocer su variabilidad natural, podría servir de evidencia inequívoca de la alteración artificial mediante diferentes medios, sobre la base de las cuales podría explicarse total o parcialmente un daño significativo con consecuencias de daño ambiental que se imputa?. Es el caso del énfasis que hace la S.M.A. sobre el aumento de representatividad porcentual de la fracción grava por sobre las otras componentes granulométricas (arena y fango), y junto a ello la aparente mejoría en la clasificación del grado de selección de los sedimentos caracterizados el 2019 en comparación con la efectuada el 2003, y cómo esos hallazgos permitirían conformar *per se* un eventual daño total o parcial sobre el ambiente marino en general y la macrofauna bentónica en particular.





AVMC

Analysis, Visualization and Modelling

Cabe recordar que en la caracterización del sedimento en el 2003, el 50% de las estaciones presentaron predominancia de la fracción grava en porcentajes que fluctuaron entre 21,53 y 58,21%, y las fracciones mas gruesas del sedimento fueron una componente importante y representativa del fondo marino donde se emplaza la concesión (por ejemplo, grava, arena gruesa y muy gruesa), por lo que las diferencias con la caracterización efectuada el 2019 bien podría tratarse, parcial o totalmente, de variabilidad espacial y/o estacional, dadas las diferencias en la ubicación espacial de los puntos de muestreo y las estaciones del año donde se llevaron a cabo ambas campañas (otoño versus invierno). Respecto del grado de selección, la interpretación de la S.M.A. es arbitraria y forzada pues no explica el mecanismo mediante el cual una aparente “mejora” en una fracción de estaciones evaluadas podría emplearse como un medio de prueba para justificar un efecto sobre la macrofauna bentónica ni menos un impacto significativo sobre el medio marino.

### 3.2.4 Filmaciones submarinas

En el ámbito de los resultados obtenidos de la medida provisional decretada por la Res. Ex. Nº 1025/2019, la empresa Patagonia Rov proporciona en su informe Nº 001 una caracterización del fondo submarino basado en las filmaciones subacuáticas efectuadas entre el 1 y 3 de agosto de 2019. En dicho documento se comenta lo siguiente (sic): *“Lugar inspeccionado arena blanca en varios sectores con largas extensiones combinadas con conchillas del sector habiendo algunas variaciones en el color de la arena en otros sectores”*. Este texto es replicado por la S.M.A. en el numeral 28.3 de la Formulación de Cargos. Adicionalmente, en su Informe Técnico la S.M.A. utiliza este comentario como medio de prueba y evidencia del vertido de arena en el CES Aracena 14. Al respecto, y habiendo revisado de manera exhaustiva esos registros subacuáticos, es posible establecer lo siguiente:

- a) El área costera evaluada en las filmaciones aludidas muestra efectivamente largas extensiones con arena blanca mezclada con conchilla en varios sectores, en especial aquellos mas someros donde este tipo de sustrato es predominante (preferentemente entre los 20 metros y los registros más someros obtenidos (en torno a 5-6 metros de profundidad)). Este sustrato contrasta, naturalmente, con aquel registrado a profundidades 40-50 y 60 metros, que se caracteriza por tener un color grisáceo-cobrizo, pero siempre más oscuro que el sustrato de profundidades mas someras, siendo el primero caracterizado por un sedimento arenoso-fangoso y el segundo por arena-grava-conchilla. Es esa la diferencia que se entiende que destaca el informe de Patagonia Rov.
- b) El fondo marino en el CES Aracena 14 es altamente heterogeneo, con presencia de fondo blando, duro y mixto, con diferentes tipos de relieves y bloques rocosos de distintos tamaños condición que explica, junto con la profundidad, las diferentes apariencias visuales y ambientes sedimentarios existentes en el fondo marino de Aracena 14.
- c) No existe en las filmaciones revisadas (transectos 1, 2 y 3), evidencia clara e inequívoca de la existencia de material arenoso de origen exógeno, no se aprecia en la extensión de

fondo marino registrado en esas filmaciones evidencias de discontinuidad espacial originada por eventual material exógeno sepultado o vertido en ese fondo que contraste con el fondo natural del sector, el que como ya se dijo, varía entre profundidades conforme a su naturaleza. En consecuencia, la frase aludida del informe de Patagonia Rov es lo suficientemente imprecisa como para asumir la presencia de material exógeno (y la inspección visual de los registros fílmicos así lo demuestra), y la interpretación de la S.M.A. resulta artificialmente forzada con el propósito de que se ajuste al argumento de impacto significativo que constituya un supuesto daño ambiental.

- d) El contraste visual entre los registros gráficos obtenidos en profundidades más someras (hasta 20-30 metros), se explica fundamentalmente por el tipo de sustrato y la incidencia de luz solar sobre el fondo marino, que está presente en ambientes someros y resulta imperceptible para la cámara a profundidades de 50-60 metros, donde el campo visual depende exclusivamente del foco adosado a la cámara y su ángulo de incidencia (y las limitaciones que aquello implica).
- e) Otra fuente de variación del campo visual que se aprecia en las filmaciones, y que condiciona la correcta interpretación sobre las características comparativas del tipo de sustrato, es el cambio repentino de tonalidad que en diferentes momentos de las filmaciones se aprecia (atribuible a la calidad de la cámara empleada). Un ejemplo de lo anterior se aprecia en la filmación del transecto 1 minuto 11:01:05 (ver rango 11:01:00 y 11:01:07), transecto 3 minuto de filmación 12:27:16 (ver rango 12:27:14 y 12:27:30) y minuto 12:31:44 (ver rango 12:31\_40 y 12:31:54), donde el mismo campo visual del sustrato se observa a ratos en tono verde claro y otros más oscuro de color grisáceo-cobrizo.

Si dicho todo lo anterior, la S.M.A. aun estima que el párrafo aludido como conclusión de las filmaciones efectuadas en el ámbito de la Res. Ex N°1025/2019, es evidencia inequívoca de la presencia de arena asociada a un vertimiento o sepultación en el fondo marino del CES Aracena 14, será entonces relevante e imprescindible que identifique apropiadamente las partes de los registros gráficos disponibles con dicha evidencia, y junto con ello explique de qué manera esa evidencia gráfica coincide con las características texturales propias de esa arena que se habría vertido/sepultado pues, como hemos visto, basarse solo en un cambio de color aparente no aporta como evidencia o medio de prueba irrefutable. Como tampoco lo es una fotografía de maxisacos dispuestos sobre los pasillos de la estructura de cultivo (desconociéndose su contenido). Para establecer diferencias en la textura del sedimento es necesario realizar una serie de estudios y análisis que no han sido aun levantados como medios de prueba, como por ejemplo, estudios de mineralogía, composición geoquímica de los sedimentos o bien un estudio de procedencia. Este último no es un elemento nuevo en el área de la geología de los sedimentos, se viene estudiado sistemáticamente desde finales del siglo XIX (Boswell, 1933<sup>12</sup>; Pettijohn et al., 1987<sup>13</sup>; Weltje & Von Eynatten, 2004<sup>14</sup>), existiendo enfoques conceptuales y

<sup>12</sup> Boswell, P.G.H., 1933. On the Mineralogy of Sedimentary Rocks. Thomas Murby and Co., London.

<sup>13</sup> Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987. Sand and Sandstone, second edition. Springer- Verlag, New York.

cuantitativos, todos los cuales tienden a explicar la variabilidad de las propiedades de los sedimentos desde el lugar de origen, encontrándose bien documentados para la geología sedimentaria (Weltje, 2012<sup>15</sup>). Por lo tanto bajo el concepto de la procedencia, este medio de prueba carece de indicadores que permitan definir si el material que la S.M.A. identifica sobre partes puntuales del fondo es exógeno o propio del sector, ya que no existe un estudio donde se presenten índices de meteorización, como el Índice Químico de Alteración (CIA=Chemical Index of Alteration), o el Índice Químico de de meteorización (CIW=Chemical Index of Weathering) y el índice de alteración de la plagioclasa (PIA=Plagioclase Index of Alteration), todos elementos que permitirían establecer la procedencia de los sedimentos de forma certera y por ende establecer de manera concluyente si son exógenos (fueron vertidos) o propios del lugar.

### 3.3 Sobre la presencia de fauna en el área de sedimentación

En el numeral 34 de la Formulación de Cargos la S.M.A. y en referencia a los resultados de la medida provisional decretada por la Res. Ex. N° 1025/2019, el Fiscal Instructor sugiere que no se puede descartar que la ausencia de macrofauna bentónica tenga (sic) *“como causa – principal o exclusiva- la conducta del titular por la que se formularán cargos en su contra, aparte de la operación del centro”*. Es decir, lo que se indica es que los eventuales efectos del vertimiento del agente químico (percarbonato) y físico (material inerte (arena)), pudieron haber incidido o repercutido en la distribución y subsistencia de la macrofauna en el área de concesión, causando un detrimento de la biodiversidad, lo cual se haría evidente debido a la total ausencia de organismos en dicho lugar (macrofauna bentónica) (Documento IFA DFZ-2019-1418-XII-RCA).

El análisis efectuado por la S.M.A. conforme a lo descrito en el párrafo anterior induce a error al sugerir que el sector en cuestión se encuentra desfaunado. Si bien es cierto que los resultados de la medida provisional pre procedimental reveló la ausencia de fauna en muestras de sedimento obtenidas con draga en el área de estudio, las filmaciones subacuáticas efectuadas en la misma instancia revelan la presencia de abundante fauna en el área de sedimentación del centro de cultivo. En efecto, en conformidad con los lineamientos de la Res. Ex. N°3612/2009 y sus modificaciones, la presencia de fauna se debe verificar en dos instancias: a) mediante la metodología de muestras obtenidas con draga y, b) descripción de la fauna conforme a los registros gráficos derivados de las filmaciones subacuáticas, aspecto este último que no se incorpora en el análisis de la S.M.A. Al respecto, es posible mencionar que las filmaciones efectuadas entre el 1 y 3 de agosto de 2019 por la empresa Patagonia Rov (que forman parte de las medidas asociadas a la Res. Ex N° 1025/2019), se informa lo siguiente (sic): *“se encuentra*

---

<sup>14</sup>Weltje, G.J., Von Eynatten, H., 2004. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology* 171, 1–11

<sup>15</sup> Weltje G. J. 2012. Quantitative models of sediment generation and provenance: State of the art and future developments. *Sedimentary Geology* 280:4–20.



AVMC

Analysis, Visualization and Modelling

---

*fauna marina en los lugares inspeccionados como langostinos, centollas, estrellas de mar, peces del lugar, vegetación marina hacia la costa y ostiones. La profundidad del sector más a costa de 8 metros a 68 metros de profundidad". Es decir, se aprecia fauna en el lugar a pesar de la presencia de cobertura de microorganismos en los 3 transectos de filmación evaluados en dicha instancia.*

Sobre el particular, estimamos relevante tener en consideración la presencia de esta fauna en el sector de interés (megabentos, epifauna), que deriva de las filmaciones subacuáticas y el patrón temporal que presenta. El siguiente cuadro contiene una descripción del tipo de fauna que ha sido descrita con este marco metodológico, considerando las INFAs llevadas a cabo el 05-09-2018, 16-04-2019, 07-06-2019 y la INFA interna del 24-11-2020 (en Anexo 3 se entrega copia de INFA interna de noviembre 2020). Cabe destacar que aunque para efectos de llevar a cabo un nuevo ciclo productivo de cultivo la autoridad sectorial y ambiental invalidaron la INFA aeróbica del 07-06-2019, la evidencia de las filmaciones submarinas efectuadas en dicha instancia constituyen información valiosa que no es posible obviar en el ámbito del presente sancionatorio. En la Tabla 1, se entrega un detalle de la fauna marina descrita en las INFAs del centro Aracena 14.



AVMC

Analysis, Visualization and Modelling

**Tabla 1. Fauna identificada en área de sedimentación centro Aracena 14 según resultados de filmaciones subacuáticas de INFAs.**

PHYLUM	CLASE/FAMILIA/GÉNERO/ESPECIE	INFA			
		05-09-18	16-04-19	07-06-19	24-11-20
Cnidaria	Anthozoa indeter.			x	x
	<i>Metridium</i> sp.				x
Annelida	Chaetopteridae indeter.		x		x
Mollusca	Gastropoda Indeter.			x	
	Volutidae Indeter.				x
	Cephalopoda Indeter.				x
Arthropoda	<i>Munida subrugosa</i>		x		
	<i>Munida gregaria</i>	x			
	<i>Munida</i> sp.			x	x
	<i>Lithodes santolla</i>	x	x	x	
	<i>Austromegabalanus psittacus</i>		x		
	Cirripedia Indeter.			x	
	<i>Eurypodius latreillei</i>				x
	<i>Cancer</i> spp.				x
<i>Pagurus</i> spp.				x	
Echinodermata	<i>Cosmasterias lurida</i>	x	x	x	x
	<i>Arbacia dufrsnii</i>				x
	Ophiuroidea				x
Chordata	Actinopterygii Ideterm.			x	
	<i>Patagonotothen</i> spp.				x
Brachipoda	Terebratellidae				x

Fuente: elaboración propia en base a INFA's

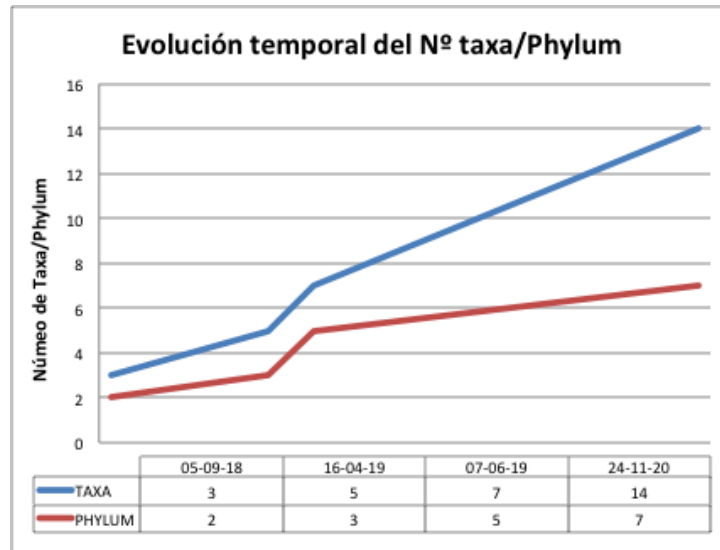
Tal como se indica en el cuadro anterior, se describen más de 21 entidades biológicas diferentes que son identificadas a diferente nivel taxonómico. Por su parte, la Figura 1 muestra una tendencia temporal creciente en el número de especies identificadas en el área de sedimentación del centro Aracena 14 , y también en el número de Phylum en que estas se agrupan desde el 2018 hasta el 2020.



AVMC

Analysis, Visualization and Modelling

**Figura 1. Evolución temporal de fauna descrita en grabaciones subacuáticas de INFAs: 05-09-18, 16-04-19, 07-06-19 e INFA interna del 24-11-20.**



Por otra parte, la intención de la SMA de asignar a las actividades vinculadas con la supuesta alteración artificial del fondo marino, una relación causal principal o exclusiva para explicar la ausencia de macrofauna bentónica en las muestras de sedimento, carece de rigurosidad técnica toda vez que a o largo de operación del CES Aracena 14 se han llevado a cabo al menos cuatro ciclos productivo completos y durante los cuales no se ha levantado información sobre esta matriz biológica. En consecuencia, no es posible explicar con ningún grado de certeza, hasta qué punto la ausencia de cierto tipo de fauna bentónica (o el detrimento de la diversidad de estas comunidades o asociaciones biológicas), es el resultado de condiciones operacionales históricas del CES (y esperables en el ámbito de la salmonicultura), o bien el resultado de las actividades que se imputan por la supuesta alteración el fondo marino en el área de sedimentación. Por lo tanto, en el expediente sancionatorio no se dispone de los antecedentes necesarios que permitan establecer una relación causa – efecto.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

A lo largo del presente documento se proporciona un análisis que permite demostrar, sobre la base de distintas líneas argumentales planteadas, que el sustento técnico de la evidencia y los medios de prueba empleados por la S.M.A. no permiten concluir sobre una base concreta, sólida ni rigurosa la imputación de un eventual daño ambiental como consecuencia de una supuesta alteración artificial de la columna de agua y fondo marino.

La evidencia empírica de sustento empleada por la S.M.A. para concluir un eventual daño ambiental (filmaciones subacuáticas, análisis de sedimentos (pH, Redox, granulometría)), adolece de una condición sub-estándar que no permite configurar, demostrar ni acreditar de manera



AVMC

Analysis, Visualization and Modelling

objetiva aquellos daños sobre el ecosistema acuático que se pretenden, pues no representan, bajo ningún contexto, una señal objetiva e inequívoca de causalidad directa. Como consecuencia, la imposibilidad de articular y conjugar las causas esgrimidas (alteración artificial) con los efectos imputados (*e.g.* detrimento macrofauna bentónica) genera una importante brecha argumental, que no cumple con el mínimo necesario que exige e impone la naturaleza del daño que se acusa (un “desequilibrio” (ver Numeral 33 de Formulación de Cargos), no es sinónimo de daño ambiental). Un ejemplo de esto se verifica en el hecho de que en el expediente sancionatorio la S.M.A. no entrega ningún dato concreto respecto de cómo se vio afectada la columna de agua ni su sustentabilidad ambiental producto de la conducta imputada a Nova Austral. Al respecto llama profundamente la atención que la medida provisional pre procedimental decretada en la Res. Ex N° 1025/2019, no haya incluido mediciones tendientes a la caracterización de esa matriz ambiental en cuanto a su contenido de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad/salinidad, siendo estos precisamente los atributos específicos relevantes que la normativa ambiental obliga a los titulares de proyecto a informar en las INFA en determinadas categorías de concesiones. Y si bien los artículos 50 y 51 de la LO-SMA confieren a dicho Servicio la facultad de realizar las pericias e inspecciones que estime pertinentes para disponer de medios de prueba orientados a la evaluación de los hechos investigados y determinar la responsabilidad de los supuestos infractores, no se explica que se haya omitido un aspecto de tal relevancia para los hechos que se imputan y sobre el cual se estima que existió un detrimento eventual de carácter significativo.

En consecuencia con lo anteriormente expuesto, los medios de prueba que utiliza la S.M.A son circunstanciales y poco robustos, las argumentaciones desplegadas a lo largo de la documentación del expediente (por ejemplo, Informe Técnico y Formulación de Cargos), resultan arbitrarias, forzadas en su contenido y un débil intento que no permite configurar ni demostrar causalidad, y solo representan una hipótesis de eventual daño ambiental que no es posible evaluar debido a las limitaciones impuestas por la naturaleza de la información empírica disponible y presentada por la autoridad ambiental y sectorial.

## **5. PROFESIONALES RESPONSABLES**

Colaboraron en la elaboración del presente informe técnico el oceanógrafo de la empresa AVMC SpA, Sr. Alexander Valdenegro Mancilla, RUN 12.004.365-K y el biólogo marino en calidad de independiente Sr. Pablo Mackenney Urzúa, RUN 10.310.092-5.

### **Fin Reporte**

LA INFORMACIÓN, METODOLOGÍA, TECNOLOGÍA Y MATERIAL INCLUIDO EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AVMC SpA, Y SOLO PUEDE SER UTILIZADA EN EL AMBITO DE PROCESO SANCIONATORIO ROL D-143-2021.

**Fecha de emisión: Septiembre, 2021.**

## Anexo 1



### 1.- Identificación del Producto y del Proveedor

Nombre del producto	<b>AteOx</b>
Usos identificados relevantes del producto.	Oxigenador de la columna de agua
Datos del proveedor	<b>Empresa:</b> ECOFOS SpA <b>Dirección:</b> Vizcaya Norte 17011-12, Parque Industrial Los Espinos, Pudahuel, Santiago de Chile. <b>Teléfono:</b> (56-2) 2571-2891 <b>Email:</b> ventas@ecofos.cl
Teléfono de Emergencia	(56-2) 2571-2891

### 2.- Identificación de los Peligros

Clasificación del producto	Puede causar irritación.
Elementos de la etiqueta	Ningún peligro significativo.
Otros riesgos	Ninguno conocido.

