

**De:** [REDACTED]**Enviado:** jueves, 13 de febrero de 2025 15:53**Para:** Oficina De Partes [REDACTED]**Cc:** Juan Pablo Oviedo Stegmann [REDACTED]; José Luis Fuenzalida [REDACTED]**Asunto:** Re: Presentación Rol D-137-2023

Estimados, junto con saludar conforme a lo requerido, se adjunta el documento que fue omitido por error en la presentación.

Saludos

El jue, 13 feb 2025 a las 9:58, Oficina De Partes (<[REDACTED]>) escribió:

Estimado titular: Junto con saludar, respecto a su presentación de fecha 07 de febrero de 2025, cabe hacer presente que se menciona el documento **Estudio “Efecto ambiental recuperación de estructuras de cultivo hundidas de Centro Caicura” Centro de Ecología Aplicada, Febrero 2025**. Dicho documento resulta esencial para resolver el PDC refundido presentado en el sancionatorio D-137-2023, por lo que se solicita remitirlo a esta Superintendencia a la brevedad.

Sin otro particular, se despide atentamente.

□

---

**Eliana Fischman****Directora**

VERGARA GALINDO CORREA  
ABOGADOS



Badajoz 45, Piso 8  
Las condes  
Santiago de Chile  
Teléfono: (56) 2 22368077  
[www.vcabogados.cl](http://www.vcabogados.cl) - [vCard](#)

*La información contenida en este email es estrictamente confidencial y está dirigida exclusivamente a él/los destinatarios indicados. Cualquier uso, reproducción, divulgación o distribución está estrictamente prohibida. Si ha recibido esta comunicación por error, por favor bórrela y notifique inmediatamente a VGC Abogados a través de [REDACTED] o al [REDACTED]*

*The information contained in this message is strictly confidential and is intended solely for the use of the named recipient. Its use, reproduction, distribution or disclosure is strictly prohibited. If you have received this information in error, please delete it and notify VGC Abogados [REDACTED]*

[Responder](#)

[Reenviar](#)



# CEA

CENTRO  
ECOLOGÍA  
APLICADA

## Efecto ambiental recuperación de estructuras de cultivo hundidas de Centro Caicura

Minuta Técnica

**Blumar SeaFoods**

Febrero 2025



## Efecto ambiental recuperación de estructuras de cultivo hundidas de Centro Caicura

Minuta Técnica

Blumar SeaFoods

Febrero 2025

Blumar SeaFoods



Control del documento			
Versión	Fecha	Elaborado por	Aprobado por
0	16-12-2024	Marcelo Saavedra	Pablo Lagos Salamanca
1	17-01-2025	Marcelo Saavedra	Pablo Lagos Salamanca
2	30-01-2025	Marcelo Saavedra	Pablo Lagos Salamanca
3	03-02-2025	Marcelo Saavedra	Pablo Lagos Salamanca

**INDICE GENERAL**

1	INTRODUCCIÓN .....	5
2	OBJETIVOS .....	5
2.1	Objetivo general.....	5
2.2	Objetivos específicos.....	6
3	MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
3.1	Área de estudio .....	6
3.2	Revisión de antecedentes .....	7
4	RESULTADOS.....	9
4.1	Afectación a sistema marino por aumento de materia orgánica (Objetivo Específico 1)...	9
4.2	Presencia de nuevas estructuras en fondo marino (Objetivo Específico 2) .....	12
4.3	Efectos potenciales derivados de reflotamiento. Incerteza por probable afectación (Objetivo Específico 3) .....	13
4.4	Monitoreo adaptativo para control de inocuidad (Objetivo Específico 4) .....	14
4.5	Evaluación de riesgos asociados a faenas de recuperación de infraestructura hundida (Objetivo Específico 5) .....	15
5	CONCLUSIÓN .....	19
6	REFERENCIAS .....	21

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1	Ubicación relativa del área de estudios (zona achurado amarillo). CES Caicura.....	7
Figura 2	Maniobra de rescate planificada de jaulas siniestradas (Fuente: Estudio OXXEAN). .....	17

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1	Coordenadas de vértices del CES Caicura referidas al plano DPC-211 (Datum WGS 84, HUSO 18). .....	7
---------	---	---

## 1 INTRODUCCIÓN

A solicitud de Blumar SeaFoods el Centro de Ecología Aplicada S.A. ha elaborado la presente minuta técnica que da cuenta de la revisión de los antecedentes bibliográficos asociados a estudios efectuados en el Seno de Reloncaví, correspondientes a estudios de monitoreos efectuados por el centro i-Mar de la Universidad de Los Lagos desde julio de 2020, en conformidad al Plan de la Autoridad Marítima; con motivo del hundimiento del CES Caicura en las inmediaciones de los islotes Caicura. Estos antecedentes fueron complementados con información bibliográfica asociada a potenciales efectos sobre el medio ambiente derivados de situaciones o condiciones relativamente análogas vinculadas a hundimientos de embarcaciones o estructuras marítimas.

Del análisis de los resultados del Plan de Monitoreo Ambiental, desarrollado desde 2020 a 2024, se constató en un comienzo la manifestación de efectos respeto de componentes ambientales, más estos fueron acotados en magnitud, duración y extensión, no persistiendo dichos efectos a la fecha. Así, si bien se observaron aumentos en la concentración de nutrientes en la columna de agua y en sedimentos, dichos aumentos en los factores químicos no generaron efectos sobre otros componentes de interés y que podrían generar situaciones, tales como afectación al fitoplancton y/o proliferación de eventos FAN. Asimismo, la columna de agua y los sedimentos se han encontrado desde el origen de los monitoreos a la fecha, en condición aeróbica, cumpliendo con los límites de aceptabilidad establecidos en la Res. Ex. N°3612/2009 de SUBPESCA. De la misma manera, durante la vigencia de las medidas urgentes y transitorias dictadas por la SMA durante el procedimiento de fiscalización, se constató que en ningún momento se alcanzaron los umbrales de alerta temprana fijados por la Autoridad.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Revisar las hipótesis derivadas del plan de acción orientado a evaluar el rescate y levante de las estructuras hundidas del CES Caicura.

## 2.2 Objetivos específicos

- 2.2.1 Caracterizar afectación del sistema marino ante el aporte de carga orgánica ocurrido cuatro años atrás.
- 2.2.2 Evaluar potencial de generación de nuevos ambientes derivados de la presencia de nuevas estructuras sólidas susceptibles de ser colonizadas.
- 2.2.3 Evaluar y ponderar grado de incertezas asociadas a proceso de extracción y potenciales efectos sobre el sistema natural.
- 2.2.4 Evaluar enfoque adaptativo de monitoreo de componentes ambientales necesarios para el control de inocuidad de las nuevas condiciones del sustrato marino en el sitio de hundimiento.
- 2.2.5 Evaluar antecedentes bibliográficos asociados a riesgos derivados de operación de reflotamiento y recuperación de infraestructura hundida.

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Área de estudio

La Figura 1 muestra el sector del siniestro de los módulos que conformaban el CES Caicura y su ubicación relativa dentro del Seno de Reloncaví, localizado al suroeste de los Islotes Caicura. La Tabla 1 presenta las coordenadas geográficas de la antigua ubicación del CES Caicura.

En esta zona se han llevado a cabo distintos estudios orientados a la caracterización del entorno afectado directa e indirectamente por el hundimiento del CES Caicura.



Figura 1 Ubicación relativa del área de estudios (zona achurado amarillo). CES Caicura.

Tabla 1 Coordenadas de vértices del CES Caicura referidas al plano DPC-211 (Datum WGS 84, HUSO 18).

VÉRTICE	Coordenadas Geográficas	
	Latitud S	Longitud W
A	41°44'48,87"	72°42'44,89"
B	41°44'56,84"	72°42'34,86"
C	41°45'02,97"	72°42'44,60"

### 3.2 Revisión de antecedentes

Los antecedentes bibliográficos revisados dicen relación con los potenciales efectos derivados de una carga masiva de materia orgánica al sistema marino (columna de agua y matriz sedimentaria), como consecuencia del colapso y posterior hundimiento de las balsas jaulas de engorda que conformaban el CES Caicura, producto de condiciones extremas de mal tiempo que afectaron el sector del Seno de Reloncaví en junio de 2020.

Adicionalmente se tuvo a la vista estudios de monitoreo posteriores desarrollados en la zona del siniestro, orientados al seguimiento y control de los componentes abióticos y biológicos, desde el hundimiento de los módulos de engorda en junio de 2020 hasta la fecha.

De acuerdo con los últimos resultados obtenidos (Etapa VII) por el centro i-mar de la Universidad de Los Lagos, cuyo propósito es monitorear las características físico-químicas-biológicas en el sitio del hundimiento del Centro de cultivo de salmones Caicura ubicado al sureste del Seno Reloncaví.

Los registros de aproximadamente siete años de la serie de tiempo de OMARE en la Boya oceanográfica (Estación C3), ha posibilitado entender la dinámica hidrográfica y química del Seno Reloncaví. Los perfiles verticales-temporales de la temperatura y la salinidad del agua destacan la influencia del ciclo anual en los datos, registrándose las temperaturas más cálidas y las más frescas durante la primavera y el verano de cada año. Por otro lado, durante el invierno disminuye la radiación solar y la capa superficial se enfriá y la salinidad aumenta. Ambos procesos ocurren en los primeros 25 metros de la columna de agua. Debajo de esta capa y hasta el fondo la temperatura del agua no es tan fría como se esperaba debido a la advección de aguas oceánicas que han estado en contacto con la superficie en el Océano Pacífico adyacente a la Patagonia norte (Pérez-Santos et al., 2021). En esta capa profunda se destacó la presencia del Agua Subantártica (Salinidad entre 33 y 33.8) y el Agua Subantártica Modificada (Salinidad 31 y 33), evidenciando el intercambio que tiene esta región con el océano. En los últimos años desde finales de 2022 inicio 2024, la columna de agua ha estado más fría.

El análisis cualitativo de las muestras de fitoplancton colectadas a través de arrastres verticales (0-20 m) utilizando una red de 20  $\mu\text{m}$  evidenció gran variabilidad y diversidad fitoplanctónica durante las 38 campañas realizadas entre agosto de 2020 y febrero de 2024. Una diversidad máxima de 70 especies fue registrada hacia finales de 2020. Durante 2023, la variabilidad temporal mostró un patrón similar al observado en años previos (2021 y 2022) donde se evidenció una reducción importante de la diversidad durante el periodo de invierno llegando a valores de 19 especies en junio de 2023. Por su parte, a partir de julio de 2023 aumentó la diversidad fitoplanctónica a valores cercanos a 50 especies, dominado principalmente por diatomeas. Durante verano de 2024 la diversidad total no superó las 50 especies, siempre dominada por diatomeas.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de sistema marino por aumento de materia orgánica (Objetivo Específico 1)

El aumento de biomasa producto de mortalidades masivas tiene implicancias en los flujos de materia y energía de los sistemas naturales donde tal fenómeno ocurre, reconociéndose efectos de corto y largo plazo. Dado que tales eventos son de ocurrencia esporádica, la literatura no da cuenta de manera extensiva e intensiva respecto de sus efectos sobre los sistemas naturales. Aun así, en sistemas acuáticos se reconocen efectos asociados al aumento de algunos compuestos derivados de la degradación del tejido animal (compuestos nitrogenados, como amonio), condiciones de estrés de oxígeno, así como el aumento de nutrientes liberados al medio.