### 3.- Composición/Información de Ingredientes

Ingredientes	N° CAS	Peligros
Carbonato de sodio peroxihidratado (Percarbonato de sodio)	15630-89-4	No existen límites establecidos

### 4.- Primeros Auxilios

General	Producto puede causar irritación
Inhalación	Puede causar irritación de las vías respiratorias. Trasladar a la persona que ha estado expuesta al aire fresco.
Ingestión	Puede causar irritación del tracto digestivo. Lavar profusamente la boca y luego tomar abundante agua. Solicitar atención médica si se presentan mayores molestias. No producir vómitos.
Contacto con la piel	Puede causar irritación o enrojecimiento de la piel. Lavar inmediatamente con jabón y abundante agua. Retirar la ropa contaminada. Solicitar atención médica si se presenta irritación.
Contacto con los ojos	Puede causar irritación. Lavar con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Levante el párpado para asegurar que no existan residuos de producto después del lavado. Solicitar atención médica si existe irritación.

### 5.- Medidas de Lucha Contra Incendios

Medios de extinción	Agua pulverizada, polvo químico seco o dióxido de carbono.
Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla	Oxidante.
Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios	Utilizar equipo de respiración autónomo para la lucha contra incendios en caso de necesidad. Utilizar agua pulverizada para enfriar los envases cerrados.

### 6.- Medidas en Caso de Vertido Accidental

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia	Asegurarse que la zona de trabajo esté adecuadamente ventilada. Evitar respirar el polvo. Uso de elemento de protección personal (gafas, mascarillas y guantes)
Precauciones relativas al medio ambiente	Recoger y desechar en contenedores apropiados.
Métodos y material de contención y de limpieza	Ventilar el área y realizar limpieza en seco.
Referencia a otras secciones	No aplica.

### 7.- Manipulación y Almacenamiento

Precauciones para una manipulación segura	Evite la formación de polvo. Evitar la inhalación, ingestión y contacto con los ojos.
Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades	Almacenar el producto en su envase original cerrado en un lugar seco y ventilado. Evitar la exposición al fuego. El producto es incompatible con ácidos, álcalis y sales. Mantener los empaques perfectamente cerrados y etiquetados. Una vez abierto use el contenido completo.
Usos específicos finales	Uso en acuicultura.

### 8.- Controles de Exposición/Protección Individual

Controles técnicos apropiados	Asegúrese de que la zona de trabajo esté adecuadamente ventilada.
Medidas de protección individual, tales como elementos de protección personal	Gafas de seguridad adecuadas. Mascarillas de protección. Protección de piel y manos a través del uso de guantes adecuados.

### 9.- Propiedades Físicas y Químicas

Información sobre propiedades físicas y químicas básicas	<b>Estado:</b> Bloque Sólido <b>Color:</b> Blanco o casi blanco <b>Olor:</b> Característico <b>Solubilidad en agua:</b> 140 g/L a 24°C
--	---

### 10.- Estabilidad y Reactividad

Reactividad	Agentes oxidantes, reacciona con materiales orgánicos.
Estabilidad química	Estable a la temperatura y humedad relativa recomendadas.
Posibilidad de reacciones peligrosas	Potencial reacción exotérmica en presencia de ácidos.
Condiciones que deben evitarse	Áreas con alta humedad ambiental y altas temperaturas. Lugares mal ventilados. Mantener fuera del alcance del fuego.
Materiales incompatibles	El producto es incompatible con ácidos álcalis y sales. Se debe evitar el agua y materiales orgánicos.
Peligros producto de la descomposición	No se descompone si se almacena como se recomienda. La descomposición es acompañada con generación de oxígeno.

### 11.- Información Toxicológica

Información sobre los efectos toxicológicos	LD 50 (g/Kg): 1,9 – 3,0
---	-------------------------

### 12.- Información Ecológica

Toxicidad	No presenta.
Persistencia y degradabilidad	No posee persistencia y es rápidamente degradable.
Potencial de bioacumulación	El producto es a base de compuestos inorgánicos que no son bioacumulables.
Movilidad en el suelo	No aplica.
Resultados de la valoración PBT y mPmB	No aplica.
Otros efectos adversos	No se conoce ninguno.

### 13.- Consideraciones Relativas a la Eliminación

Métodos para el tratamiento de residuos	Eliminar los residuos en la instalación de tratamiento de residuos autorizada de conformidad con la reglamentación vigente y en función de las características del producto en el momento de la eliminación.
---	--

### 14.- Información Relativa al Transporte

ADR/RID	No es una sustancia peligrosa según se define en los reglamentos indicados.
IMDG	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
IATA	Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.
Información adicional	No conocida.

### 15.- Información Reglamentaria

#### Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos del producto:

REGLAMENTO (UE) N° 453/2010 DE LA COMISIÓN de 20 de mayo de 2010 por el que se modifica el Reglamento (CE) N° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) N° 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) N° 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la comisión.

Evaluación de la seguridad química

No aplicable.

### 16.- Otra Información

La información proporcionada en la presente hoja de seguridad, es la disponemos a la fecha de su publicación. La información suministrada está concebida solamente como una guía para la seguridad en el manejo, uso, almacenamiento, transporte y eliminación, y no debe ser considerada como una garantía o especificación de calidad. La información se refiere únicamente al material especificado, y no es válida para dicho material usado en combinación con otros materiales o en un uso no previsto.

La información contenida en este documento se obtuvo de fuentes fidedignas. Sin embargo, la información se da sin ninguna representación de garantía, explícita o implícita, tratando de la certeza.

Las condiciones o métodos del manejo, el almacenaje, el uso y la disposición de este producto están fuera de nuestro control y puede estar fuera de nuestro conocimiento, por ésta y otras razones, denegamos cualquier responsabilidad u obligación debida al daño, a la pérdida o el gasto que resulta de o tiene conexión con el manejo, el almacenaje, el uso o la disposición de los productos.

Revisión: 24-04-2018

## Anexo 2

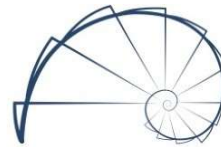


## ANEXO N°2

### ESTUDIO DE MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

### DE LA UNIDAD FISCALIZABLE DENOMINADA “CES Aracena 14 RNA N° 120096”

Preparado para: NOVA AUSTRAL S.A.



**AVMC**

Analysis, Visualization and Modelling

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.</b>	<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.</b>	<b>ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.</b>	<b>MODELO HIDRODINAMICO Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....</b>	<b>9</b>
<b>1.6.</b>	<b>VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>1.7.</b>	<b>DOMINIO DE MODELACIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1.8.</b>	<b>FORZANTES.....</b>	<b>21</b>
<b>2.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.</b>	<b>MODELACIÓN HIDRODINAMICA: MIKE3 FM .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.</b>	<b>SIMULACION DE PLUMA DE SEDIMENTOS MIKE 3 FM.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.</b>	<b>Simulación 1 .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.</b>	<b>Simulación 2 .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.</b>	<b>Simulación 3 .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6.</b>	<b>Simulación 4 .....</b>	<b>33</b>
<b>3.</b>	<b>EFFECTOS DE LA RE-SUSPENSIÓN DE SEDIMENTOS SOBRE LA BIOTA LOCAL .....</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO SOBRE EL DOMINIO REGIONAL DEL MODELO NUMÉRICO.....	6
FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO QUE RESUME EL PROCESO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL ACOPLAMIENTO DE UN MODELO HIDRODINÁMICO Y DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	9
FIGURA 3. NIVELES DEL MAR UTILIZADAS PARA VALIDAR EL MODELO HIDRODINÁMICO REGIONAL.....	12
FIGURA 4. BATIMETRÍA DEL MODELO HIDRODINÁMICO REGIONAL.....	14
FIGURA 5. MALLA DE DISCRETIZACIÓN DEL MODELO REGIONAL, UTILIZANDO ELEMENTOS TRIANGULARES FINITOS PARA MIKE3. ...	16
FIGURA 6. DISCRETIZACIÓN VERTICAL DEL MODELO LOCAL (CAPA SUPERFICIAL (3), INTERMEDIA (2) Y DE FONDO (1). ....	18
FIGURA 7. DATOS BATIMÉTRICOS, DE CARTOGRAFÍA NÁUTICA Y LOCAL DEL PROYECTO, COMPILADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO LOCAL Y DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. ....	19
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL NÚMERO DE COURANT-FRIEDRICH-LÉVY (CFL).....	20
FIGURA 9. COMPARACIÓN DE SERIES DE NIVEL DEL MAR OBSERVADO Y MODELADO HIDRODINÁMICAMENTE, PARA CALERA METEORO, PTA. ARENAS Y BAHÍA GREGORIO. ....	22
FIGURA 10. DIAGRAMA DE TAYLOR PARA LA COMPARACIÓN DE LAS SERIES DE NIVEL DEL MAR (A: SERIE OBSERVADA PTA. ARENAS; B: SERIE MODELADA PTA. ARENAS; C: SERIE OBSERVADA BAHÍA GREGORIO; D: SERIE MODELADA BAHÍA GREGORIO; E:SERIE OBSERVADA CALETA METEORO, F: SERIE MODELADA CALETA METEORO) DETERMINADAS POR EL MODELO HIDRODINÁMICO. ....	23
FIGURA 11. SIMULACIÓN N°1 DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA SOBRE EL PISO MARINO. ....	25
FIGURA 12. SECCIÓN VERTICAL DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA EN LA COLUMNA DE AGUA (SIMULACIÓN N°1) .....	26
FIGURA 13. SIMULACIÓN N°2 DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA SOBRE EL PISO MARINO. ....	28
FIGURA 14. SECCIÓN VERTICAL DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA EN LA COLUMNA DE AGUA (SIMULACIÓN N°2) .....	29
FIGURA 15. SIMULACIÓN N°3 DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA SOBRE EL PISO MARINO. ....	31
FIGURA 16. SECCIÓN VERTICAL DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA EN LA COLUMNA DE AGUA (SIMULACIÓN N°3) .....	32
FIGURA 17. SIMULACIÓN N°4 DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA SOBRE EL PISO MARINO. ....	34
FIGURA 18. SECCIÓN VERTICAL DONDE SE MUESTRA LA DISPERSIÓN DE ARENA EN LA COLUMNA DE AGUA (SIMULACIÓN N°4) .....	35

---



ÍNDICE DE TABLAS

---

TABLA 1. CRITERIOS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS PESQUEROS.....37  
TABLA 2. RESUMEN DE NIVEL DE CONCENTRACIÓN Y RIESGO ASOCIADO. ....37  
TABLA 3. EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN ASOCIADOS A TIEMPOS DE EXPOSICIÓN Y SUS EFECTOS.  
.....38

---

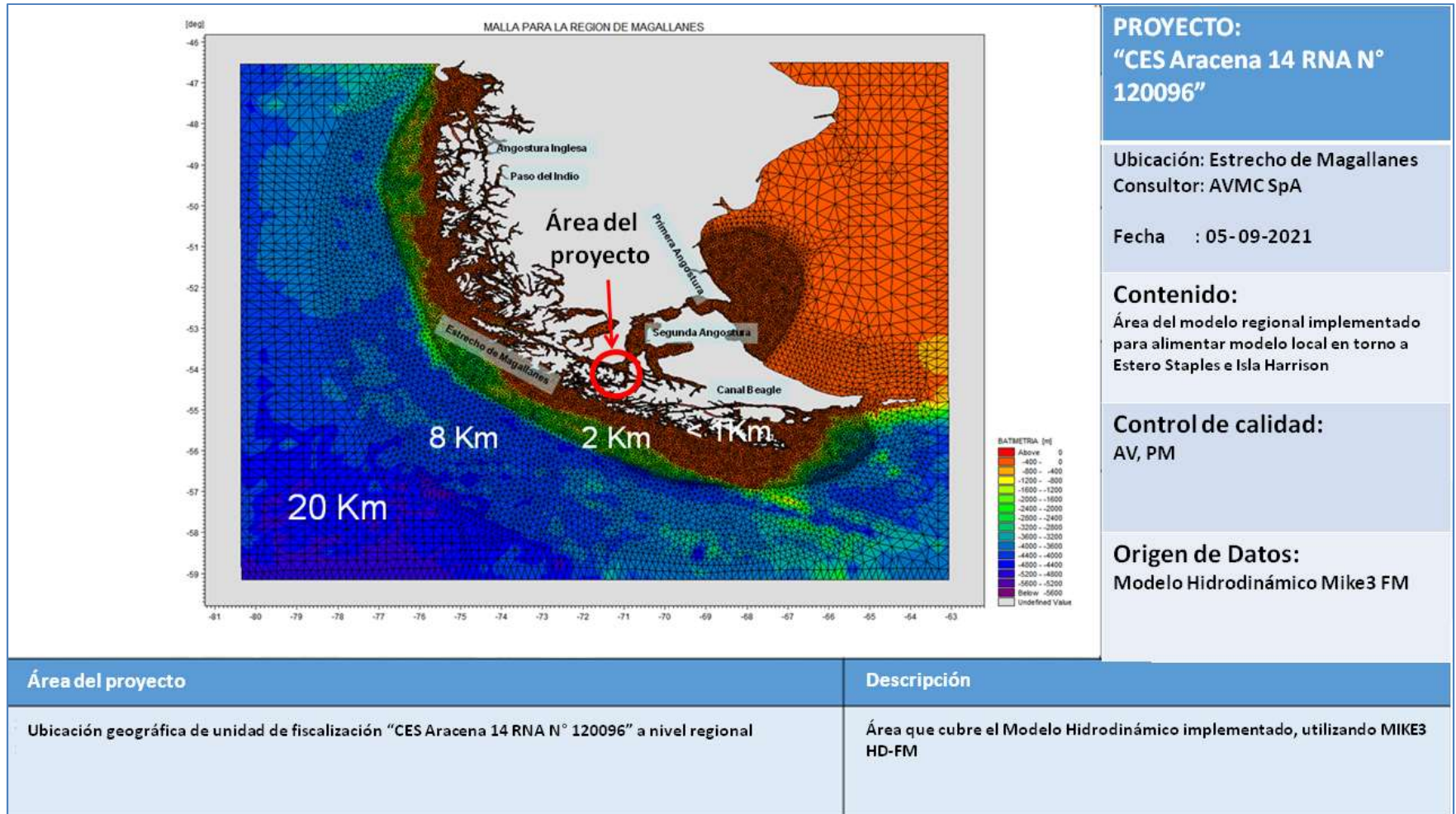
## 1. INTRODUCCIÓN

Por medio del estudio de abogados Carey, la empresa Nova Austral S.A. ha solicitado a AVMC SpA asesoría con el propósito de implementar modelo hidrodinámico acoplado a un modelo de transporte de sedimentos para evaluar distintos escenarios de simulación de diferentes descargas de sedimentos a partir de las diligencias probatorias realizadas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), a la Unidad Fiscalizable denominada “CES Aracena 14 RNA N° 120096”, localizada en el Estero Staples, área de Isla Capitán Aracena y al interior del Parque Nacional Alberto de Agostini, en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena (**Figura 1**).

El análisis que se presenta a continuación, desarrolla argumentaciones que tienen como propósito precisar y contextualizar el área de influencia asociada a aquellas descargas de sedimentos que se mencionan dentro de las diligencias probatorias realizadas por la SMA, entregándose los aspectos más relevantes del estudio de modelación del transporte de sedimentos.

Las simulaciones fueron desarrolladas asumiendo como hipótesis que los valores informados en las diligencias probatorias realizadas por la SMA son la mejor aproximación a la realidad de dichos eventos de descarga que se imputan, empleando datos oceanográficos como agentes forzantes de la circulación (e.g. marea y viento).

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto sobre el dominio regional del modelo numérico.



### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar modelos de simulación hidrodinámica acoplado a ecuaciones de transporte, tendientes a proporcionar antecedentes para establecer el eventual alcance y la extensión del área de influencia asociada a la pluma de sedimentos generada durante las descargas que se imputan en torno al Estero Staples, considerando para ello el área de máxima sedimentación.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las concentraciones de sedimentos depositados de la fracción granulométrica (arena), según los volúmenes mencionados en las diligencias probatorias realizadas por la SMA.
- Implementar un modelo numérico hidrodinámico tridimensional, acoplado a un modelo de transporte de sedimentos forzado por marea y viento.
- Determinar la dispersión y trayectoria de la pluma del material vertido.
- Determinar área de influencia de la depositación de sedimento.

### 1.3. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área evaluada se encuentra en torno al estrecho de Magallanes que se caracteriza por una gran variabilidad en el rango de marea, como consecuencia de las diferentes características que presentan las ondas del Pacífico y Atlántico, pudiendo variar el rango de marea entre 2 m por ejemplo en caleta Meteoro (52° 58' S, 70° 04' W), a valores que incrementa en los sectores de Primera y Segunda Angostura en punta Delgada (52° 28' S, 69° 32' W) con rangos entre 8 o 9 m (Fierro J., 2006; Salinas et al., 2004).

En términos oceanográficos el estrecho de Magallanes puede ser subdividido en tres microcuencas, la oriental entre la entrada del océano Atlántico y la Segunda Angostura, la central, entre dicha angostura e isla Carlos III, y la occidental desde dicha isla hasta la boca occidental del estrecho. En general, las masas de agua en este sistema de fiordos y canales magallánicos corresponden a Agua Subantártica del Pacífico, Subantártica del Atlántico (ASAA) y AD, que al mezclarse forman AE y ASAAM (Valdenegro & Silva, 2003).

La circulación e hidrodinámica de este sistema está gobernada principalmente por los forzantes marea y viento (Madeiros & Kjerfve, 1988).

El propósito de este trabajo es simular la hidrodinámica del área de estudio y acoplar las ecuaciones de transporte para caracterizar la dispersión que se produciría debido al vertimiento de sedimentos que se imputa sobre el área de la Unidad Fiscalizable denominada "CES Aracena 14 RNA N° 120096" que conforma la concesión de la empresa NOVA AUSTRAL para el cultivo de salmones.

## 1.4. METODOLOGÍA

Para la implementación del modelo de transporte de sedimentos, se consideró un dominio numérico regional que incluye toda la región de Magallanes, tendiente a incorporar todas las posibles fuentes de variación sobre el dominio que generen variabilidad de las corrientes.

A partir de los resultados del modelo regional, se crearon las condiciones iniciales y de borde del modelo local para “CES Aracena 14” Para implementar el modelo de transporte de sedimentos, se utilizó la información a partir de las diligencias probatorias realizadas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), a la Unidad Fiscalizable denominada “CES Aracena 14 RNA N° 120096”, utilizando sólo la fracción más relevante (Fracción Arena) en términos porcentuales para la implementación de las simulaciones.