Desde la ocurrencia del siniestro que significó el colapso de 16 de las 18 jaulas que configuraban el CES Caicura producto de condiciones extremas de mal tiempo en 2020, se han llevado a cabo distintos y numerosos estudios con el objeto de evaluar los potenciales efectos derivados de la carga masiva de materia orgánica al medio marino circundante a la ubicación original del CES Caicura.

El último informe desarrollado al respecto da cuenta de los resultados del muestreo y caracterización de la columna de agua, sedimentos y ensambles planctónicos en la zona del hundimiento, como así también en sectores de control y alejados del sitio del siniestro (i-Mar 2024).

De acuerdo con los antecedentes levantados en este documento se constata la inexistencia de particularidades o anomalías respecto del comportamiento de los parámetros abióticos muestreados en columna de agua y sedimentos del área de interés. Dichos parámetros no presentan alteraciones en sus patrones de variación que puedan ser atribuibles al aumento masivo de materia orgánica derivado del hundimiento del módulo de engorda del CES Caicura. Por lo tanto, no se observan efectos en las condiciones ambientales del área que puedan asociarse directamente a este evento.

Así, por ejemplo, las concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) y saturación de oxígeno (%) reportadas en el área de estudio muestran valores similares al promedio histórico medido en el Seno de Reloncaví, alcanzando en el estrato superficial valores entre 10-12 mg/L, 100-130%; mientras que en los estratos de fondo los registros levantados variaron entre 5-6 mg/L y 60-70%, respectivamente. En ningún caso los datos colectados en columna de agua mostraron eventos de hipoxia o mínimos de oxígeno que significaran un riesgo para el sistema.

Por otra parte, a partir de filmaciones submarinas efectuadas en septiembre de 2024 en el sitio de hundimiento del módulo de engorda del CES Caicura, se verificó la ausencia de mortalidades tanto en los restos del naufragio como en su entorno, confirmando la degradación progresiva de la materia orgánica incorporada de forma masiva al sistema cuatro años atrás. Tal degradación es consecuencia principalmente por la acción de mecanismos biológicos (alimentación de especies depredadoras y carroñeras presentes sobre y en el sustrato de fondo). Aun cuando se mantienen amplios márgenes de incertezas respecto del efecto e importancia de cadáveres en ambientes acuáticos (Baruzzi *et al.* 2018, McDowell & Sousa 2019), sí se sabe que un cadáver libera al medio una cantidad de recursos que, durante el proceso vital de organismos, no están disponibles, los que son aprovechados por otros organismos (consumidores primarios como especies carroñeras). De esta forma, un aumento de biomasa derivado de un evento masivo de mortalidad tendría como efecto de corto plazo un aumento de consumidores primarios en cuanto a abundancia y diversidad, redundando este proceso en una recirculación eficiente de otros recursos en la trama trófica del sistema natural receptor de tal biomasa. Por otra parte, atendiendo la teoría de poblaciones, el aumento de tales consumidores primarios generaría un aumento de predadores de tales consumidores afectando la eficiencia y velocidad de la circulación de nutrientes hacia la trama trófica del sistema natural (Baruzzi *et al.* 2018).

Así, a partir de los últimos estudios desarrollados en las inmediaciones del lugar del siniestro, se infiere que la biomasa incorporada de manera masiva al sistema marino cercano al sitio de hundimiento del CES Caicura ha sido degradada e incorporada a los flujos de materia y energía de este ecosistema marino de profundidad, quedando como material residual aquellos materiales e infraestructura de origen antrópico de más difícil degradación (ej. Estructuras metálicas y plásticas, redes y cabos de distinto calibre y longitud) (Ultrasea 2024).

A mayor abundamiento, se realizó un muestreo durante septiembre de 2024 ejecutado por el centro i-mar de la Universidad de Los Lagos sobre la columna de agua y sedimentos marinos. De esta manera se caracterizaron los parámetros físicos, químicos y biológicos de la columna del agua desde la superficie hasta el fondo y se consideró el determinar las características químicas de los sedimentos marinos, así como la diversidad y abundancia de quistes de resistencia de dinoflagelados con énfasis en especies tóxicas.

De los resultados obtenidos, se pudo concluir que las condiciones hidrográficas mostraron un patrón normal caracterizado de la estación del año (fines de invierno), caracterizado por temperaturas superficiales entre 9.5° C y 11.2° C y la presencia de una inversión térmica.

El análisis de zooplancton evidenció que los copépodos fueron el grupo más abundante en todos los sectores lo cual puede considerarse como una característica normal ya que este grupo es tradicionalmente el más abundante del mesozooplancton en zona costeras. Este grupo representa la mayor parte del mesozooplancton quitinoso herbívoro. Otros grupos zooplantónicos también muy abundantes correspondieron a los estadios de desarrollo de eufáusidos tales como los caliptopis y furcilia.

La caracterización de la composición granulométrica indicó que casi todas las estaciones están compuestas predominantemente por sedimento muy fino, como arena y limo. En general, el porcentaje de materia orgánica (M.O) fue baja en todas las estaciones con un valor un promedio de 0.08%. Mientras, la estación con mayor porcentaje de M.O fue la Blu-7, con un 0.16%.

El análisis de las muestras de sedimento colectadas en las 15 estaciones de muestreo visitadas permitió evidenciar una gran diversidad de quistes de dinoflagelados, dominados principalmente por especies del género *Protoperidinium*.

Otros géneros que también fueron registrados corresponden a *Protoceratium*, *Lingulodinium*, *Nematosphaeropsis*, *Spiniferites*, *Biecheleria*, *Pentapharsodinium*, *Scrippsiella*, *Selenopemphix*, *Archaeoperidinium*, *Niea*, *Echinidinium*, *Preperidinium*, *Diplopsalopsis* y *Polykrikos*.

Se logró identificar 41 tipos distintos de quistes, 30 de los cuales fueron identificados a nivel de especie. Los quistes de dinoflagelados fueron registrados en todas las estaciones de muestreo, con abundancias que fluctuaron entre 3086 y 14683 quistes/cm. Esta abundancia máxima fue registrada en la estación C3 (Boya) localizada en el centro del Seno de Reloncaví. La proporción de quistes vacíos fue ampliamente superior a la de quistes llenos, los cuales son potencialmente viables. La estación que presentó el mayor porcentaje de quistes llenos correspondió al control norte (BLU-CN). Dentro del grupo de las especies nocivas, se registró la presencia de *Protoceratium reticulatum* y *Lingulodinium polyedrum*, ambas asociadas a la producción de yesotoxinas.

A partir de los resultados de los informes revisados se reconoció una gran homogeneidad respecto de la composición de los ensambles de quistes reconocidos, tanto en aquellos sectores localizados

en las cercanías del sitio del hundimiento del CES Caicura, como en los sectores definidos como controles norte, sur y sector Boya; dado cuenta de una gran estabilidad de la matriz sedimentaria presente en la zona de interés como en sectores distantes de la zona de hundimiento.

#### 4.2 Presencia de nuevas estructuras en fondo marino (Objetivo Específico 2)

En ecología, la hipótesis de heterogeneidad de hábitat representa una de las ideas fundamentales (Simpson 1949, MacArthur & Wilson 1967, Lack, 1969), donde se asume que hábitats estructuralmente más complejos proveerían una mayor cantidad de nichos y una mayor oferta de mecanismos para el uso de los recursos que ofrece el ambiente, redundando en una mayor diversidad de especies (Bazzaz 1975). Por otra parte, hay que señalar que arrecifes artificiales corresponden a estructuras de fabricación humana que son dispuestos en ambientes acuáticos para servir como hábitat o refugio de organismos (Vivier et al. 2021). Aunque inicialmente la instalación de estas estructuras tenía un objetivo intencionado hacia la atracción de peces, su implementación en profundidades más someras, imitando arrecifes naturales, también están orientadas a la protección, regeneración, concentración y fortalecimiento de poblaciones de organismos marinos (Guillen et al., 1994; Hunter and Sayer, 2009; Walles et al., 2016).

Gran parte de la literatura que aborda temas asociados a arrecifes artificiales da cuenta de estructuras que son depositadas en el sustrato marino de manera intencional con distintos objetivos, tanto recreativos, de protección y gestión, así como científicos (Ceccaldi et al 2011). Por el contrario, el efecto que tienen como arrecifes artificiales estructuras que han sucumbido a condiciones de distinta naturaleza, ya sea de origen natural o de origen antrópico, son abordadas con menor frecuencia. La naturaleza y el tipo de estructuras que son abandonadas intencional o azarosamente varían significativamente respecto de su tamaño, composición, forma, ubicación, densidad, edad, potencial contaminante y tiempo de residencia en los ambientes naturales. Algunas de estas estructuras pueden ser benéficas para algunas especies y dañinas para otras, adicionalmente estas estructuras pueden afectar interacciones interespecíficas, favorecer invasiones biológicas o configurar ecosistemas nuevos (Connell & Glasby 1999, Manzotti et al. 2020, Mercader et al. 2019, Palmer et al. 2010).

Como se señaló previamente la complejidad de ambientes está asociada a efectos positivos sobre la riqueza, abundancia, biomasa y estructura trófica de ensambles de ictiofauna, por ejemplo, donde

estos sistemas proveen de protección, refugio y nuevas áreas de forrajeo para algunos de los estadios de desarrollo de ciertas especies (Beukers & Jones 1998, Böhm & Hoeksema, 2017, Brandl et al. 2018, Cowman et al. 2017, Darling et al. 2017, Rilov & Benayahu 2000). Al respecto se ha observado que arrecifes artificiales conformados por naufragios de embarcaciones tendrían un efecto positivo respecto de la diversidad de especies, pero a escala local, no así a mayor escala (Medeiros et al 2021). Incluso a gran profundidad algunos autores reconocen el efecto positivo que este tipo de estructuras tendrían sobre el entorno inmediato al sitio de localización de tales estructuras, estructurando microbiomas cuyo alcance respecto de presencia e interacciones de distintas especies podría alcanzar un centenar de metros. Aunque este efecto positivo sobre la biogeografía se ha reconocido para macroorganismos, no está claro qué efectos tendrían estas estructuras, localizadas en el lecho marino, sobre microrganismos (Hamdan et al 2021).

Así, considerando que el lecho marino donde están localizados los restos del módulo de engorda del CES Caicura, se caracterizan por poseer una estructura homogénea en términos granulométricos y de su relieve superficial (i-Mar 2024, UltraSea 2024), se espera que la estructura siniestrada potencialmente podría servir de hábitat, susceptible de ser colonizado por diversas especies de invertebrados e ictiofauna.