### 1.4.1. Supuestos de modelación

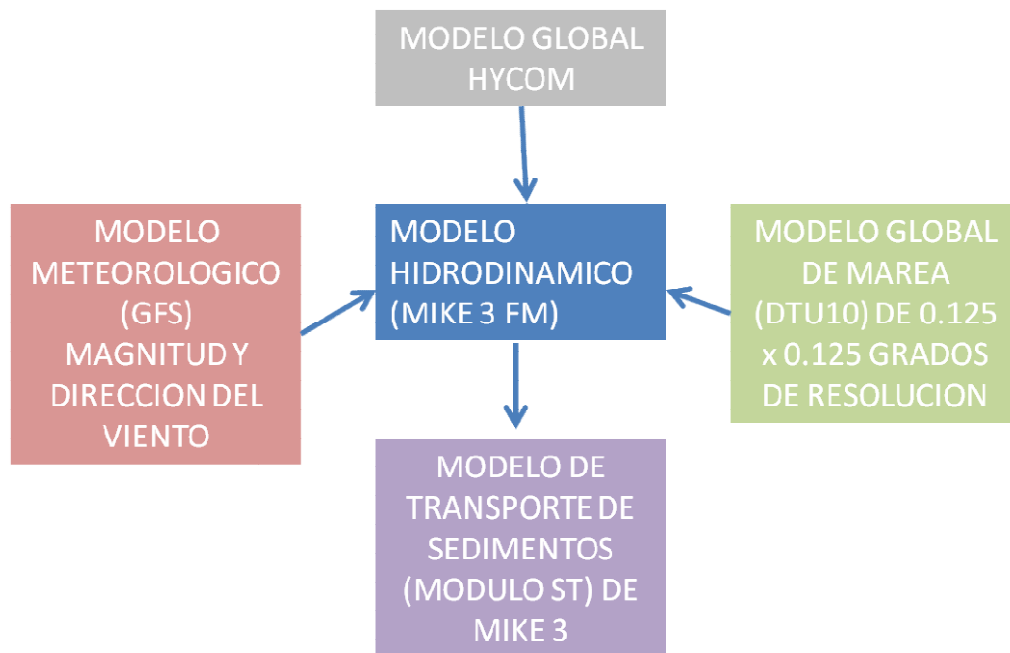
Considerando la información de las diligencias probatorias realizadas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), a la Unidad Fiscalizable denominada “CES Aracena 14 RNA N° 120096” se establecieron los siguientes supuestos para las simulaciones de transporte de sedimentos:

- 1) Se consideró un volumen diferencial para cada simulación considerando las fechas y cantidades de arena disponibles en el informe de fiscalización de la SMA (IFA DFZ-2019-1418-XII-RCA\_informe\_fiscalizacion\_SMA.pdf).
- 2) Se asume un tiempo de descarga de 2 horas para cada evento (simulación 1 a simulación 4).
- 3) Como criterio precautorio se utilizaron los máximos valores de masa de sedimentos a partir del informe de fiscalización de la SMA (IFA DFZ-2019-1418-XII-RCA\_informe\_fiscalizacion\_SMA.pdf).
- 4) Para estimar la cantidad de arena vertida en unidades de  $m^3$ , se asume que la arena que podría haberse vertido tendría una densidad de  $1600 \text{ kg}/m^3$ .
- 5) Se supone además un posible vertimiento de 50 bolsas o sacos de arena de 500 Kg cada una las cuales podrían haberse vertido entre las 14:00 y las 16:00 del 28 de marzo de 2019 (Simulación 1).
- 6) Posible vertimiento de 17 bolsas o sacos de arena de 500 Kg cada una, las cuales podrían haberse vertido entre las 9:00 y las 11:00 del 15 de abril de 2019 (Simulación 2).
- 7) Posible vertimiento de 6.000 Kg de arena, las cuales podrían haberse vertido entre las 13:00 y las 15:00 del 04 de mayo de 2019 (Simulación 3).
- 8) Posible vertimiento de 110 bolsas o sacos de 1.200 Kg de arena cada una, las cuales podrían haberse vertido entre las 10:00 y las 12:00 del 12 de julio de 2019 (Simulación 4).

## DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS

La naturaleza de los fenómenos que gobiernan el transporte de los sedimentos es compleja debido a su variación en el tiempo y espacio, lo cual hace necesario la utilización de modelos matemáticos para su estudio y la distribución de las distintas fracciones sedimentables. La aplicación de estos modelos permite tener algún grado de certidumbre de cuál sería su distribución más probable de depositación cuando existen procesos de alteración de piso marino, lo que involucra sedimentación y re-suspensión de sedimentos en la columna de agua. Para estos casos se utilizan los modelos 3D que resuelvan las ecuaciones de movimiento para un fluido incompresible (MIKE 3 FM), el cual fue forzado por un modelo meteorológico global (GFS) y de un modelo Global de Mareas (DTU10) de la Universidad Técnica Danesa y un modelo global del cual se extrajo el campo de temperatura y salinidad (HYCOM). En este caso se utilizó el modelo hidrodinámico utilizado fue MIKE 3 FM, perteneciente al Instituto de Hidráulica Danés (de su sigla en inglés DHI), **Figura 2**.

**Figura 2. Diagrama de flujo que resume el proceso en la implementación del acoplamiento de un modelo hidrodinámico y de transporte de sedimentos.**



### 1.5. MODELO HIDRODINAMICO Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para conocer la dinámica de la circulación se utilizó el modelo numérico hidrodinámico MIKE3 FM, desarrollado por el Instituto de Hidráulica Danés (DHI). Modelo formulado en elementos finitos (malla flexible), capaz de simular las fluctuaciones del nivel del mar, variaciones de temperatura-salinidad (flujo baroclínico) y los flujos asociados a forzantes como marea, vientos.

El sistema se basa en la solución numérica de las ecuaciones hidrodinámicas incompresibles de Navier-Stokes, utilizando el enfoque de Reynolds, los supuestos de Boussinesq y de presión hidrostática. Además, utiliza las ecuaciones de conservación de masa y momentum considerando las variaciones de temperatura, salinidad y densidad, con un esquema turbulento de cierre.

La ecuación de continuidad local es escrita de la forma:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Y las dos ecuaciones horizontales de momentum para las componentes x e y, respectivamente son:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} \\ = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0 \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz} - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial u}{\partial z} + u_s S \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} \\ = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0 \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz} - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + F_v \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial v}{\partial z} + v_s S \right) \end{aligned}$$

Donde  $t$  es el tiempo;  $x, y, z$  son las coordenadas cartesianas;  $\eta$  es la elevación de la superficie;  $h$  es la profundidad total;  $\mathbf{d} = \mathbf{h} - \eta$ ;  $u, v$  y  $w$  son las componentes de la velocidad en las direcciones  $x, y, z$ ;  $\mathbf{f} = 2\mathbf{\Omega} \sin \phi$  es el parámetro de Coriolis ( $\mathbf{\Omega}$  es la velocidad angular de rotación de la Tierra, y  $\phi$  es la latitud);  $g$  es la aceleración de gravedad;  $\rho$  es la densidad del agua;  $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}$  y  $S_{yy}$  son las componentes del tensor de estrés;  $v_t$  es la viscosidad turbulenta vertical;  $p_a$  es la presión atmosférica;  $\rho_0$  es la densidad de referencia del agua;  $S$  es la magnitud de la descarga de los emisarios y  $u_s, v_s$  es la velocidad del agua descargada;  $F_u$  y  $F_v$  son los términos de estrés horizontal.

El transporte y difusión de temperatura ( $T$ ) y salinidad ( $s$ ) está dado por las ecuaciones:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S$$

Donde  $D_v$  es el coeficiente vertical de difusión turbulenta,  $\hat{H}$  es el intercambio de calor con la atmósfera (en el caso de la presente evaluación no se incorpora información relativa a radiación

solar, precipitaciones, humedad del aire, entre otras, razón por la cual no se consideró esta variable en la modelación),  $T_s$  y  $S_s$  son la temperatura y salinidad de las descargas.  $F_t$  y  $F_s$  son los términos de difusión turbulenta de temperatura y salinidad.

La turbulencia es modelada utilizando un esquema de clausura, y la viscosidad vertical es calculada por la expresión:

$$v_t = U_\tau h \left( c_1 \frac{z + d}{h} + c_2 \left( \frac{z + d}{h} \right)^2 \right)$$

Donde  $U_\tau = \max(U_{\tau s}, U_{\tau b s})$ ;  $U_{\tau s}, U_{\tau b s}$  son las velocidades de fricción asociadas con el estrés de superficie y fondo.  $c_1$  y  $c_2$  son dos constantes que da el perfil parabólico. Mayores antecedentes pueden ser revisados en el manual de usuario ([www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)).

En el presente estudio se utilizó, además, el sistema de modelación MIKE 21/3 Coupled Model FM de la misma empresa. Este software está compuesto de un modelo hidrodinámico y de transporte de sedimentos no cohesivos, y un modelo espectral de oleaje, los cuales fueron acoplados para simular el transporte de sedimento de la fracción Arena, según las diligencias probatorias realizadas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), a la Unidad Fiscalizable denominada "CES Aracena 14 RNA N° 120096".

Este sistema integrado permite combinar los distintos forzantes del transporte de sedimentos, como los flujos, las corrientes, el oleaje en un sólo modelo morfológico. La discretización del dominio se realizó mediante la utilización de elementos finitos en una malla flexible (Flexible Mesh, FM), no estructurada, conformada de elementos triangulares (DHI, 2015).

## 1.6. VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN

Como parte del proceso de validación y calibración se utilizaron las series de tiempo del nivel del mar de Caleta Meteoro, Pta. Arenas y Bahía Gregorio, extraídas del sitio web [SEA LEVEL STATION MONITORING FACILITY \(ioc-sealevelmonitoring.org\)](http://ioc-sealevelmonitoring.org) de la IOC (Comité Oceanográfico internacional), de manera de asegurar que el balance de agua sea el correcto a partir de la malla de discretización del modelo. Se aplicó similar procedimiento con las corrientes marinas de superficie, intermedia y de fondo en el sector de emplazamiento del proyecto.

En el caso del nivel del mar, se compararon los niveles observados con los predichos por la simulación del modelo hidrodinámico, estimando algunos índices de calidad para el modelo (Dingman & Bedford, 1986).



**Figura 3. Niveles del mar utilizadas para validar el modelo hidrodinámico regional.**



Por ejemplo, se calculó el error definido como la diferencia entre el valor predicho por el modelo “ $mo_i$ ” menos el valor observado “ $me_i$ ”, por lo tanto, el error estimado o residual tendrá la siguiente forma:

$$dif_i = mo_i - me_i$$

Donde se define la media muestral como:

$$\overline{me} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N me_i$$

Además, se estimó el error medio BIAS definido como:

$$BIAS = dif_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dif_i$$

Calculando además la raíz del error cuadrático medio RMS y el coeficiente de determinación, respectivamente, definidos como:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dif_i^2}, \quad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (me_i - \overline{me_i})(mo_i - \overline{mo_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (me_i - \overline{me_i})^2 \sum_{i=1}^N (mo_i - \overline{mo_i})^2}}$$

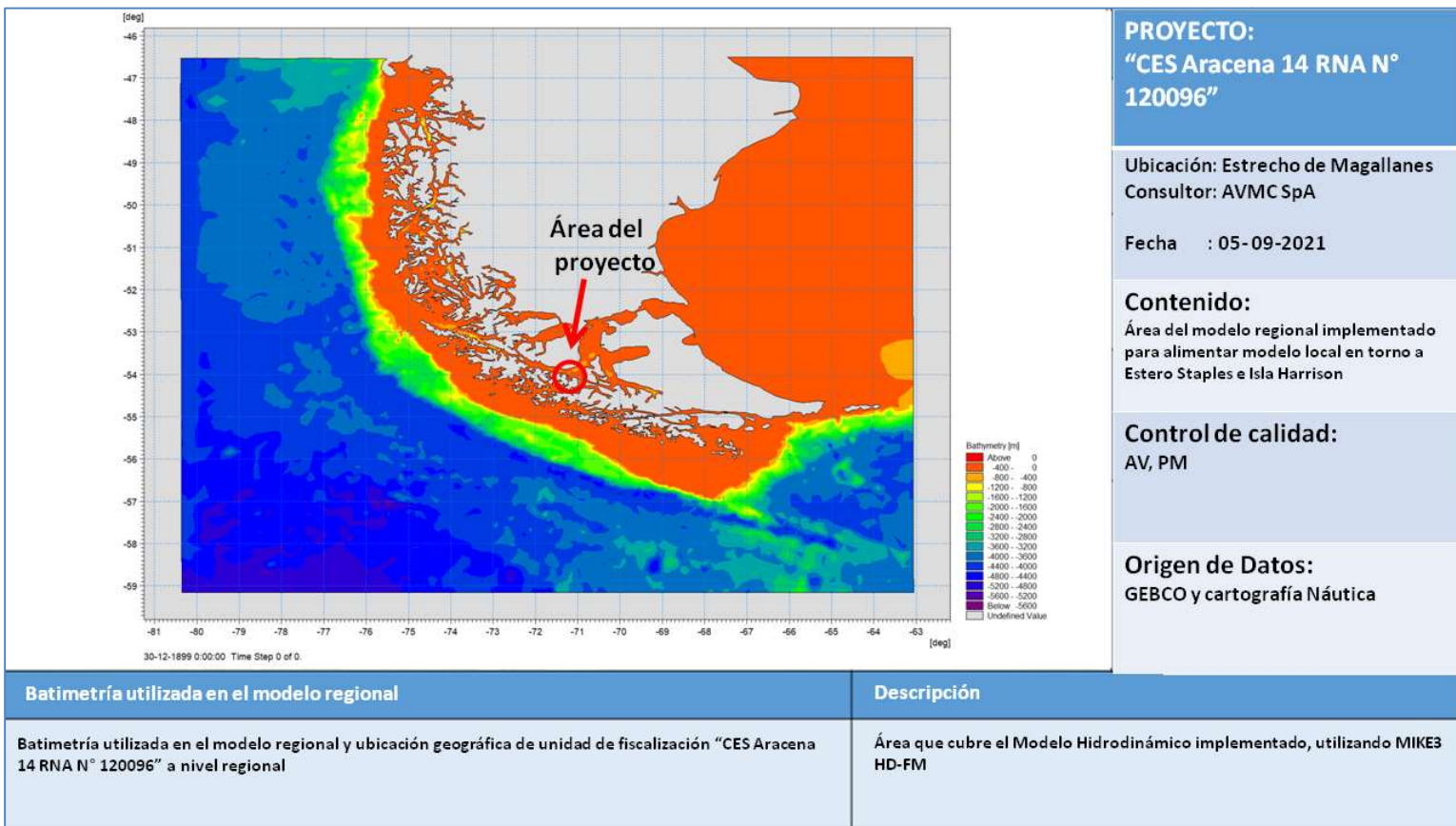
Estos índices permiten tener una medida objetiva de la calibración del modelo. Los resultados de estos índices fueron presentados en formato de Figuras utilizando el diagrama de Taylor (Taylor, 2001), el cual fue programado en SCILAB (Software de uso libre, con una estructura muy similar a MATLAB).

### 1.7. DOMINIO DE MODELACIÓN

La batimetría utilizada en la implementación del modelo fue generada a partir de la batimetría global y de cartografía náutica del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y a nivel regional con la batimetría GEBCO ([www.gebco.net](http://www.gebco.net)) para cubrir el dominio del modelo regional (**Figura 4**). Los datos fueron integrados en una sola base de datos e interpolados a la malla de discretización, utilizando para ello las herramientas de procesamiento del software MIKE3 llamada "Mesh Generator" georreferenciado la información batimétrica en coordenadas geográficas, utilizando el Datum WGS-84 (**Figura 5**).

Por razones de estabilidad numérica y de representación de los principales procesos oceanográficos, así como de las características topográficas del sector, se seleccionó un dominio que cubre un área mayor al área de influencia del proyecto (Figura 5), generando un modelo con una malla de resolución diferencial anidada considerando una resolución más alta en torno al área del proyecto en un dominio local en torno al lugar de emplazamiento del proyecto (Figura 5). Esto permite que las simulaciones representen de manera adecuada las influencias topográficas sobre el patrón local de circulación, y que el "ruido" o distorsión que se genera al inicio en las fronteras se reduzca y no se intensifique al llegar a la costa.

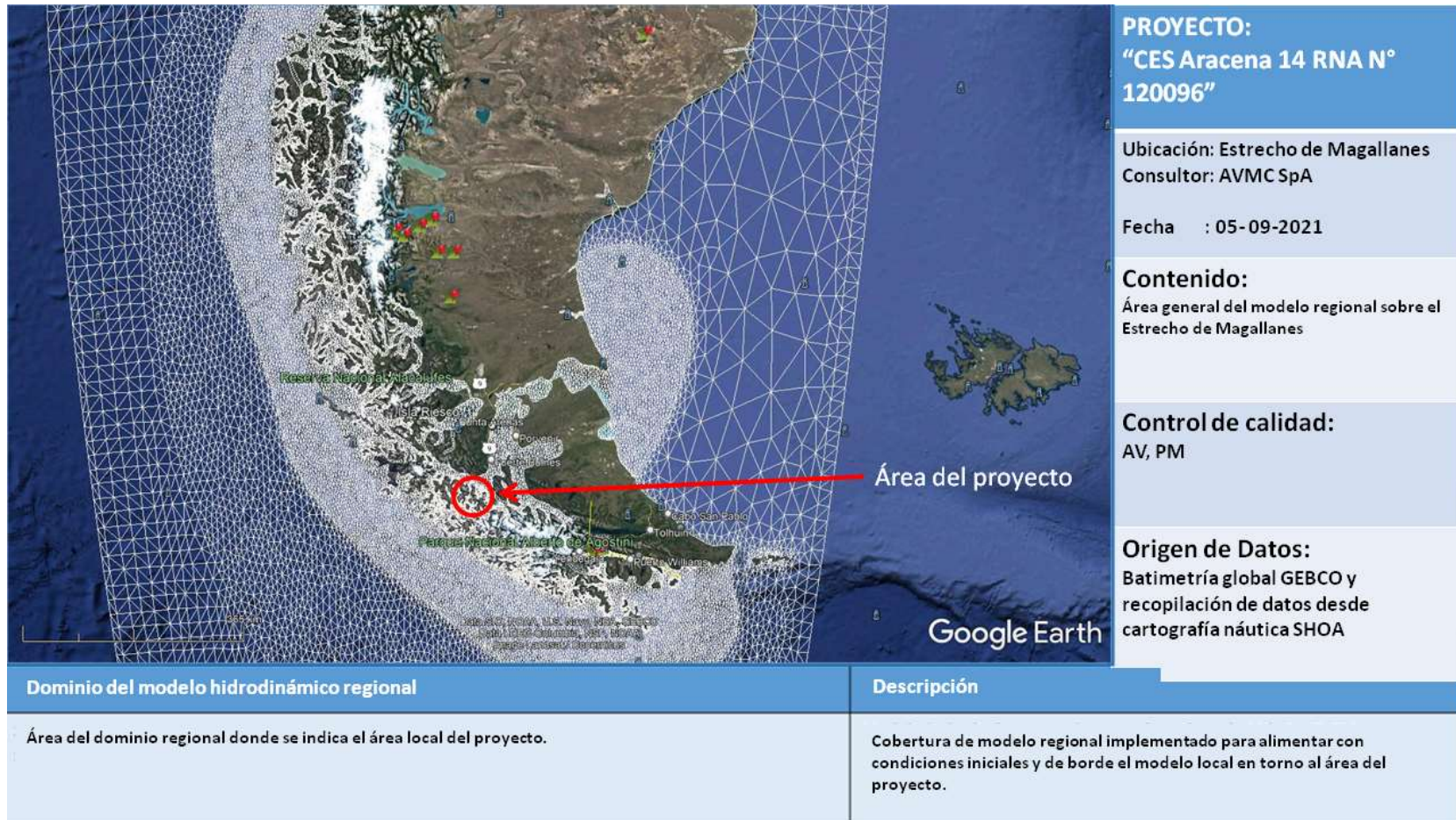
Figura 4. Batimetría del modelo hidrodinámico regional.



El área de estudio se discretizó mediante una malla de elementos triangulares variables en el espacio, aumentando la resolución de la malla en la zona costera. El dominio del modelo principal se discretizó empleando un total de 56989 elementos triangulares (con 11.570 nodos, **Figura 5**).

Y a nivel local se discretizó empleando un total de 2380113 nodos (**Figura 7**).

Figura 5. Malla de discretización del modelo regional, utilizando elementos triangulares finitos para MIKE3.



Verticalmente, el dominio se discretizó utilizando coordenadas “ $\sigma$ ” mediante 3 capas equidistantes en profundidad (capa superficial, intermedia y de fondo, **Figura 6**) y el espesor de las capas varió en el tiempo en función del nivel de agua, debido a las características de las coordenadas sigma en la vertical, el modelo regional fue utilizado para generar las condiciones iniciales y de borde del modelo local (**Figura 7**). Esta estrategia de simulación permite simular correctamente la circulación y la capa de sedimento en suspensión y su desplazamiento en torno al área del proyecto. A estas mallas flexibles se les acopló la interpolación de información batimétrica, obteniéndose, después de los ajustes necesarios para la estabilidad numérica (**Figura 7**).