#### **4.3 Efectos potenciales derivados de reflotamiento. Incertezza por probable afectación (Objetivo Específico 3)**

En párrafos anteriores se señaló que uno de efectos ocurridos en el medio marino afectado por el hundimiento del módulo de engorda del CES Caicura correspondió a la incorporación masiva al sistema acuático de materia orgánica producto de la mortalidad de peces contenidos en las jaulas de engorda siniestradas. A cuatro años de transcurridos los hechos y a la luz de los estudios llevados a cabo entre 2020 a 2024 (i-Mar 2024, UltraSea 2024), los parámetros analizados y los registros visuales levantados en el área de lecho marino donde están localizados las partes y estructuras hundidas, dan cuenta de un proceso de homogenización y estabilización del comportamiento de los parámetros monitoreados con sectores alejados del sitio del naufragio.

Asimismo, los estudios llevados a cabo confirman el embancamiento parcial de parte de la infraestructura siniestrada, sin que se hayan observado desplazamientos respecto de observaciones

anteriores a 2024 (UltraSea 2024). Tal condición supone que estos restos han sido objeto de procesos de estabilización y fijación al lecho marino, los que, con el paso del tiempo, podrían aumentar sus atributos de inmovilidad en el actual sitio de localización.

Existen altas probabilidades que los esfuerzos orientados al rescate y reflotamiento de parte o la totalidad de la infraestructura hundida muy probablemente generará procesos de resuspensión de sedimentos cuyos efectos y alcances espaciales no están claros. Este fenómeno podría implicar la reincorporación al sistema acuático de materia orgánica y otros elementos presentes en dichos sedimentos, lo cual podría tener efectos sobre la calidad del agua y el ecosistema circundante.

Considerando el alto grado de estabilidad y homogenización que actualmente representa el conjunto de estructuras y a la incorporación progresiva de estos elementos exógenos en el nuevo estado de equilibrio del área focalizada del sistema del lecho profundo del Seno de Reloncaví, resulta altamente recomendable evaluar la alternativa de mantener estas estructuras sumergidas. Esta opción podría ser viable considerando la adaptación del ecosistema a su presencia y la minimización de efectos adicionales asociados a su remoción.

#### **4.4 Monitoreo adaptativo para control de inocuidad (Objetivo Específico 4)**

Producto de la complejidad operativa que supondrán los esfuerzos técnicos y humanos para el reflotamiento de la totalidad del módulo de engorda siniestrado y considerando el alto grado de estabilidad y homogeneidad de las nuevas estructuras depositadas sobre el lecho marino, se debería considerar y establecer un diseño de muestreo adaptativo, es decir, susceptible de ser ajustado y modificado de acuerdo a condiciones que modifiquen el actual estado de localización de la infraestructura siniestrada.

Los componentes ambientales por considerar debiesen ser equivalentes a los monitoreados hasta la fecha, es decir, parámetros químicos en columna de agua y sedimentos, así como la caracterización de componentes biológicos críticos (ensambles de fito y zooplancton, así como ensambles bentónicos).

La frecuencia de estos muestreos debiese estar supeditada a las labores de rescate definidas, así como a la escala de los procesos y componentes que se monitorearán.

#### 4.5 Evaluación de riesgos asociados a faenas de recuperación de infraestructura hundida (Objetivo Específico 5)

Antecedentes bibliográficos que reporten experiencias de rescate y reflotamiento de infraestructuras marítimas, distintas a buques, son virtualmente inexistentes. La mayor cantidad de estudios, reportes o informes técnicos que cubran este tipo de faenas de rescate, así como sus riesgos y criterios operacionales asociados, están referidos a buques naufragados en distintas partes del mundo. Respecto de los criterios más frecuentes considerados al momento de tomar la decisión de reflotar y rescatar o no un naufragio de alguna embarcación siniestrada, Whittington et al (2017), señalan que se evalúan principalmente 2 tipos de riesgos: el peligro que el naufragio potencialmente tiene para la navegación y el peligro que el naufragio y sus contaminantes asociados puedan tener sobre el medio ambiente local y/o sobre actividades socio-económicas sensibles. Subordinados a estos riesgos principales, se consideran otros aspectos como la distancia del naufragio respecto de la costa, la profundidad a la que se encuentran los restos, el tipo y cantidad de los contaminantes, así como la accesibilidad para poder recuperar los elementos contaminantes (Whittington et al. 2017).

Sobre esto, se elabora la siguiente matriz de efectos asociados a la recuperación de las estructuras de cultivo comparado con dejar las estructuras en el sitio de hundimiento:

EFECTO	Opciones de salvataje	
	Remoción y reflotamiento completo	Sin acciones de reflotamiento y rescate
Resuspensión de material particulado	↑	↔
Resuspensión de materia orgánica	↑	↔
Resuspensión de metales	↑	↔
Resuspensión de quistes planctónicos	↑	↔
Peligro para navegación	↔	↔
Peligro para cetáceos o mamíferos mayores	↔	↔
Generación de microbiomas	↔	↑
Contaminación potencial de agua por acciones de salvataje	↑	↔
Contaminación potencial de sedimento por acciones de salvataje	↑	↔
Afectación potencial de AMERB's	↔	↔

Simbología:

- ↑ Aumento puntual
- ↔ Disminución
- ↔ Sin efecto previsto

En función de la profundidad a la que se encuentran las estructuras de cultivo, aproximadamente 300 metros, así como la composición granulométrica, cuyos resultados indican predominantemente sedimento muy fino, como arena y limo, se establece que la recuperación de las estructuras de cultivo generarían resuspensión de sedimentos y un aumento de material particulado, aumento de materia orgánica, de potenciales metales y de potenciales quistes planctónicos, principalmente del grupo de dinoflagelados.