Para el esquema de resolución en elementos finitos se calculó en coordenadas cartesianas el número de Courant-Friedrich-Lévy (CFL) definido como:

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y}$$

Donde “ $h$ ” es la profundidad total, “ $u$ ” y “ $v$ ” es la componente de la velocidad en la dirección “ $x$ ” e “ $y$ ”, respectivamente y “ $g$ ” es la aceleración gravitacional,  $\Delta x$  y  $\Delta y$  son la escala de longitud característica en las direcciones  $x$  e  $y$  respectivamente para los elementos triangulares y  $\Delta t$  es el intervalo de cada paso de tiempo. En este caso el CFL es una condición de convergencia de las ecuaciones de movimiento discretizadas en elementos finitos y mientras menor sea el valor sobre el dominio menor será el tiempo de resolución o convergencia de las soluciones, presentando una mayor estabilidad, en la **Figura 8**, se puede observar que el CFL es menor a 0,25 en la mayor parte del dominio, con un modelo local muy estable.



**Figura 6. Discretización vertical del modelo local (capa superficial (3), intermedia (2) y de fondo (1)).**

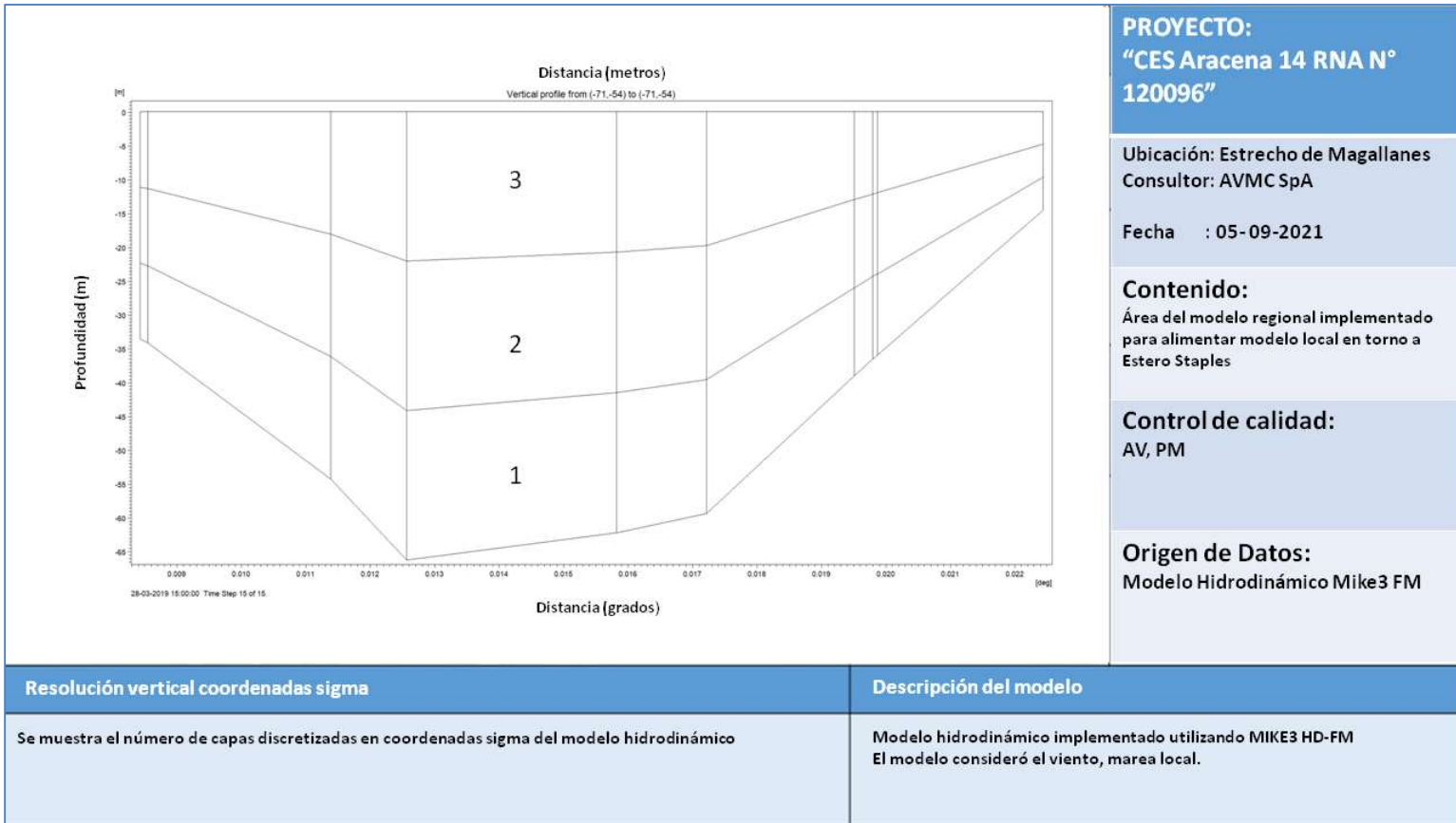


Figura 7. Datos batimétricos, de cartografía náutica y local del proyecto, compilada para la implementación del modelo hidrodinámico local y de transporte de sedimentos.

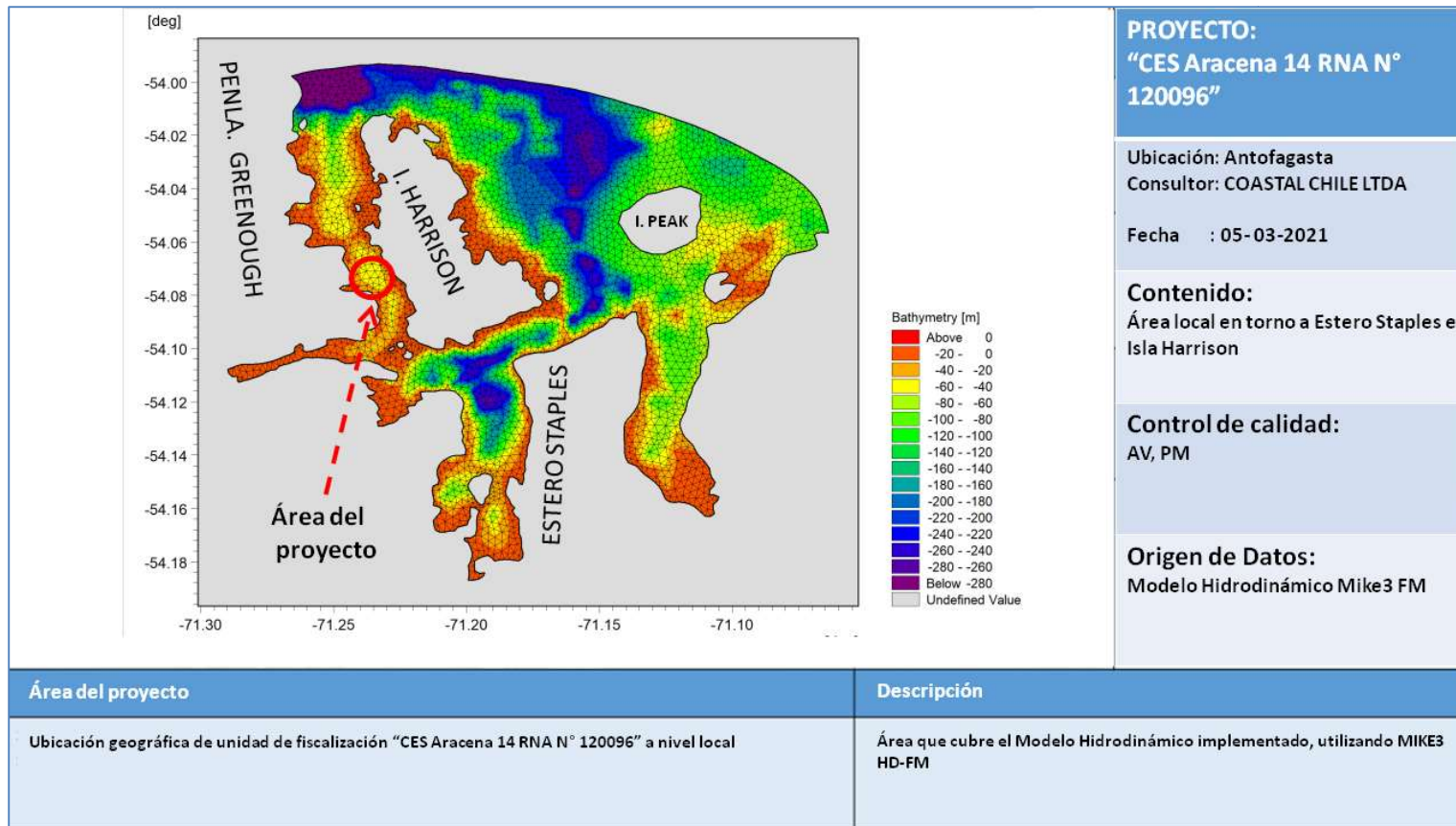
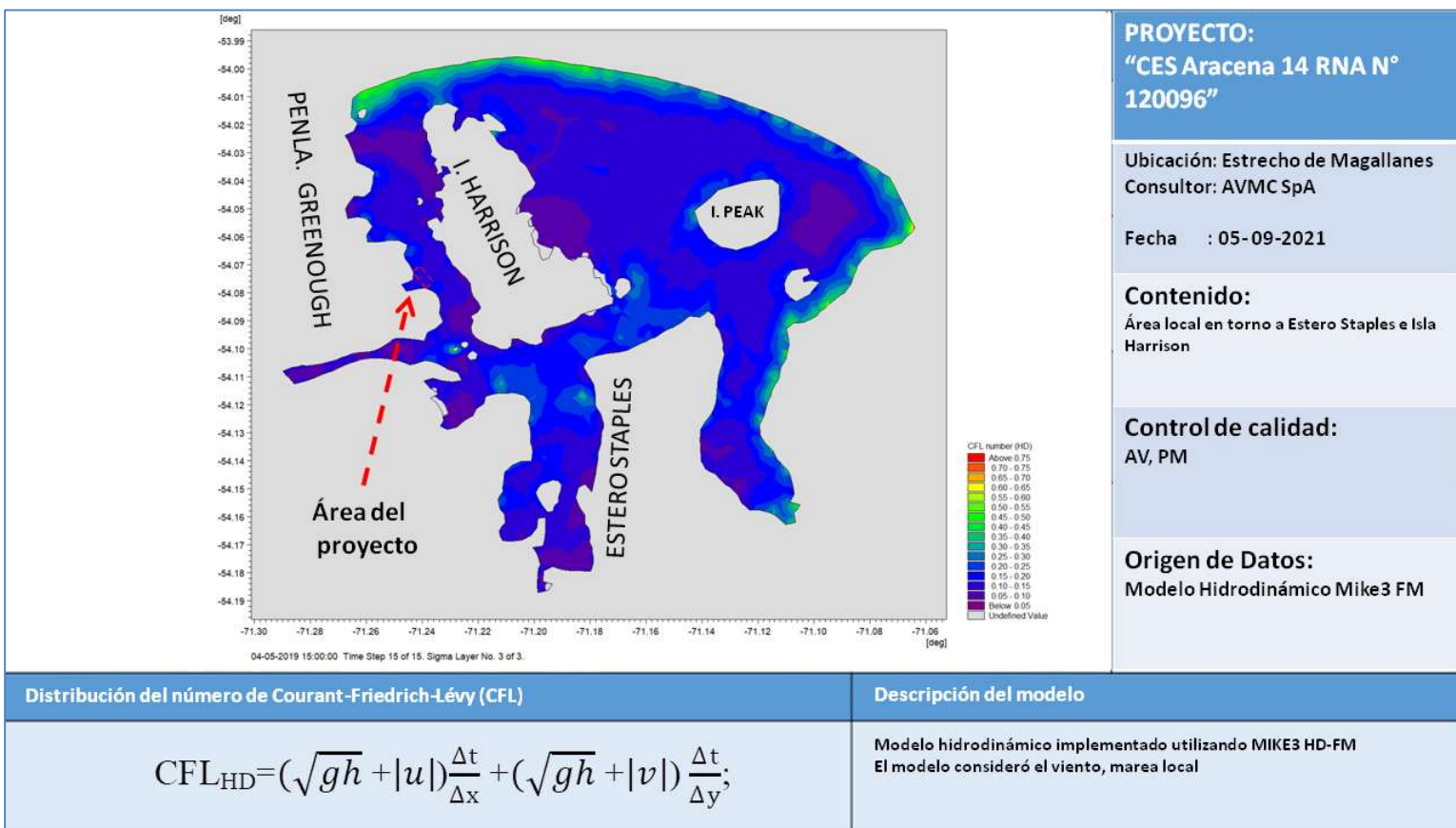




Figura 8. Distribución espacial del número de Courant-Friedrich-Lévy (CFL)



## 1.8. FORZANTES

Para forzar el modelo en las fronteras abiertas se utilizó el nivel del mar extraído del Modelo Global de Marea de la DTU (Universidad Técnica Danesa; Cheng & Andersen, 2010), generando la onda de marea a partir de los nodos en los bordes abiertos del dominio del modelo para el periodo Marzo, Abril, Mayo y Junio del 2019.

En todo el dominio evaluado, se impuso un viento variable en el tiempo y espacio, al igual que los campos tridimensionales de temperatura y salinidad, estos fueron obtenidos del modelo general de circulación HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model). Se optó por usar estos campos debido a que cubren la variación tridimensional (espacio-tiempo) a una resolución diaria sobre los bordes del dominio modelado (**Ver Figura 2**).

## 2. RESULTADOS

### 2.1. MODELACIÓN HIDRODINAMICA: MIKE3 FM

Antes de conocer el comportamiento de la pluma de sedimentos fue necesario validar las condiciones oceanográficas en el dominio del modelo, con mediciones del nivel del mar sobre el dominio del modelo regional de la región de Magallanes. La validación del modelo hidrodinámico consistió en verificar la reproducción de series de tiempo observadas de marea que afectarían la hidrodinámica de la circulación y por ende tendría influencia sobre el transporte de sedimentos.

En la **Figura 9**, se presenta la validación del nivel del mar para tres localidades diferentes (Pta. Arenas, Caleta Meteoro y Bahía Gregorio), en dicha figura se puede observar que el modelo representó adecuadamente las variaciones del nivel del mar, en términos estadísticos, para la serie de Pta. Arenas se estimó el error promedio 0.0 al igual que BIAS, con un error cuadrático medio de su sigla en inglés RMS en torno a 0,09 y con un coeficiente de correlación en torno a 0,98 con un N=168 datos (**Figura 10**).

En el caso de la serie medida en Bahía Gregorio se estimó el error promedio 0.03 con un BIAS de 0.01, con un error cuadrático medio RMS en torno a 0,22 y con un coeficiente de correlación en torno a 0,98 con un N=86 datos (**Figura 10**).

Similar validación se realizó al comparar el nivel del mar medido en caleta Meteoro y lo pronosticado por el modelo estimando un error promedio 0.08 con un BIAS de 0.0, con un error cuadrático medio RMS en torno a 0,06 y con un coeficiente de correlación en torno a 0,98 con un N=81 datos (**Figura 10**).

En la presenta la validación del nivel del mar, en la cual se observa que el modelo representa adecuadamente las variaciones del nivel del mar (**Figura 9** y **Figura 10**). Todos los resultados estadísticos de la validación fueron presentados en formato de figura utilizando el diagrama de Taylor (Taylor, 2001). Esto permite representar en una sola figura los índices estadísticos más relevantes de la validación de las series observadas con respecto a lo simulado (**Figura 10**).

Figura 9. Comparación de series de Nivel del mar observado y modelado hidrodinámicamente, para calera Meteoro, Pta. Arenas y Bahía Gregorio.

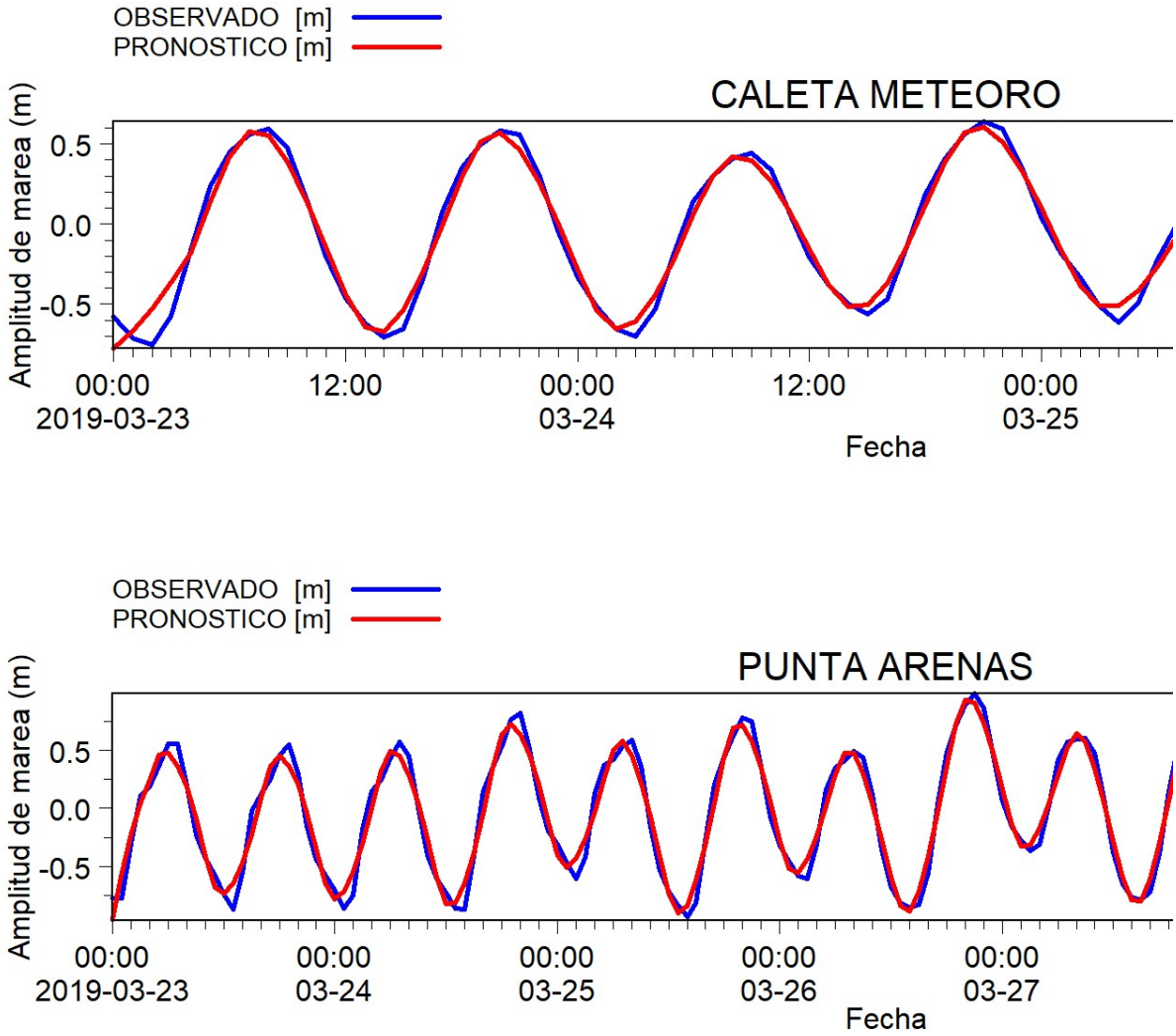
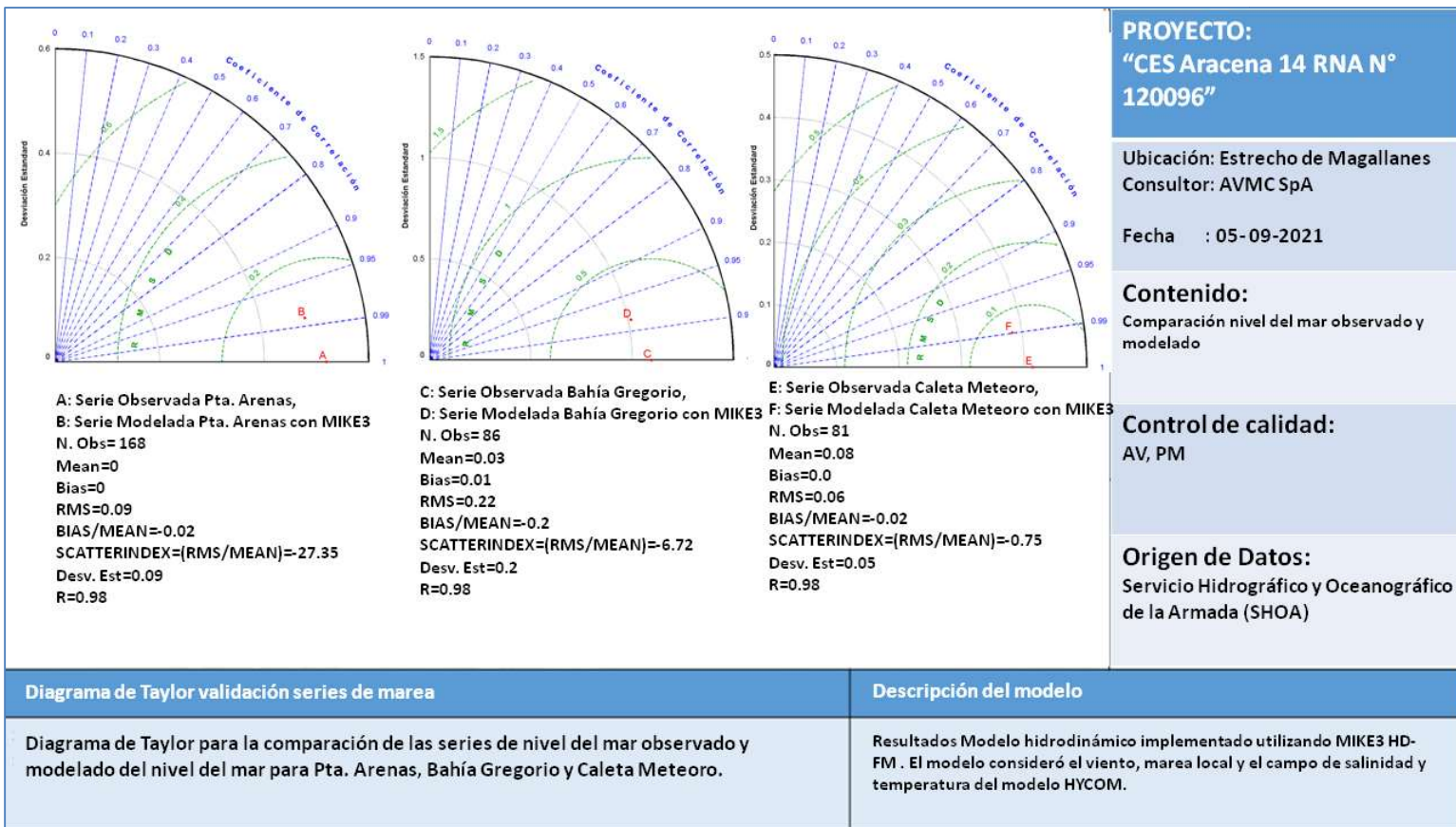