De acuerdo con el documento “Prueba de Terreno – Recuperación de Restos Náufragos Centro Caicura” preparado por la empresa OXXEAN, la maniobra implica en una primera etapa el uso de ROV para mapear los restos e identificar puntos de enganche y/o conexión para facilitar el posicionamiento del cable de izaje proveniente del winche apoyo.

Como las estructuras se encuentran actualmente embancadas, el simple enganche e izaje de las estructuras generará resuspensión de los sedimentos creando una nube cuya duración y extensión dependerá de las condiciones oceanográficas imperantes al momento de la recuperación.

De acuerdo con la empresa OXXEAN, se podría recuperar una o dos balsas jaula tomando entre 3-4 horas hasta llegar a la superficie, dado que las estructuras se encuentran a una profundidad considerable (300 m). Es decir, la recuperación de las estructuras no generaría un solo evento de resuspensión de sedimentos, sino varios eventos de resuspensión de sedimentos en función de las condiciones de izaje. De igual forma, dado que la maniobra de levante e izaje es lenta, por temas de seguridad, se producirá un efecto de “lavado” de las estructuras conforme ascienden por la columna de agua. Esta misma acción, podría potencialmente generar un desmembramiento de las estructuras y una nueva dispersión sobre un área mayor. La Figura 2 muestra esquemáticamente la maniobra propuesta por OXXEAN.

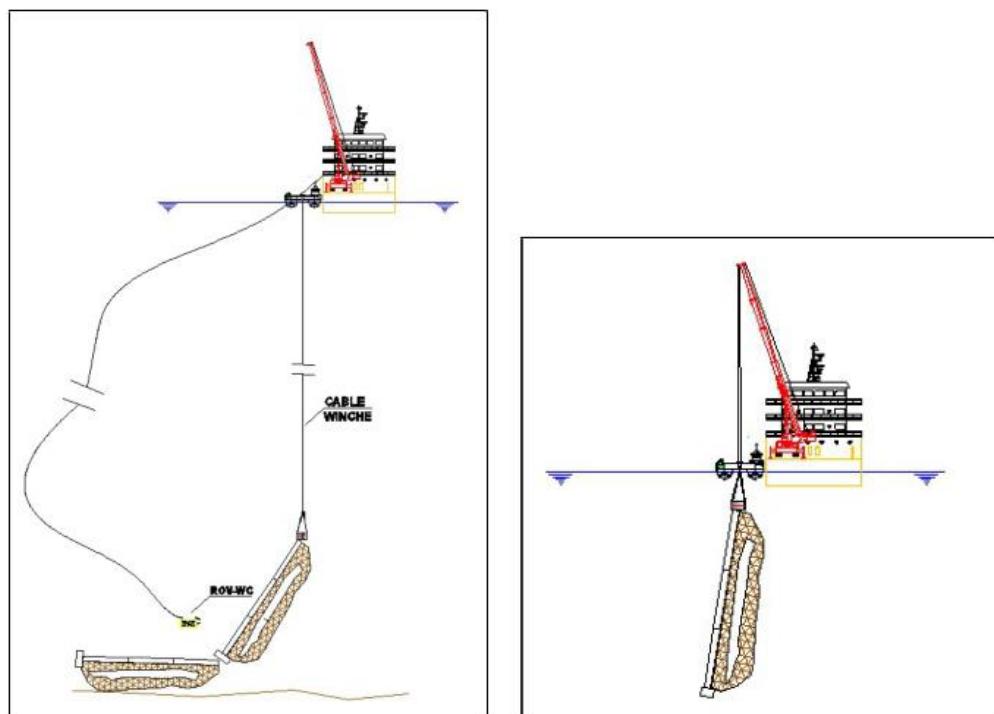


Figura 2 Maniobra de rescate planificada de jaulas siniestradas (Fuente: Estudio OXXEAN).

Se recomienda particularmente prestar atención al estudio de quistes realizado por el Centro i-mar cuyos resultados indican que el análisis de las muestras de sedimento colectadas en las 15 estaciones de muestreo visitadas permitió evidenciar una gran diversidad de quistes de dinoflagelados, dominados principalmente por especies del género *Protoperidinium*. Los quistes de dinoflagelados fueron registrados en todas las estaciones de muestreo, con abundancias que fluctuaron entre 3086 y 14683 quistes/cm<sup>3</sup>. De acuerdo con Kremp (2001), la resuspensión sería ventajoso para el inicio de floraciones de algunas especies asociado a condiciones oceanográficas favorables.

Los monitoreos realizados por el Centro i-mar de la Universidad de Los Lagos, así como la última prospección visual de las estructuras hundidas realizado por Ultrasea (2024) establecen que existe una estabilidad en la ubicación de las estructuras en el tiempo, reportando las siguientes conclusiones:

- Biomasa: No se observa biomasa ni sedimento en la zona de siniestro y área circundante.
- Estructura: Debido al tipo de suelo (fangoso), las estructuras siniestradas se encuentran embancadas. No se observa desplazamiento respecto a inspecciones anteriores.
- Fauna marina: Se observa variedad de peces en zona de módulo siniestrado y área circundante.

Dado el proceso de estabilización y embancamiento progresivo que ha mostrado el módulo de engorda siniestrado, se recomienda mantener las estructuras ya embancadas o que se encuentran depositadas y que han permitido la presencia de fauna marina en sus inmediaciones.

Respecto de otros riesgos, como la seguridad de navegación, así como para mamíferos mayores, la profundidad del hundimiento de aprox. 300 m descarta efectos o riesgos, así como el embancamiento observado, lo que indica que, con el paso del tiempo, probablemente las estructuras pasen a formar parte del sedimento quedando eventualmente tapadas.

Sobre esto, el Convenio Internacional de Nairobi sobre la Remoción de Restos de Naufragio (2007), si bien, asociado a buques hundidos o varados, o bien referido a todo objeto que haya caído al mar desde estos, establece que para determinar si constituyen riesgo, se deberían considerar: Tipo, tamaño y construcción de los restos de naufragio, profundidad del agua en la zona, zonas marinas sensibles, proximidad a rutas de navegación, densidad y frecuencia del tráfico, tipo de tráfico, presencia de hidrocarburos, entre otras. La materialidad de las estructuras de cultivo está diseñada

para su permanencia en el mar y a las condiciones químicas del agua de mar, y no contienen sustancias potencialmente contaminantes como hidrocarburos.

Por su parte, la presencia de las estructuras de cultivo en la profundidad indicada (300 m), la distancia a la costa, y los resultados de los monitoreos realizados en los últimos cuatro años, permiten descartar efectos sobre las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y sobre otras áreas de interés del sector pesquero artesanal.

## 5 CONCLUSIÓN

La principal afectación tras el colapso del módulo de engorda del CES Caicura estuvo asociada a la incorporación masiva de materia orgánica al sistema acuático marino producto de la mortalidad de peces atrapados en las balsas jaulas.

Después de cuatro años de ocurrido el incidente y considerando los estudios más recientes efectuados en la zona del siniestro, se constató que actualmente la caracterización abiótica monitoreada en la columna de agua y matriz sedimentaria del sitio de localización en el lecho marino presenta patrones de comportamiento de los parámetros evaluados homologables a zonas alejadas del sitio de hundimiento y definidas como sectores control. Esto indica que, tras este período, las condiciones ambientales en el área afectada han alcanzado un estado de equilibrio comparable al de zonas no impactadas.

Estos resultados son congruentes con el levantamiento de registros audiovisuales del lecho marino de las inmediaciones al sitio de localización de la infraestructura hundida, reconociéndose por un lado la ausencia de indicios que supongan la presencia de cadáveres de peces en las balsas jaulas y, por otro, reconociéndose la presencia de especies de ictiofauna típicas de la zona en las cercanías de los despojos siniestrados del CES Caicura.

Tomando en cuenta el alto grado de homogeneidad del sustrato marino a gran profundidad, se considera que la incorporación del naufragio del CES Caicura en este sistema profundo de relieve uniforme podría significar un elemento susceptible de ser colonizado por algunas especies de macroorganismos, estructurando un microbioma que potencialmente podría resultar beneficioso

para algunas especies de organismos, promoviendo localmente y de manera restringida una mayor diversidad de especies en las inmediaciones del naufragio.

Dado el proceso de estabilización y embancamiento progresivo que ha mostrado el módulo de engorda siniestrado, se recomienda mantener las estructuras ya embancadas o que se encuentran depositadas y que han permitido la presencia de fauna marina en sus inmediaciones.

La caracterización de la composición granulométrica indicó que casi todas las estaciones están compuestas predominantemente por sedimento muy fino, como arena y limo, y como fue mencionado, se registró la presencia de quistes de dinoflagelados en todas las estaciones de muestreo, tanto en la zona de hundimiento de las estructuras de cultivo, así como en las estaciones control. La proporción de quistes vacíos fue ampliamente superior a la de quistes llenos, los cuales son potencialmente viables. La estación que presentó el mayor porcentaje de quistes llenos correspondió al control norte. Dentro del grupo de las especies nocivas, se registró la presencia de *Protoceratium reticulatum* y *Lingulodinium polyedrum*, ambas asociadas a la producción de yesotoxinas, que se caracterizan por producir intoxicación con un cuadro gastrointestinal.

Se considera positivo diseñar un programa de monitoreo que se ajuste al seguimiento del eventual proceso sucesional que podría transformar estas estructuras siniestradas en uno o varios microbiomas particulares y no descritos en el país. Promoviendo local y de manera restringida el asentamiento, colonización y desarrollo de una variedad de especies en las inmediaciones del sitio del naufragio.

De esta forma, y en base a los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la columna del agua desde la superficie hasta el fondo y los resultados químicos y granulométricos de los sedimentos marinos, así como la diversidad y abundancia de quistes de resistencia de dinoflagelados, el sistema da cuenta de estabilidad en el marco de las condiciones hidrodinámicas del sector con variaciones naturales asociados a la estacionalidad, por lo que es recomendable evitar nuevas alteraciones que puedan provocar potenciales efectos negativos sobre las comunidades biológicas del entorno, manteniendo las estructuras en el sector del hundimiento y estableciendo en coordinación con la Autoridad monitoreos adaptativos que den cuenta del estado ambiental del sector.