Figura 10. Diagrama de Taylor para la comparación de las series de nivel del mar (A: Serie observada Pta. Arenas; B: Serie Modelada Pta. Arenas; C: Serie Observada Bahía Gregorio; D: Serie Modelada Bahía Gregorio; E: Serie observada Caleta Meteoro, F: Serie Modelada Caleta Meteoro) determinadas por el modelo hidrodinámico.



## 2.2. SIMULACION DE PLUMA DE SEDIMENTOS MIKE 3 FM

### 2.3. SIMULACIÓN 1

La simulación 1 considera el vertimiento de arena gruesa de 50 bolsas de arena de 500 Kg cada una, las cuales podrían haberse vertido entre las 14:00 y las 16:00 del 28 de marzo de 2019. De acreditarse este vertimiento, el área de influencia de la descarga sería del orden de  $0,52 \text{ km}^2$  donde la mayor parte de la arena tendería a distribuirse mayormente en torno a la concesión del “CES Aracena 14 RNA N° 120096” y una pequeña porción sobre el borde costero aledaño, con una concentración de sedimentos menor a  $0,070 \text{ kg/m}^3$  (equivalente a 70 ppm) sobre el piso marino (**Figura 11**).

En la vertical, la mayor concentración de sedimento en suspensión en la columna de agua al momento de ese vertido se presentaría en la capa superficial por un corto periodo de tiempo (menor a 1hr) observándose una concentración máxima de sedimentos en suspensión menor a  $0,090 \text{ kg/m}^3$  (equivalente a 90 ppm, **Figura 12**).

Figura 11. Simulación N°1 de transporte de sedimentos, donde se muestra la dispersión de arena sobre el piso marino.

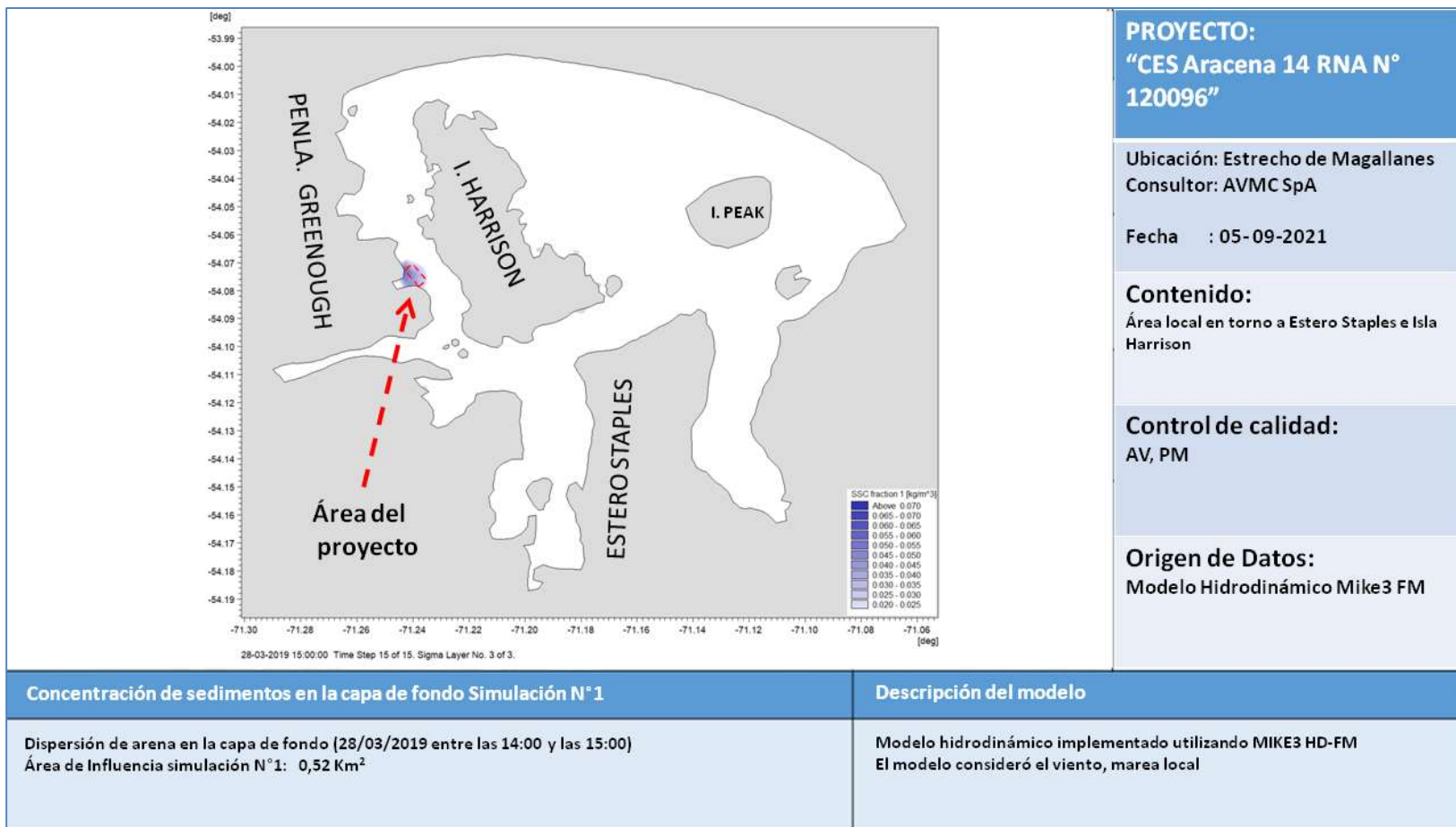
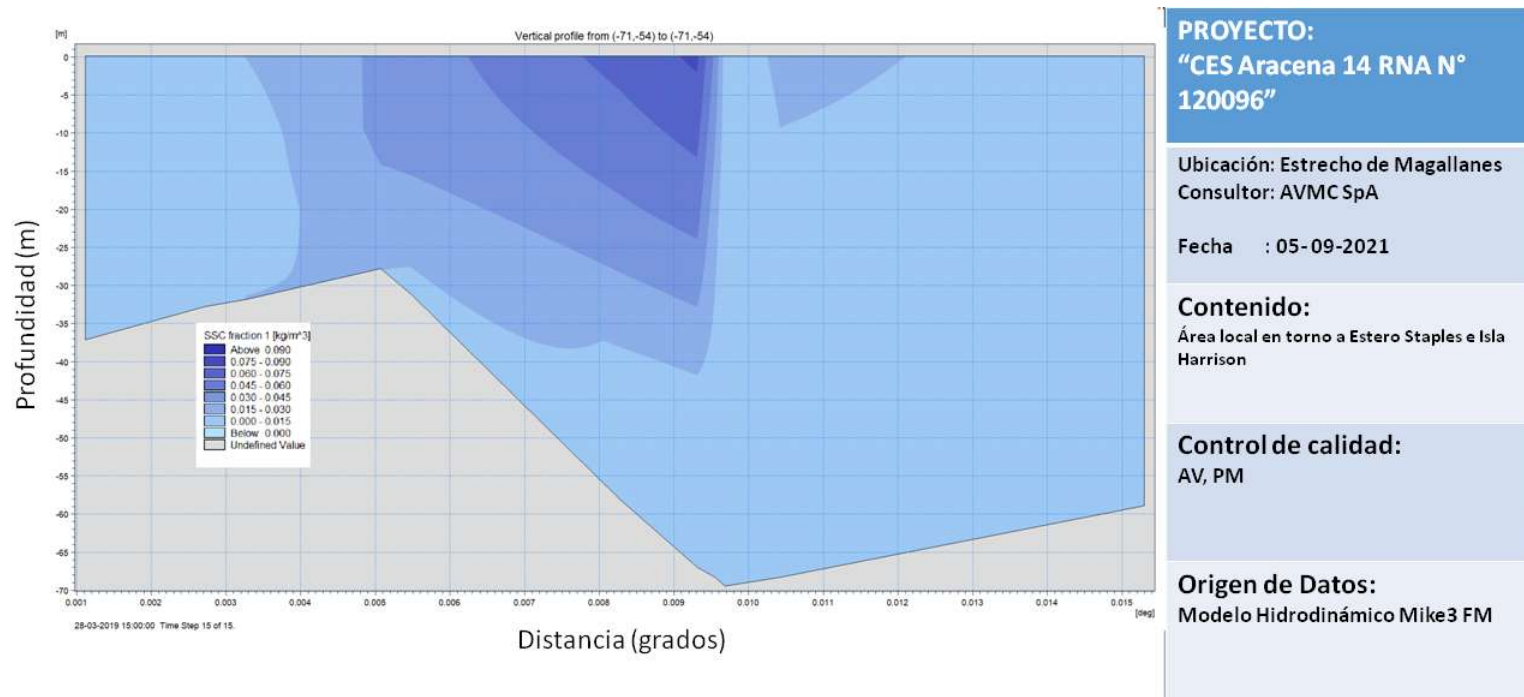


Figura 12. Sección vertical donde se muestra la dispersión de arena en la columna de agua (Simulación N°1)



**Concentración de sedimentos en la columna de agua Simulación N°1**

Concentración de arena en la columna de agua (28/03/2019 entre las 14:00 y las 15:00)

**Descripción del modelo**

Modelo hidrodinámico implementado utilizando MIKE3 HD-FM  
El modelo consideró el viento, marea local

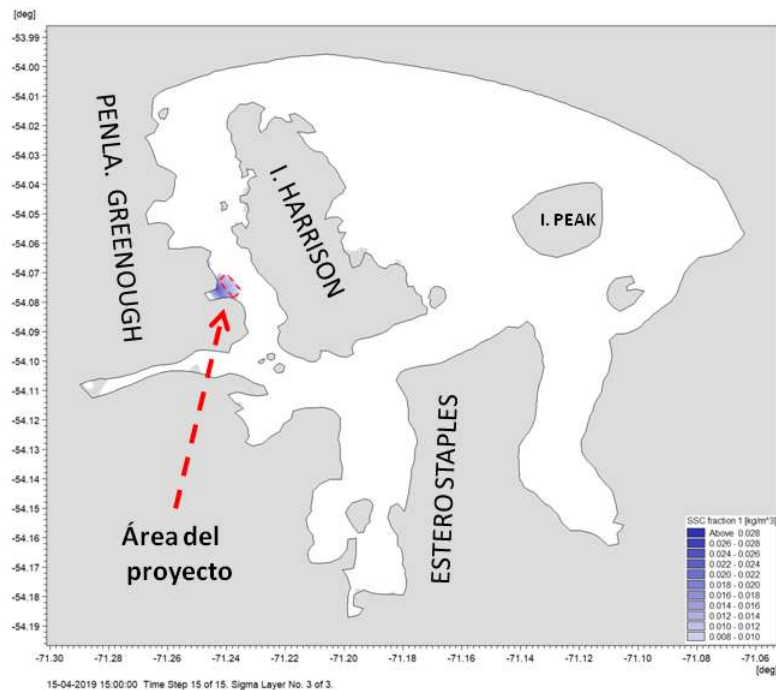
#### 2.4. SIMULACIÓN 2

En el caso de las 17 bolsas o sacos de arena de 500 Kg cada una, éstas podrían haberse vertido entre las 9:00 y las 11:00 del 15 de abril de 2019. De acreditarse este vertido, el área de influencia de la descarga sería del orden de  $0,41 \text{ km}^2$  donde la mayor parte de la arena tendería a distribuirse mayormente en torno al borde oeste de la concesión del “CES Aracena 14 RNA N° 120096” y en parte de la concesión con una concentración entre  $0,014$  a  $0,016 \text{ kg/m}^3$ , (equivalente a 16 ppm) sobre el piso marino (**Figura 13**).

En la vertical, la mayor concentración de sedimento en suspensión en la columna de agua se presentaría durante el inicio de la descarga o vertimiento con una concentración del orden  $0,028 \text{ kg/m}^3$  sobre la capa superficial por un corto periodo de tiempo (menor a 1hr), **Figura 14**.



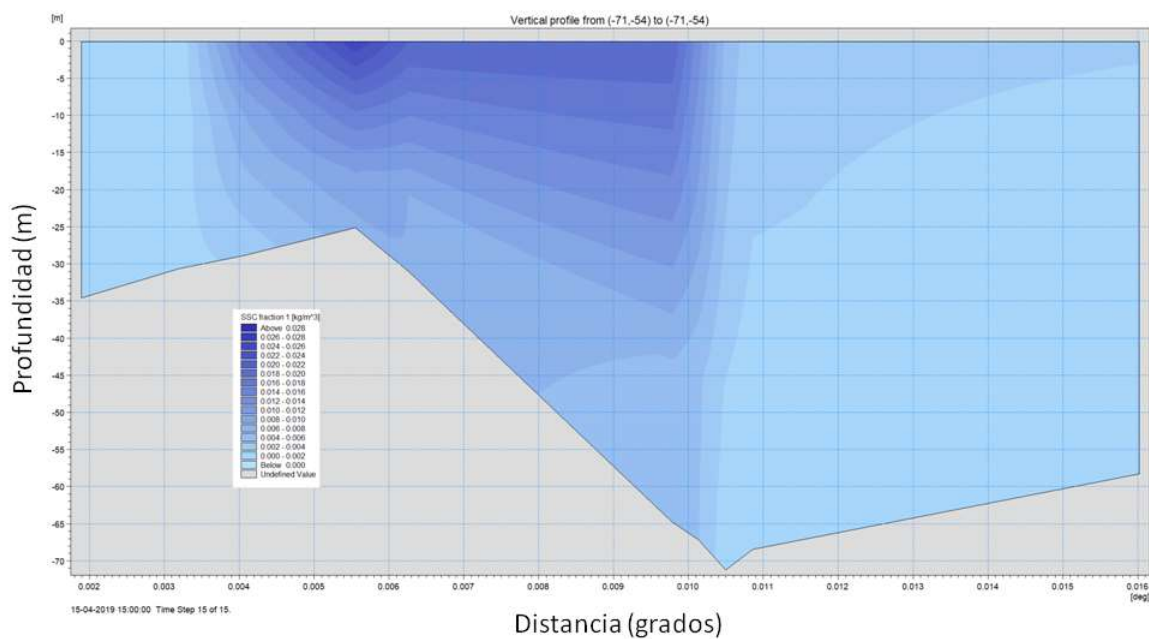
Figura 13. Simulación N°2 de transporte de sedimentos, donde se muestra la dispersión de arena sobre el piso marino.



<b>PROYECTO:</b> "CES Aracena 14 RNA N° 120096"
Ubicación: Estrecho de Magallanes Consultor: AVMC SpA
Fecha : 05-09-2021
<b>Contenido:</b> Área local en torno a Estero Staples e Isla Harrison
<b>Control de calidad:</b> AV, PM
<b>Origen de Datos:</b> Modelo Hidrodinámico Mike3 FM

Concentración de sedimentos en la capa de fondo Simulación N°2	Descripción
Dispersión de arena en la capa de fondo (15/04/2019 entre las 09:00 y las 11:00) Área de Influencia simulación N°1: 0,41 Km <sup>2</sup>	Modelo hidrodinámico implementado utilizando MIKE3 HD-FM El modelo consideró el viento, marea local

Figura 14. Sección vertical donde se muestra la dispersión de arena en la columna de agua (Simulación N°2)



**PROYECTO:**  
"CES Aracena 14 RNA N°  
120096"

Ubicación: Estrecho de Magallanes  
Consultor: AVMC SpA

Fecha : 05-09-2021

**Contenido:**  
Área local en torno a Estero Staples e Isla  
Harrison

**Control de calidad:**  
AV, PM

**Origen de Datos:**  
Modelo Hidrodinámico Mike3 FM

#### Concentración de sedimentos en la columna de agua Simulación N° 2

Concentración de arena en la columna de agua (15/04/2019 entre las 14:00 y las 15:00)

#### Descripción del modelo

Modelo hidrodinámico implementado utilizando MIKES HD-FM  
El modelo consideró el viento, marea local

## 2.5. SIMULACIÓN 3

La simulación N°3 representa el escenario de vertido de 6.000 Kg de arena, las cuales podrían haberse descargado entre las 13:00 y las 15:00 del 04 de mayo de 2019. De acreditarse dicha descarga, el área de influencia de la descarga sería del orden de 0,65 km<sup>2</sup> donde la mayor parte de la arena tendería a distribuirse mayormente en sobre el borde norte de la concesión del “CES Aracena 14 RNA N° 120096” y una parte la concesión con una concentración entre 0,0105 a 0,012 kg/m<sup>3</sup> (equivalente a 10,5 y 12 ppm) sobre el piso marino. Se observo que el núcleo de mayor concentración justo al norte del borde aldaño a la concesión alcanzando una concentración de 0,021 kg/m<sup>3</sup> (~21 ppm), **Figura 15**.

En la vertical, la mayor concentración de sedimento en suspensión en la columna de agua se presentaría durante el inicio de la descarga o vertimiento con una concentración del orden 0,021kg/m<sup>3</sup> (21ppm) sobre la capa superficial por un corto periodo de tiempo (menor a 2hr), **Figura 16**.

Figura 15. Simulación N°3 de transporte de sedimentos, donde se muestra la dispersión de arena sobre el piso marino.

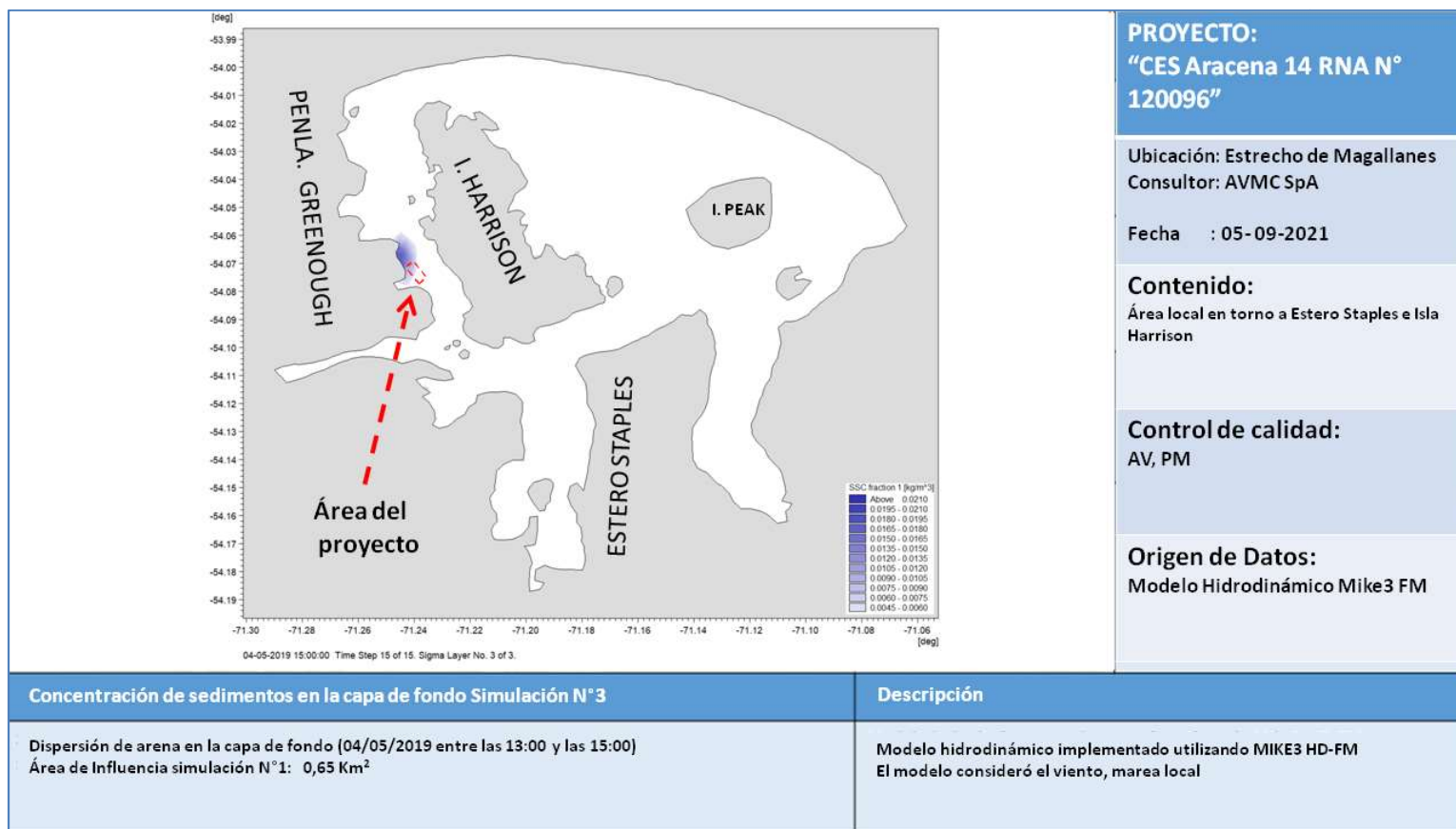
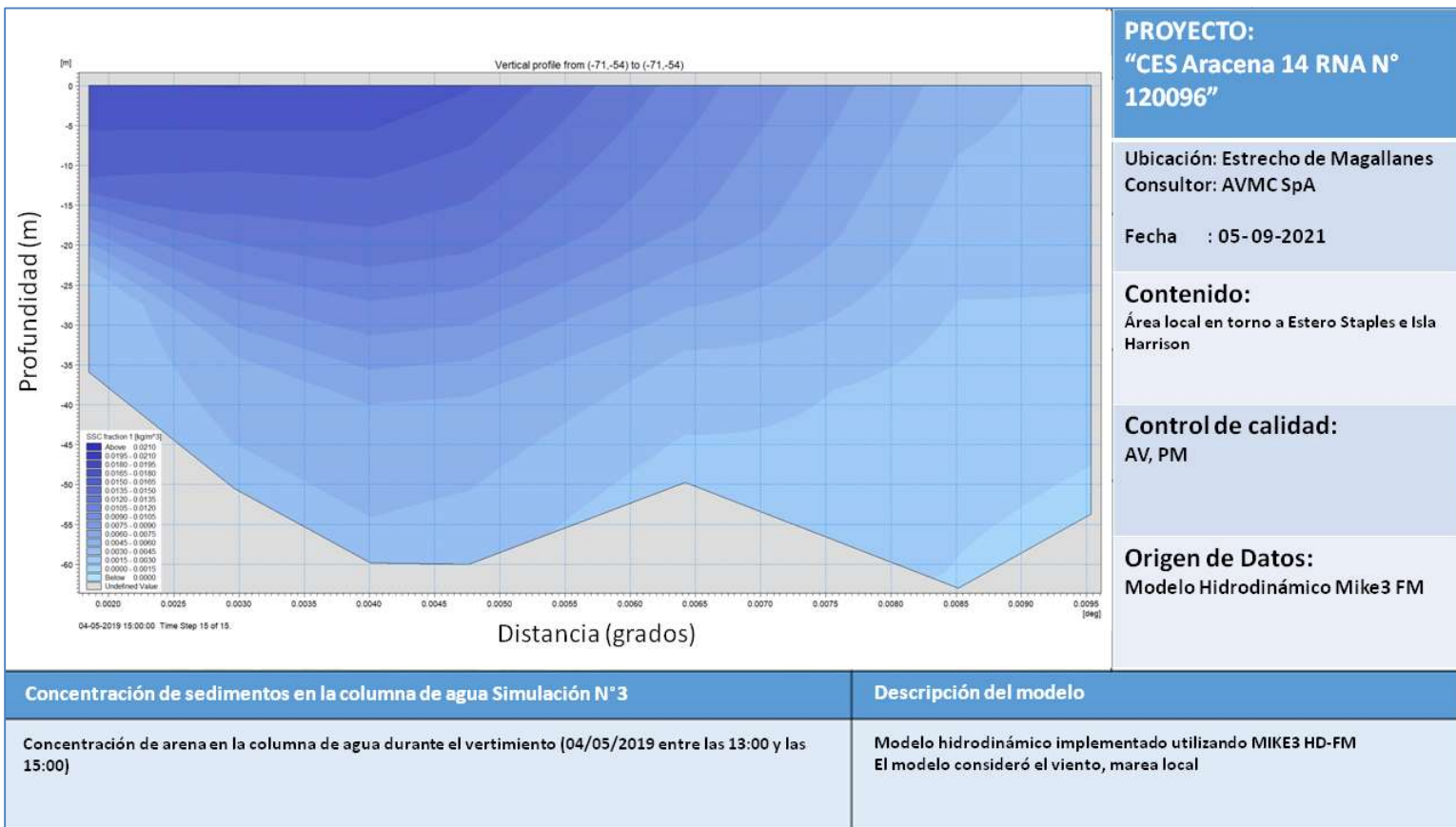


Figura 16. Sección vertical donde se muestra la dispersión de arena en la columna de agua (Simulación N°3)



## 2.6. SIMULACIÓN 4

La simulación N°4 representa el escenario del vertimiento de 110 bolsas de 1.200 Kg de arena cada una, las cuales podrían haberse vertido entre las 10:00 y las 12:00 del 12 de julio de 2019. De acreditarse dicha descarga, su área de influencia sería del orden de 0,43 km<sup>2</sup> donde la mayor parte de la arena tendería a distribuirse mayormente en sobre el borde norte de la concesión del “CES Aracena 14 RNA N° 120096” y gran parte dentro de la propia concesión con una concentración entre 0,020 a 0,024 kg/m<sup>3</sup> (equivalente a 20 y 24 ppm) sobre el piso marino. Se observó que el núcleo de mayor concentración justo al norte del borde de la concesión alcanzando una concentración de 0,021 kg/m<sup>3</sup> (~21 ppm), **Figura 17**.

En la vertical, la mayor concentración de sedimento en suspensión en la columna de agua se presentaría durante el inicio de la descarga o vertimiento con una concentración del orden 0,021kg/m<sup>3</sup> (21ppm) sobre la capa superficial por un corto periodo de tiempo (menor a 2hr), **Figura 18**.

Figura 17. Simulación N°4 de transporte de sedimentos, donde se muestra la dispersión de arena sobre el piso marino.

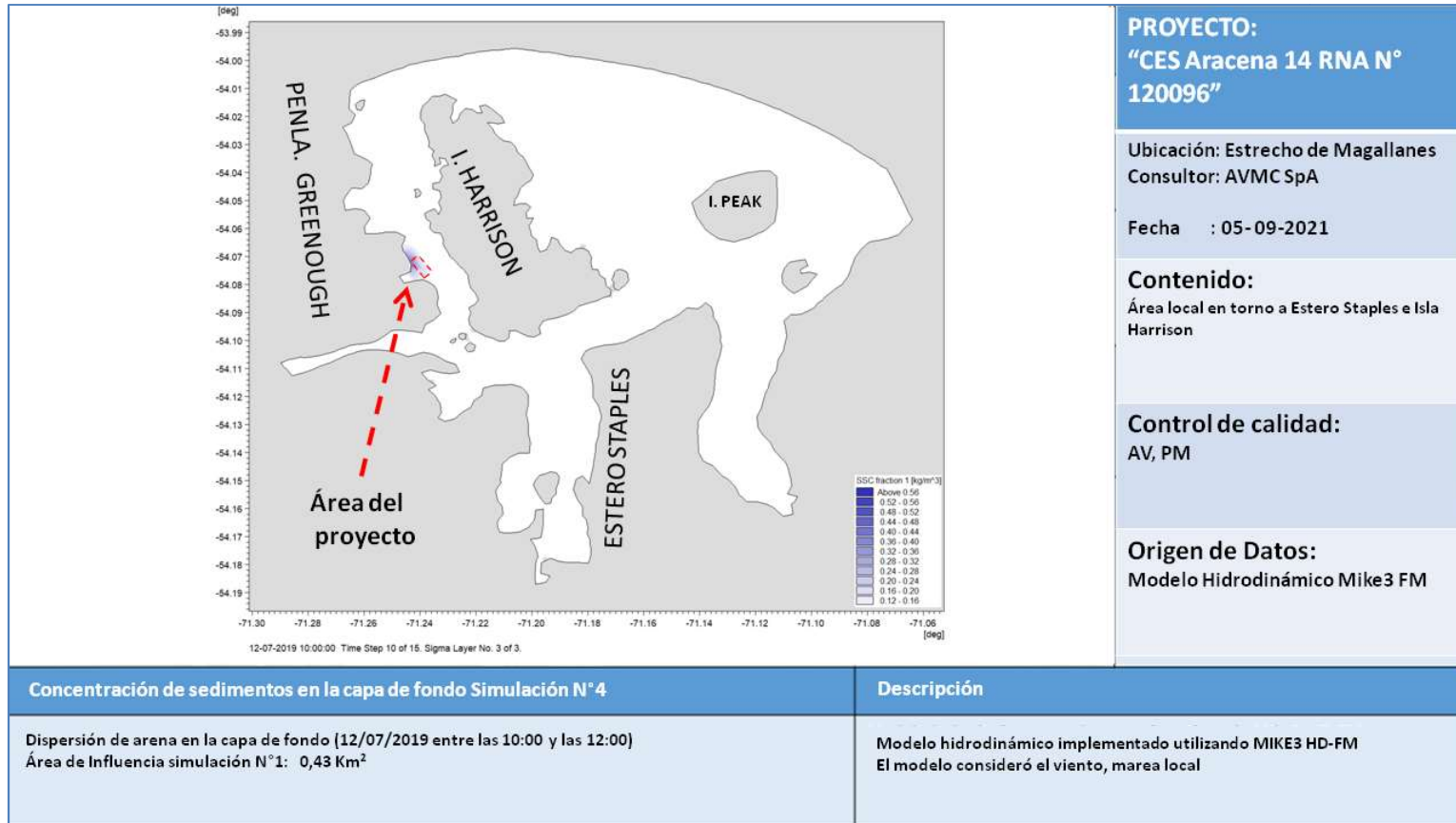
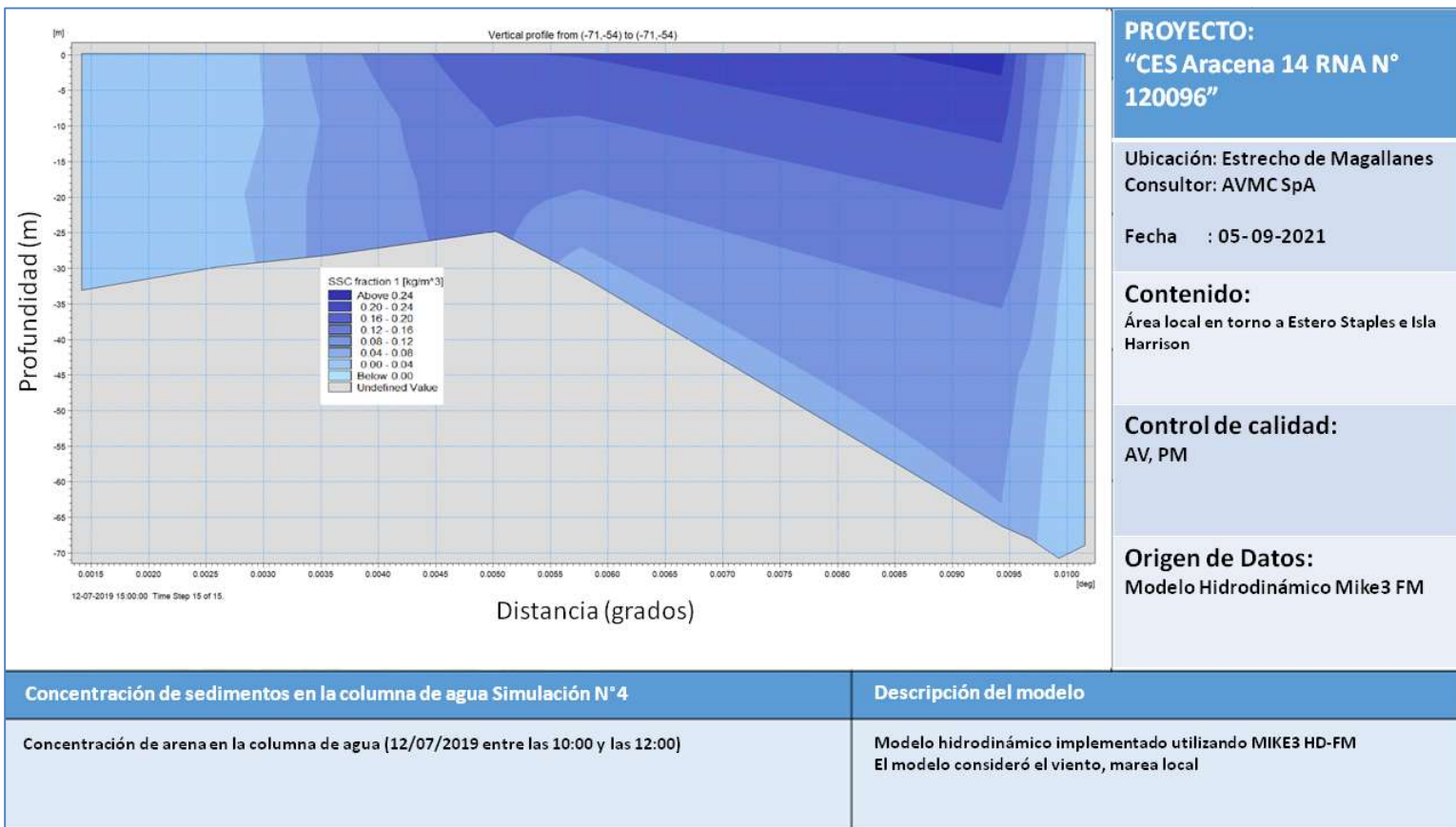


Figura 18. Sección vertical donde se muestra la dispersión de arena en la columna de agua (Simulación N°4)





### 3. EFECTOS DE LA RE-SUSPENSIÓN DE SEDIMENTOS SOBRE LA BIOTA LOCAL

Para establecer los posibles efectos asociados a vertimiento de sedimentos, se realizó una exhaustiva revisión de diferentes antecedentes bibliográficos en la literatura técnica y científica disponible, pues los sedimentos que podrían haber sido vertidos en el área costera evaluada, contribuirían a aumentar la turbidez y consecuentemente disminuir la penetración de la luz sobre las capas superficiales de la columna de agua de la zona costera, disminuyendo el espesor de la zona fótica (Waters, 1995).

Existe variada literatura que establece los efectos de los sedimentos re-suspendidos sobre la biota costera en base a dos criterios fundamentales que son la concentración y el grado de exposición en el tiempo (Newcombe y Macdonald, 1991; McCabe y O'Brien (1983); Rosenberg y Wiens (1978); Gammon (1970); Fairchild *et al.* (1987); Rosenberg y Snow (1977); Rosenberg y Wiens (1978); Robertson (1957); Lloyd (1985); Slaney *et al.*, (1977b); Rosenberg y Snow (1977); Wagener y LaPerriere (1985).

También se cuentan con antecedentes de los efectos de la concentración de las fracciones más finas como limos y arcillas sobre la biota (Kirk y Gilbert, 1990), las cuales establecen que la re-suspensión tendría algún efecto sobre la biota en un rango de concentración entre 10 a 50 ml/L.

También existen antecedentes en condiciones de laboratorio, que han establecido efectos sobre la biota (número de huevos y larvas de peces) a una concentración de sedimentos entre 50, 100, 500 y 1000 mg/L (Auld y Schubel, 1978) estableciéndose que en un ciclo de 96 h sobre el 80% de algunas especies sobre vive a los rangos de concentración precedentes (Auld y Schubel, 1978). Existen otros autores que han estudiado el aumento de la concentración de sedimentos re-suspendidos (> a 2000 mg/L) y establecen un aumento en las tasas de mortalidad en huevos y larvas (Schubel *et al.*, 1972; Morgan *et al.*, 1973). Existen además otros criterios para definir los efectos de los sedimentos en suspensión, y en general todos los actuales criterios se basan en el análisis de Newcombe y MacDonald (1991), Anderson y col. (1996) y Newcombe y Jensen (1996) y Caux *et al.* (1997).