## 6 REFERENCIAS

- BARUZZI C., D. MASON, B. BARTON & M. LASHLEY. (2018). Effects of increasing carrion biomass on food webs. *Food Webs* 16. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2018.e00096>.
- BAZZAZ, F.A. (1975) Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois. *Ecology*, 56, 485–488.
- BEUKERS, J. S., & JONES, G. P. (1998). Habitat complexity modifies the impact of piscivores on a coral reef fish population. *Oecologia*, 114(1), 50–59. <https://doi.org/10.1007/s004420050419>
- BÖHM, T., & HOEKSEMA, B. W. (2017). Habitat selection of the coral-dwelling spinyhead blenny, *Acanthemblemaria spinosa*, at Curaçao, Dutch Caribbean. *Marine Biodiversity*, 47(1), 17– 25. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0543-9>
- BRANDL, S. J., GOATLEY, C. H. R., BELLWOOD, D. R., & TORNABENE, L. (2018). The hidden half: Ecology and evolution of cryptobenthic fishes on coral reefs. *Biological Reviews*, 93(4), 1846– 1873. <https://doi.org/10.1111/brv.12423>
- CONFERENCIA INTERNACIONAL sobre la remoción de restos de naufragios (2007). Nairobi, 14-18 mayo 2007. [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima\\_mercante/normativa-maritima/convenios/12\\_Convenio\\_Nairobi\\_2007.pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/convenios/12_Convenio_Nairobi_2007.pdf)
- CONNELL, S. D., & GLASBY, T. M. (1999). Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. *Marine Environmental Research*, 47, 373 – 387.
- COWMAN, P. F., PARRAVICINI, V., KULBICKI, M., & FLOETER, S. R. (2017). The biogeography of tropical reef fishes: Endemism and provinciality through time. *Biological Reviews*, 92(4), 2112– 2130. <https://doi.org/10.1111/brv.12323>
- DARLING, E. S., GRAHAM, N. A. J., JANUCHOWSKI- HARTLEY, F. A., NASH, K. L., PRATCHETT, M. S., & WILSON, S. K. (2017). Relationships between structural complexity, coral traits, and reef fish assemblages. *Coral Reefs*, 36(2), 561– 575. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1539-z>
- GUILLEN, J.E., RAMOS, A.A., MARTINEZ, L., LIZASO, J.L.S., (1994). Antitrawling reefs and the protection of *Posidonia oceanica* (L.) delile meadows in the western mediterranean sea: demand and aims. *Bull. Mar. Sci.* 55, 6.
- HAMDAN L.J., J.J. HAMPEL, R.D. MOSELEY, R.L. MUGGE, A. RAY, J.L. SALERNO & M. DAMOUR (2021) Deep-sea shipwrecks represent island-like ecosystems for marine microbiomes. *The ISME Journal* 15: 2883-2891. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00978-y>

HUNTER, W.R., SAYER, M.D.J., (2009). The comparative effects of habitat complexity on faunal assemblages of northern temperate artificial and natural reefs. *ICES J. Mar. Sci.* 66, 691–698. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp058>

i-MAR. (2024). Monitoreo Ambiental en Centro de Cultivo Caicura de Salmones BLUMER: Informe Técnico. Universidad de Los Lagos. 46 p.

KREMP, A. (2001). Effects of cyst resuspension on germination and seeding of two bloom-forming dinoflagellates in the Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 216: 57–66.

LACK, D. (1969) The numbers of bird species on islands. *Bird Study*, 16, 193–209.

MACARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. (1967) The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton.

McDOWELL W.G. & R. SOUSA. (2019). Mass Mortality Events of Invasive Freshwater Bivalves: Current Understanding and Potential Directions for Future Research. *Front. Ecol. Evol.* 7:331. doi: 10.3389/fevo.2019.00331.

MANZOTTI, A. R., CENEVIVA- BASTOS, M., TERESA, F. B., & CASATTI, L. (2020). Short- term response of fish assemblages to instream habitat restoration in heavily impacted streams. *Neotropical Ichthyology*, 18(1), 1 – 2 0 . <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2019-0052>.

MERCADER, M., BLAZY, C., DI PANE, J., DEVISSI, C., MERCIÈRE, A., CHEMINÉE, A., THIRIET, P., PASTOR, J., CREC'HRIOU, R., VERDOIT- JARRAYA, M., & LENFANT, P. (2019). Is artificial habitat diversity a key to restoring nurseries for juvenile coastal fish? Ex situ experiments on habitat selection and survival of juvenile seabreams. *Restoration Ecology*, 27(5), 1155– 1165. <https://doi.org/10.1111/rec.12948>.

PALMER, M. A., MENNINGER, H. L., & BERNHARDT, E. (2010). River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: A failure of theory or practice? *Freshwater Biology*, 55(1), 205– 222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02372.x>

RILOV, G., & BENAYAHU, Y. (2000). Fish assemblage on natural versus vertical artificial reefs: The rehabilitation perspective. *Marine Biology*, 136(5), 931–942. <https://doi.org/10.1007/s002279900250>

SIMPSON, E.H. (1949) Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.

ULTRASEA (2024). Prospección de fondo. Centro Caicura. Informe Técnico. 26 p.

VIVIER B, J.C. DAUVIN, M. NAVON, A. RUSSIG, I. MUSSIO, F. ORVAIN, M. BOUTOUIL & P. CLAQUIN (2021). Marine artificial reefs, a meta-analysis of their design, objectives and effectiveness. *Global Ecology and Conservation* 27. e01538.

WALLES, B., TROOST, K., VAN DEN ENDE, D., NIEUWHOOF, S., SMAAL, A.C., YSEBAERT, T., (2016). From artificial structures to self-sustaining oyster reefs. *J. Sea Res.* 108, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.11.007>.

WHITTINGTON M., A. ZHANG & D. CAMPION (2017). To Remove or Not to Remove? Dealing with pollution risks from ship wrecks. 2017 INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE. 21 p.