Estos autores han conformado la base de los distintos criterios que utilizan algunas agencias ambientales, como la agencia canadiense (<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/index.htm>) y la agencia de Estados Unidos EPA (<https://www.epa.gov>). Los autores identificados precedentemente ponen el foco en que la biota acuática que responde tanto a la concentración de sedimentos en suspensión como a la duración de la exposición, siendo ambos procesos sinérgicos y complejos de cuantificar. Sin embargo, el trabajo de estos autores más los trabajos propuestos en los años sesenta por la European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC), conforman los siguientes criterios de protección de recursos pesqueros (Tabla 1):

**Tabla 1. Criterios de protección de recursos pesqueros.**

Concentración de sólidos suspendidos (ppm)	Tipo de riesgo para peces y su habitat
<b>&lt;25 ppm</b>	No existen evidencias de efectos nocivos sobre los peces;
<b>25 - 80 ppm</b>	Las pesquerías se mantienen en buenas condiciones.
<b>80-400 ppm</b>	Es poco probable que se mantenga cualquier pesquería o población de peces,
<b>&gt;400 ppm</b>	Es probable que la pesquería sea pobre o disminuya significativamente

Fuente: EIFAC (1964) extraído de Newcombe & Macdonald. 1991.

Posteriormente en los años ochenta, Lloyd (1987) retoma estos conceptos y establece tipos de riesgos, donde afirma que las mediciones de la turbidez pueden utilizarse para identificar los umbrales de los niveles de concentración de sedimentos en suspensión y sus efectos para la mayoría de las cuencas hidrográficas y propone el siguiente cuadro de riesgo (Tabla 2).

**Tabla 2. Resumen de nivel de concentración y riesgo asociado.**

Aumento de la concentración de Sedimentos (mg/m <sup>3</sup> )	Tipo de riesgo para peces y su habitat
<b>0</b>	Sin Riesgo
<b>&lt;25</b>	Muy bajo riesgo
<b>25-100</b>	Riesgo Bajo
<b>100-200</b>	Riesgo Moderado
<b>200-400</b>	Alto riesgo
<b>&gt;400</b>	Riesgo no aceptable

Fuente: Modificado de Newcombe & Macdonald. 1991

En la década del 90, Newcombe & Macdonald (1991) van más allá y definen un índice de estrés, que relaciona tanto la concentración como el tiempo de exposición y proponen el siguiente cuadro de riesgo para algunos taxones (Tabla 3).

**Tabla 3. Efectos de la concentración de sedimentos en suspensión asociados a tiempos de exposición y sus efectos.**

Taxón	Tiempo exposición		Índice de estrés (log(C*D))	Efectos	Referencia
	C	D			
<b>Zooplankton</b>	24	0.15	1.28	Reducción de capacidad de asimilar el alimento, o tasas de asimilación	Fide Newcombe & Macdonald. 1991  McCabe & O'Brien(1983)
<b>Invertebrados bentónicos</b>	16	1400	10.045	Letal, aumento de la tasa de deriva (40 a 60% de tasa de mortalidad)	Fide Newcombe & Macdonald. 1991  Slancyetal. (1977b) Rosnberg & Wiens (1978)
<b>Macro invertebrados</b>	53-92	24	7.462	Letal, reducción del tamaño de la población (0 a 20% de tasa de mortalidad)	Fide Newcombe & Macdonald. 1991  Gammon(1970)
<b>Zoo bentos</b>	>100	672	11.115	Reducción de la biomasa explotable de una pesquería (40 a 60% de tasa de mortalidad)	Fide Newcombe & Macdonald. 1991  Rosenberg and Snow (1977) Fairchild et al., (1987)

Donde C=Concentración en (mg/L) y D = Duración en (horas)

Fuente: Newcombe & Macdonald. 1991

En contraste a los casos anteriores, existen muy pocos antecedentes que relacionen cuantitativamente los sedimentos finos re-suspendidos, sedimentación y sus efectos sobre invertebrados bentónicos (Clapcott *et al.*, 2011). Los antecedentes disponibles acerca del comportamiento de los invertebrados bentónicos muestran que estos predominantemente tienden a aumentar su desplazamiento y derivan ocupando otros espacios y hábitat, lo que implica una disminución de la abundancia a nivel local en respuesta a la sedimentación, lo cual también depende de las distintas preferencias de hábitat de las distintas especies (Ryder 1989; Dunning 1998; Suren y Jowett 2001; Cottam y James 2003; Matthaei *et al.* 2006; Wagenhoff *et al.*, 2012; Ramezani *et al.*, 2014; Piggott *et al.*, 2015b). Existen muy pocos antecedentes que identifiquen valores o umbrales ecológicos de concentración de sedimentos que permitan identificar criterios adecuados para el manejo de sedimentos re-suspendidos (Vondracek *et al.*, 2003).

Sin embargo, debido a que los medios de prueba emanados por parte de la SMA consideran posibles vertimientos de arena sobre el piso marino, se estima relevante enfatizar que se trata de material inerte y no contaminante, por lo tanto no invasivo, y al estar compuesto en su mayor porcentaje por la Fracción Arena gruesa (cuya característica es que sedimenta rápidamente), los efectos sobre el área del proyecto serían locales restringidos al entorno cercano de la concesión, y una porción reducida del borde costero aledaño. Por lo tanto, es extremadamente complejo generalizar y establecer cuáles serían los efectos de la disminución de la transparencia del agua sobre la biota local, ya que no existe una normativa, ni estándares que establezcan los efectos en términos de la duración y frecuencia del material suspendido, y tanto la duración como la frecuencia de la perturbación y suspensión del sedimento son importantes (Newcombe y MacDonald, 1991; Shaw y Richardson, 2001), debido a que existen especies que se ven favorecidas y son capaces de recolonizar otras áreas cuando están en presencia de un evento de suspensión de sedimentos, mientras que otras pueden no recuperarse después de ser expuestas por un periodo a altos niveles de turbidez (Yount y Nimmi, 1990). **Sin embargo, los posibles eventos de vertimiento de arena en el área serían puntuales, de muy corta duración, y acotado al área de la concesión marítima, lo cual en términos ambientales es un efecto catalogable como un impacto no significativo según todos los rangos de tolerancia expuestos en las tablas precedentes.**

Por lo tanto, se deben considerar tanto el grado de suspensión, que en este caso es bajo, debido a la baja boyantes del material que habría sido vertido (arena gruesa), como también la duración de la exposición a la suspensión de sedimentos, ya que el tiempo de faena para verter este tipo de material en el área del proyecto también sería muy corto el período. En este sentido, cuanto más prolongada es la duración y mayor es la exposición, más severos podrían ser los efectos sobre la biota local. Por lo tanto, los menores efectos sobre las especies locales se presentarían si la re-suspensión es de corto periodo, tal como es el presente caso y en la medida que se aumenta la duración de la exposición y la intensidad de la suspensión de sedimentos se podrían generar efectos sub-letales. **Por lo tanto, niveles muy altos de turbidez, por cortos periodos de tiempo pueden no generar impactos significativos (Newcombe y Jensen, 1996).**

Existen antecedentes para el caso de algas bentónicas que establecen que a partir de una concentración de sedimentos en suspensión entre 2-4 mg/L se presentaría una disminución de la biomasa, sin embargo, existen muy pocos estudios que determinen este límite de forma certera (Wilson et al., 1999).

En el caso de algas rojas, una concentración de 5000 mg/L durante un periodo de 21 días produciría la reducción de la productividad primaria (Thirb y Benson-Evans 1985). Sin embargo, para nuestras costas no existe una normativa y valores de referencia local para las distintas especies, y si comparamos los tiempos de vertimiento y tiempo de suspensión de sedimentos estos son muy acotados y por debajo de los valores precedentes.

#### **4. CONCLUSIÓN**

A partir de los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas, es posible establecer que las descargas de sedimento que se imputan en el área del proyecto tendrían efectos locales y con un gran porcentaje de sedimentación del material en torno a la concesión y el centro de cultivo, y un menor porcentaje cerca de la costa aledaña a dicha concesión.

Los resultados muestran que las concentraciones de sedimento en suspensión en la columna de agua serían muy bajas en todas las condiciones oceanográficas y periodos simulados, debido a las características del material que habría sido vertido, pues la arena gruesa presenta una mayor tasa de sedimentación.

A partir de las condiciones dinámicas evaluadas en el sector de emplazamiento del proyecto, se estimó un área de influencia de la sedimentación de los sedimentos que varío entre 0,52 km<sup>2</sup> (simulación 1), 0,41 km<sup>2</sup> en la simulación 2, a 0,65 km<sup>2</sup> en el caso de la simulación 3, y de 0,43 km<sup>2</sup> en la simulación 4, lo que reafirma que el efecto es local.

A partir de las simulaciones de los escenarios más desfavorables efectuados bajo un criterio precautorio, se puede concluir que las posibles descargas de sedimento no generarían impacto significativo, lo cual se respalda con la hidrodinámica del canal, sumado a que la fracción dominante (arena gruesa) sedimentará en un corto periodo debido a ser partículas más pesadas, con una tasa de sedimentación mayor, lo que explica las bajas concentraciones en suspensión de las distintas simulaciones, que están por debajo de los umbrales definidos como letales según bibliografía.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada R., 1989 Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile central: una hipótesis. *Biología Pesquera (Chile)* 18:53-66.
- Arcos D, s Núñez & A Acuña., 1996. Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile central): identificación y dinámica de áreas de retención larval. *Gayana Oceanología (Chile)* 4: 21-58.
- Blott, S. y Pye, K., 2001. Gradstat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237–1248.
- Cheng Y., Andersen O. B. 2010. Improvement in global ocean tide model in shallow water regions. Poster, SV.1-68 45, OSTST, Lisbon, Oct.18-22 ([ftp://ftp.space.dtu.dk/pub/DTU10/DTU10\\_TIDEMODEL](ftp://ftp.space.dtu.dk/pub/DTU10/DTU10_TIDEMODEL)).
- Csanady, G.T., 1973. Wind-induced barotropic motion in long lakes. *Journal of Physical Oceanography* 3, 429–438.
- DHI (2015). MIKE 3D Model FM, User Guide, Danish Hydraulics Software.
- Dingman., J. S y Bedford, K.W. 1986. Skill Tests and Parametric Statistics for Model Evaluation. *Journal of Hydraulic Engineering* 112, 124-140.
- European Inland Fisheries Advisory Commission. 1964 (EIFAC). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on Finely Divided Solids and Inland Fisheries. European Inland Fisheries Advisory Commission. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. EIFAC/1. 21p.
- Fischer, H.B., 1976. Mixing and dispersion in estuaries. *Annual Review of Fluid Mechanics* 8, 107–133.
- Folk, R. y Ward, W. 1957. Brazos river bar, a study in the significance of grain-size parameters. *J. Sediment.Petrol.* 27: 3-27.

- Fonseca, T. & M. Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Invest. Pesq. (Chile)*, 34: 34-46.
- Figueroa, D. y Moffat, C. 2000. On the influence of topography in the induction of coastal upwelling along the Chilean Coast. *Geophysical Research Letters* 27: doi: 10.1029/1999GL011302. issn: 0094-8276.
- Fairchild, J. F., T. Boyle, W. R. English, and C. Rabeni. 1987. Effects of sediment and contaminated sediment on structural and functional components of experimental stream ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution* 36:271-293.
- Gammon, J. R. 1970. The effect of inorganic sediment on stream biota. U.S. Environmental Protection Agency, Water Pollution Control Research Series 18050 DWC 12/70. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Hearn, C.J., Hunter, J.R., Heron, M.L., 1987. The effects of a deep channel on the wind-induced flushing of a shallow bay or harbor. *Journal of Geophysical Research* 92, 3913–3924.
- Lloyd, D. S. 1985. Turbidity in freshwater habitats of Alaska: a review of published and unpublished literature relevant to the use of turbidity as a water quality standard. Alaska Department of Fish and Game, Habitat Division, Report 85, Part 1, Juneau.
- Kirk, J. T. O. 1985. Effects of suspensoids (turbidity) on penetration of solar radiation in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, 125: 195–208.
- Newcombe, C. P., Y J. O. T. Jensen. 1996. "Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact". *North American Journal of Fisheries Management*. 16: 693-727.
- C. P. Newcombe & D. D. Macdonald. 1991. Effects of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems, *North American Journal of Fisheries Management*, 11:1,72-82, DOI: 10.1577/1548-8675(1991)011<0072:EOSSOA>2.3.CO;2.
- McCabe, G. D., and W. J. O'Brien. 1983. The effects of suspended silt on the feeding and reproduction of *Daphnia pulex*. *American Midland Naturalist* 110:324-337.
- Rosenberg, D. M., and N. B. Snow. 1977. A design for environmental impact studies with special reference to sedimentation in aquatic systems of the Mackenzie and Porcupine river drainages. Pages 65-78 in *Proceedings of the Circumpolar Conference on Northern Ecology*. National Research Council, Ottawa.
- Vondracek, Bruce, Julie K. H. Zimmerman, and John V. Westra, 2003. Setting an Effective TMDL: Sediment Loading and Effects of Suspended Sediment on Fish. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 39(5):1005-1015.
- Morgan, R. P. II, Rasin, V. J. Jr & Noe, L. A. 1973 Hydrographic and ecological effects of enlargement of the Chesapeake and Delaware Canal. Appendix XI: Effects of suspended sediments on the development of eggs and larvae of striped bass and white perch. University of Maryland National Research Institute Ref. 73-110, 15 pp.+6 figs.
- Rosenberg, D. M., and N. B. Snow. 1977. A design for environmental impact studies with special reference to sedimentation in aquatic systems of the Mackenzie and Porcupine river

drainages. Pages 65-78 in Proceedings of the Circumpolar Conference on Northern Ecology. National Research Council, Ottawa.

- Rosenberg, D. M., and A. P. Wiens. 1978. Effects of sedimentation on macrobenthic invertebrates in a northern Canadian river. *Water Research* 12:753-763.
- Robertson, M. 1957. The effects of suspended material on the productive rate of *Daphnia magna*. *Publications of the Institute of Marine Science, University of Texas* 4:265-277.
- Slaney, P. A., T. G. Halsey, and A. F. Tautz. 1977b. Effects of forest harvesting practices on spawning habitats of stream salmonids in the Centennial Creek water shed. *British Columbia Ministry of Environment, Fisheries Management Report 73, Fish and Wildlife Branch, Vancouver.*
- Shaw, E. A., and J. S. Richardson. 2001. Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58:2213-2221.
- Signell, R.P., Beardsley, R.C., Grabor, H.C., Capotondi, A., 1990. Effect of wave-current interaction on wind-driven circulation in narrow, shallow embayments. *Journal of Geophysical Research* 95, 9671-9678.
- Thirb, H.H. and K.Benson-Evans. 1985. The effect of suspended solids on the growth of apical tips of gametophyte plants of *Lemanea* and on carpospore germination and subsequent colonization. *Archives of Hydrobiology*. 103:409-417.
- Taylor, K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, 106, 7183-7192, (<http://www.pcmdi.llnl.gov/publications/ab55.html>).
- Valle-Levinson, A., W. Schneider , M. Sobarzo, M. Bello, L. Bravo, M. Castillo, L. Duarte, R. Fuenzalida , J. Gallegos, J. Garcés-Vargas, J. Gonzalez, D. Gutierrez, C. Molinet, M.S. Navarro, J. Pierini, E. Rodríguez-Rubio, A. Valdenegro, L. Vera, L. Centeno. 2004. Observations of wind-induced exchange at the entrance to an equatorward facing embayment. *Deep-Sea Research II*, Vol 51/20-21: 2371-2388.
- Walsh, J. J., 1981. Shelf sea ecosystem. In *Analysis of Marine Ecosystems*, A. R Lanhurst, ed. Academic Press, New York, 158-196.
- Wentworth, c.k. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Geol.*, 30: 377-392.
- Waters, T.F., 1995. *Sediment in Streams: Sources, Biological Effects, and Control*. American Fisheries Society Monograph.
- Wilson, K.P., J.P. Shannon, and D.W. Blinn. 1999. Effects of suspended sediment on the biomass and cell morphology of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Colorado River, Arizona. *Journal of Phycology*. 35:35-41.
- Yount, J.D. and G.J. Niemi. 1990. Recovery of lotic communities and ecosystems from disturbance - A narrative review of case studies. *Environmental Management*. 14:547-569.
- Valdenegro, A., & N. Silva, 2003. Características oceanográficas físicas y químicas de la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el estrecho de Magallanes y cabo de Hornos (CIMAR 3 Fiordos). *Cienc. Tecnol.. Mar*, 26 (2): 19-60.
- Fierro J., 2006. Onda de marea en canales y fiordos australes. *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso N. Silva & S. Palma (eds.), pp. 63-66.

- Salinas, S., M. Contreras & J. Fierro. 2004. Propagación de la onda de marea en el estrecho de Magallanes. *Cienc. Tecnol. Mar*, 27(2): 5-20.
- Panella, S., A. Michellato, R. Perdicaro, G. Magazzu, F. Decembrini & P. Scarazzato. 1991. A Preliminary contribution to understanding the hydrological characteristics of the Strait of Magellan: Austral Spring 1989. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 9(2-3): 107-126.



## Anexo 3



PUERTO MONTT, Diciembre 15 de 2020

Srta.:  
Claudia Vásquez  
**Nova Austral S.A.**

REF.: Entrega de informe

De mi consideración:

Junto con saludar, mediante el presente correo, adjuntamos y hacemos entrega de la siguiente información:

-Monitoreo interno Aracena 14. OT 3089

Le saluda atentamente,

Christian Haeger Figueroa  
Gerente General  
GEOGAMA

Incl.: Digital.

## FICHA TÉCNICA MONITOREO INTERNO

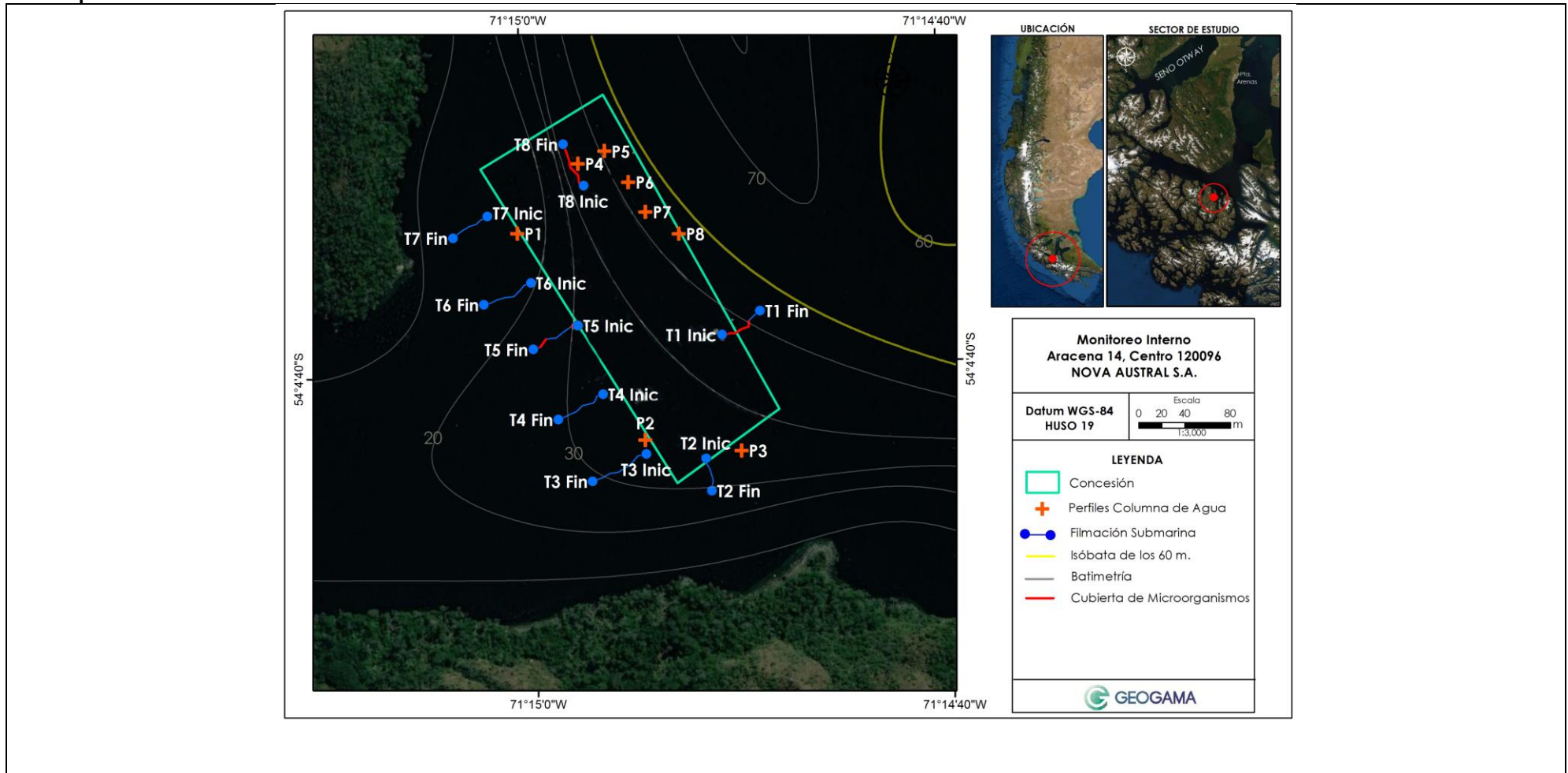
Titular	Nova Austral S.A.
Sector	Caleta Sholl, Isla Capitán Aracena
Código	120096

Tipo de Monitoreo	Monitoreo interno
Fecha de muestreo	24 de noviembre de 2020
Condición	Anaeróbica

### 1.- Variables analizadas

Sedimentos Marinos y/o Límnicos	--	Profundidad	x	Filmación Submarina	x
Registro pH	--	Registro Potencial Redox (ORP)	--		
Registro T°C	--	Perfiles Columna de Agua (O <sub>2</sub> , % saturación, psu, T°C)	x		

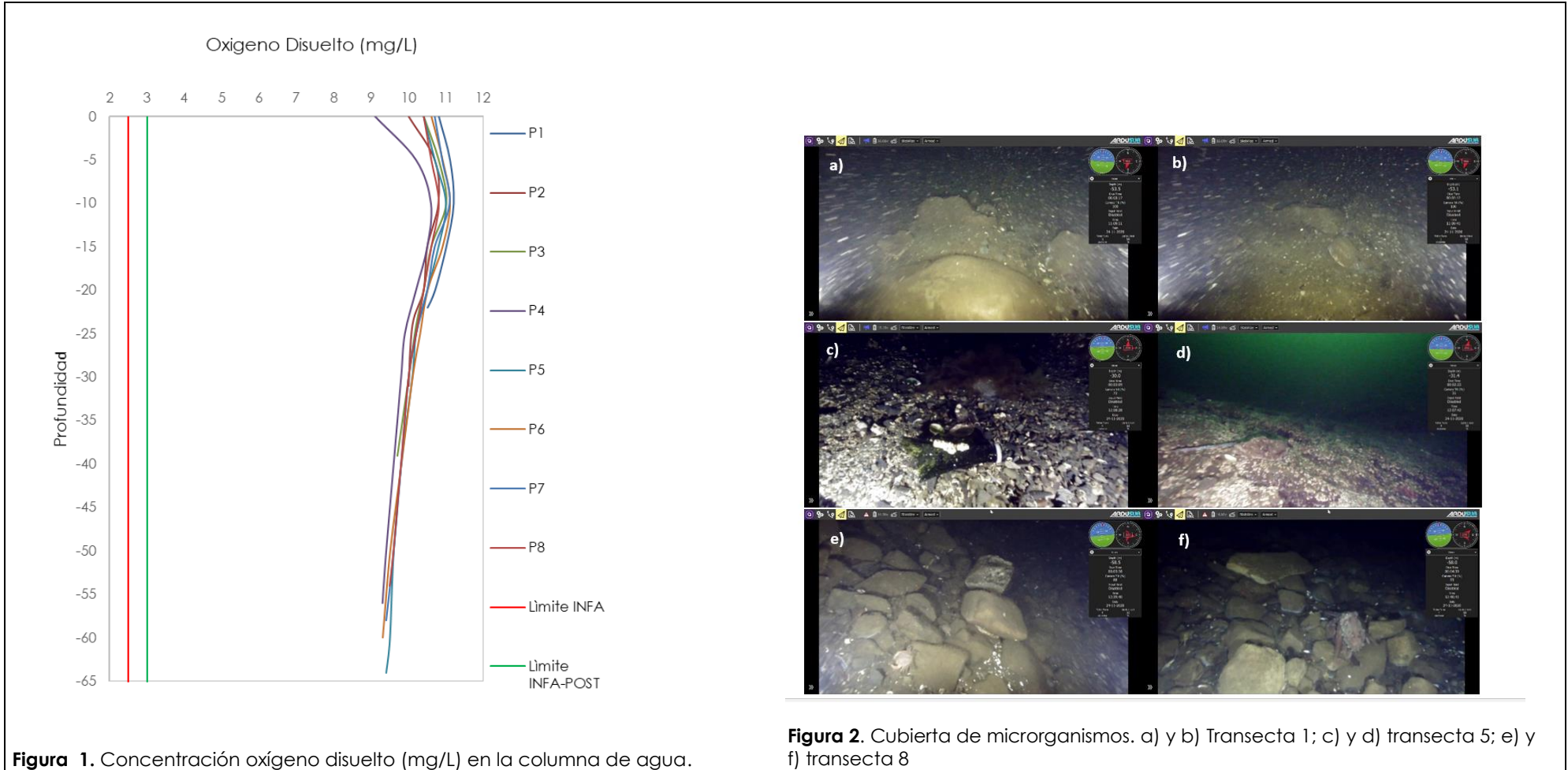
### 2.- Mapa de muestreo



FICHA TÉCNICA MONITOREO INTERNO

**3.-Resultados**

Categoría	4 y 5	Observaciones
Condición	Anaeróbico	Oxígeno disuelto mayor a lo establecido por la Res. Ex. 3612/09 para condiciones aeróbicas y post-anaeróbicas Cubierta de microorganismos en 3 de las 8 transectas de filmación (T1, T5 y T8).



**5.-Metodología**

Resolución Exenta N° 3612/2009, Que Fija las metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA) y Resolución Exenta N° 660/2018 Modifica Resolución N° 3612, de 2009. Ministerio Economía Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca.

**INFORME DE ENSAYO**  
**OT 3089/2020**  
(DP-030-A E10, julio 2020)

**1. INFORMACIÓN DEL TITULAR**

Titular:	Nova Austral S.A
RUT:	96.892.540-7
Dirección:	Av. Presidente Carlos Ibáñez del Campo, Punta Arenas
At. Sr:	Javier Herrera
e-mail:	<a href="mailto:javier.herrera@novaaustral.cl">javier.herrera@novaaustral.cl</a>
Fono:	061-2294100

**2. INFORMACIÓN DEL MUESTREO**

Procedencia:	Canal sin Nombre, al Norte de Caleta Sholl, Isla Capitán Aracena
Código de Centro:	120096
Tipo de monitoreo:	Monitoreo Interno
Muestreador:	Cristian Serón y Jaime Vasquez
Fecha Muestreo:	24/11/2020
Fecha de recepción de Videos:	06/12/2020
Observaciones:	Muestreo realizado por GAMA Chile Ltda.

**3. DATOS TOMADOS EN TERRENO**

<u>Sedimentos Marinos y/o Límnicos</u>	x	<u>Filmación Submarina</u>	x
<u>Registro pH</u>	-	<u>Profundidad</u>	x
<u>Registro T°C</u>	-	<u>Registro Potencial Redox (ORP)</u>	-
<u>Perfiles Columna de Agua (O2, % saturación, psu, T°C)</u>			x

**4. METODOLOGÍAS**

Resolución Exenta N° 3612/2009<sup>1</sup>, que fija las metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA)<sup>1</sup>.

**5. FECHA DE EMISIÓN INFORME: 11/12/2020**

**6. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO**

Cielo parcialmente nublado con vientos de 5 a 7 nudos.

**7. CONTROL DE CAMBIOS**

Versión	Fechas de Aprobación	Equipo Analista	Aprobado por:	Motivo (o motivo del cambio)
1.0	14/12/2020	Nadja Bello	M. Valenzuela	Creación de informe

<sup>1</sup> Resolución Exenta N° 3612/2009 del Reglamento Ambiental para la Acuicultura DS N° 320/2001, Ministerio Economía Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca.

## 8. RESULTADOS

### ○ ÁREA DE ESTUDIO

*Coordenadas Geográficas y en UTM de la Filmación Submarina (Datum WGS 84, Huso 19).*

TRANSECTA	COORDENADAS					PROFUNDIDAD	HORA MUESTREO	FECHA
	UTM		GEOGRÁFICAS					
	ESTE	NORTE	LATITUD	LONGITUD				
1	INICIO	352972	4005517	54° 04' 39.10" S	77° 14' 50.50" W	52	11:04	24/11/2020
	FINAL	353005	4005538	54° 04' 38.45" S	77° 14' 48.65" W	59	11:20	24/11/2020
2	INICIO	352958	4005409	54° 04' 42.57" S	77° 14' 51.46" W	31	11:23	24/11/2020
	FINAL	352963	4005381	54° 04' 43.48" S	77° 14' 51.24" W	20	11:31	24/11/2020
3	INICIO	352906	4005413	54° 04' 42.39" S	77° 14' 54.32" W	35	11:34	24/11/2020
	FINAL	352859	4005389	54° 04' 43.12" S	77° 14' 56.94" W	34	11:46	24/11/2020
4	INICIO	352868	4005465	54° 04' 40.67" S	77° 14' 56.31" W	37	11:48	24/11/2020
	FINAL	352829	4005443	54° 04' 41.34" S	77° 14' 58.50" W	29	12:02	24/11/2020
5	INICIO	352846	4005525	54° 04' 38.71" S	77° 14' 57.42" W	33	12:04	24/11/2020
	FINAL	352807	4005504	54° 04' 39.35" S	77° 14' 59.60" W	20	12:15	24/11/2020
6	INICIO	352805	4005562	54° 04' 37.47" S	77° 14' 59.61" W	23	12:18	24/11/2020
	FINAL	352764	4005543	54° 04' 38.04" S	77° 15' 01.90" W	20	12:25	24/11/2020
7	INICIO	352767	4005620	54° 04' 35.56" S	77° 15' 01.60" W	23	12:27	24/11/2020
	FINAL	352737	4005601	54° 04' 36.14" S	77° 15' 03.28" W	20	12:33	24/11/2020
8	INICIO	352851	4005647	54° 04' 34.77" S	77° 14' 56.93" W	57	12:34	24/11/2020
	FINAL	352833	4005683	54° 04' 33.59" S	77° 14' 57.86" W	59	12:49	24/11/2020
PERFIL 1		352793	4005605	54° 04' 36.07" S	77° 15' 00.19" W	23,5	12:57:31	24/11/2020
PERFIL 2		352905	4005425	54° 04' 42.00" S	77° 14' 54.35" W	31,6	13:05:58	24/11/2020
PERFIL 3		352989	4005416	54° 04' 42.38" S	77° 14' 49.75" W	40,1	13:15:01	24/11/2020
PERFIL 4		352846	4005666	54° 04' 34.15" S	77° 14' 57.17" W	57,5	13:25:05	24/11/2020
PERFIL 5		352869	4005677	54° 04' 33.82" S	77° 14' 55.89" W	65,1	13:35:07	24/11/2020
PERFIL 6		352890	4005650	54° 04' 34.71" S	77° 14' 54.78" W	61,2	13:44:46	24/11/2020
PERFIL 7		352905	4005624	54° 04' 35.57" S	77° 14' 54.00" W	58,9	13:55:30	24/11/2020
PERFIL 8		352934	4005605	54° 04' 36.21" S	77° 14' 52.44" W	55,1	14:05:01	24/11/2020

○ **REGISTRO VISUAL**

Visibilidad	Regular
Iluminación	Regular
Calidad de la imagen	Regular
Dirección	Sí
Profundímetro	Sí

Tabla 1 Registro megabentos del centro Aracena 14, código 120096

PHYLUM	CLASE/FAMILIA/GENERO/NOMBRE CIENTÍFICO	NÚMERO INDIVIDUOS OBSERVADOS								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
Cnidaria	Actiniidae	-	-	-	-	-	-	-	1	
	<i>Metridium sp.</i>	>50	-	-	-	-	-	-	-	
Annelida	Chaetopteridae	-	-	>50	>50	-	-	>50	-	
Mollusca	Volutidae	-	-	1	-	-	-	-	-	
	Cephalopoda	-	-	-	-	-	-	-	1	
Arthropoda	<i>Eurypodius latreillei</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Cancer spp.</i>	1	-	-	-	-	-	-	7	
	<i>Pagurus spp.</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	
	<i>Munida sp.</i>	-	-	-	-	-	>50	-	-	
Echinodermata	<i>Cosmasterias lurida</i>	4	21	24	10	30	20	5	1	
	<i>Arbacia dufrasnii</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	
	Ophiuroidea	-	-	1	-	-	-	-	-	
Brachiopoda	Terebratellidae	1	-	-	-	-	>50	-	-	
Chordata	<i>Patagonotothen spp.</i>	5	1	2	2	2	1	-	4	
Presencia de microorganismos o burbujas de gas:		11:08:42-11:09:18/ 11:09:46-11:10:10/ 11:12:19-11:13:10/ 11:15:54	No	No	No	No	12:07:42/ 12:08:29	No	No	Presente en toda la transecta
Tipo de sustrato:		Duro	Mixto	Mixto	Mixto	Mixto	Mixto	Mixto	Mixto	

\*T= Transecta

Observaciones: Fondo de carácter principalmente mixto con gran presencia de conchilla, sedimento fino y bolones de gran tamaño.

## 9. ANÁLISIS DE LA COLUMNA DE AGUA

PERFIL 1	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	12:57:31	13:03:16	P1	4	23,5

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,8	8,5	30,4	116
2	5	11,1	7,9	30,8	117
3	10	11,2	7,6	30,9	118
4	15	11,0	7,4	31,0	115
5	20	10,7	7,1	31,2	112
6	Z-1	10,5	7,1	31,2	110

PERFIL 2	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	13:05:58	13:12:08	P2	4	31,6

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,0	8,1	30,9	107
2	5	10,7	7,9	30,8	114
3	10	10,8	7,5	31,0	114
4	15	10,5	7,4	31,2	111
5	20	10,4	7,2	31,2	109
6	25	10,1	7,1	31,3	106
7	Z-1	10,0	7,0	31,5	105

PERFIL 3	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	13:15:01	13:21:44	P3	4	40,1

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,4	8,3	30,3	111
2	5	10,8	8,0	30,9	115
3	10	11,0	7,5	31,0	115
4	15	10,6	7,3	31,2	112
5	20	10,4	7,2	31,3	109
6	25	10,2	7,1	31,4	107
7	30	10,0	7,0	31,5	105
8	Z-1	9,7	6,9	31,6	101



PERFIL 4	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	13:25:05	13:33:56	P4	4	57,5

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	9,1	7,6	31,3	97
2	5	10,2	8,1	30,8	109
3	10	10,6	7,6	31,0	112
4	15	10,5	7,4	31,2	110
5	20	10,2	7,2	31,4	107
6	25	9,9	7,1	31,4	104
7	30	9,8	7,0	31,5	102
8	40	9,6	7,0	31,5	100
9	50	9,4	6,9	31,6	98
10	Z-1	9,3	6,9	31,6	97

PERFIL 5	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	13:35:07	13:42:35	P5	5	65,1

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,4	8,4	30,4	111
2	5	10,7	8,1	30,8	114
3	10	11,0	7,6	31,0	116
4	15	10,8	7,3	31,2	113
5	20	10,5	7,1	31,3	110
6	25	10,2	7,1	31,4	106
7	30	10,1	7,0	31,5	105
8	40	9,8	7,0	31,5	102
9	50	9,6	6,9	31,5	100
10	60	9,5	6,9	31,6	99
11	Z-1	9,4	6,9	31,6	98

PERFIL 6	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	13:44:46	13:53:16	P6	5	61,2

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,6	8,4	30,5	114
2	5	10,9	8,1	30,8	116
3	10	11,1	7,6	31,1	117
4	15	10,9	7,3	31,3	114
5	20	10,5	7,1	31,4	110
6	25	10,3	7,1	31,4	107
7	30	10,1	7,0	31,5	105
8	40	9,8	7,0	31,5	102
9	50	9,5	6,9	31,6	99
10	Z-1	9,3	6,9	31,6	97

PERFIL 7	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	13:55:30	14:03:26	P7	4	58,9

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,7	8,5	30,4	115
2	5	10,9	8,1	30,8	117
3	10	11,1	7,6	31,0	117
4	15	10,7	7,3	31,2	113
5	20	10,5	7,1	31,3	110
6	25	10,2	7,1	31,4	107
7	30	10,0	7,0	31,5	105
8	40	9,8	6,9	31,5	102
9	50	9,6	6,9	31,6	100
10	Z-1	9,4	6,9	31,6	98

PERFIL 8	Fecha muestreo	Hora Inicio	Hora Termino	Estación	Categoría	Profundidad
	24/11/2020	14:05:01	14:13:05	P8	4	55,1

CAPA	PROFUNDIDAD (m)	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (PSU)	PORCENTAJE DE SATURACIÓN (%)
1	0	10,4	8,4	29,3	111
2	5	10,6	8,0	30,8	113
3	10	10,8	7,5	31,0	114
4	15	10,6	7,3	31,2	111
5	20	10,4	7,2	31,3	109
6	25	10,2	7,1	31,4	107
7	30	10,0	7,0	31,5	105
8	40	9,8	7,0	31,5	102
9	50	9,6	6,9	31,6	100
10	Z-1	9,5	6,9	31,6	99

Variables	Marca Equipo	Modelo Equipo	Resolución Equipo	Precisión Equipo	Fecha última calibración
Temperatura (°C)	Sea Bird	SBE 19plus V2	0,0001	0,005	16/09/2018
Oxígeno disuelto (mg/L)	Sea Bird	SBE 43	0,00025	0,025	16/09/2018
Salinidad (psu)	Sea Bird	SBE 19plus V2	0,00005	0,0005	16/09/2018

## 10. INCERTIDUMBRE

DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN	INCERTIDUMBRE	FABRICANTE	CERTIFICADO POR:
CTD SBE	1283	0,0001 (°C) / 0,00025 (mg/L) / 0,00005 (psu)	SAIV A/S	SAIV A/S

*Los resultados de este informe solo están relacionados a los análisis ensayados y la(s) información(s) proporcionada(s) por el cliente  
El presente informe de ensayo no debe ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación de GAMA CHILE  
Galvarino Rivero 678; Fono 67-5273133; Puerto Aysén.*

## 11. ANALISIS Y MUESTREO

Análisis y muestreo realizados según Resolución Exenta 3612/2009 DE SUBSECRETARIA DE PESCA<sup>2</sup>.



**Nadja Bello Azocar**  
Jefe de Laboratorio  
GAMA CHILE LIMITADA



**Francisco Olivera Maturana**  
Gerente Técnico  
GAMA CHILE LIMITADA

---

### <sup>2</sup>REFERENCIAS

2009. Fauna Marina Bentónica de la Patagonia Chilena. Guía de identificación ilustrada, Nature in Focus 1ª Edición, Chile. 1000 pp.

2010. Caracterización de Condiciones Ambientales Centros de Cultivo Categoría 4, Región de Aysén. Núcleo Acuicultura, Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Patagonia – CIEP. 157 pp.

*Los resultados de este informe solo están relacionados a los análisis ensayados y la(s) información(s) proporcionada(s) por el cliente  
El presente informe de ensayo no debe ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación de GAMA CHILE  
Galvarino Rivero 678; Fono 67-5273133; Puerto Aysén.*

Link de descarga filmaciones submarinas

<https://wetransfer.com/downloads/d8dbae5b98f396e414411fa2c69c385820201211194239/f5cd3bf110adbc010e179a5d2f86c27920201211194315/33f427>