



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES

IMPORTANCIA DEL MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN UNA APE PILOTO, COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Habilitación presentada para optar al título de
Ingeniero Ambiental

GONZALO IGNACIO SEPÚLVEDA MONROY

Profesor Guía: Dr. Cristián Vargas

Profesor Co-guía: Dra. Luisa Saavedra

Concepción, Chile

2022



**“Importancia del monitoreo de variables ambientales en una APE pilo,
como medida de adaptación al cambio climático”**

PROFESOR GUÍA: Dr. CRISTAN VARGAS GÁLVEZ

PROFESOR CO- GUÍA: Dra. LUISA SAAVEDRA LÖWENBERGER

PROFESOR COMISIÓN: Dra. EVELYN HABIT CONEJEROS

PROFESOR COMISIÓN: Dra. MARCELA SALGADO VARGAS

CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, mayo 2022

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	viii
1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	1
1.1 Cambio climático	1
1.2 Sector de acuicultura en Chile	2
1.3 Acuicultura de Pequeña Escala (APE)	5
1.4 Variables ambientales asociadas a la acuicultura de bivalvos	7
1.5 Aumento del CO ₂ y efectos del cambio climático en la acuicultura de bivalvos	9
1.6 Adaptación al cambio climático	11
1.7 Monitoreo ambiental como medida de adaptación al cambio climático	13
2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN ..	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
4. METODOLOGÍA	18
4.1 Área de estudio	18
4.2 Biología de la especie de cultivo: la ostra japonesa (<i>Crassostrea gigas</i>)	19
4.3 Metodología para lograr los objetivos	20
4.3.1 Caracterización de la bahía	21
4.3.2 Conocimiento local	21
4.3.3 Selección y priorización de variables ambientales para construir un modelo biológico	23

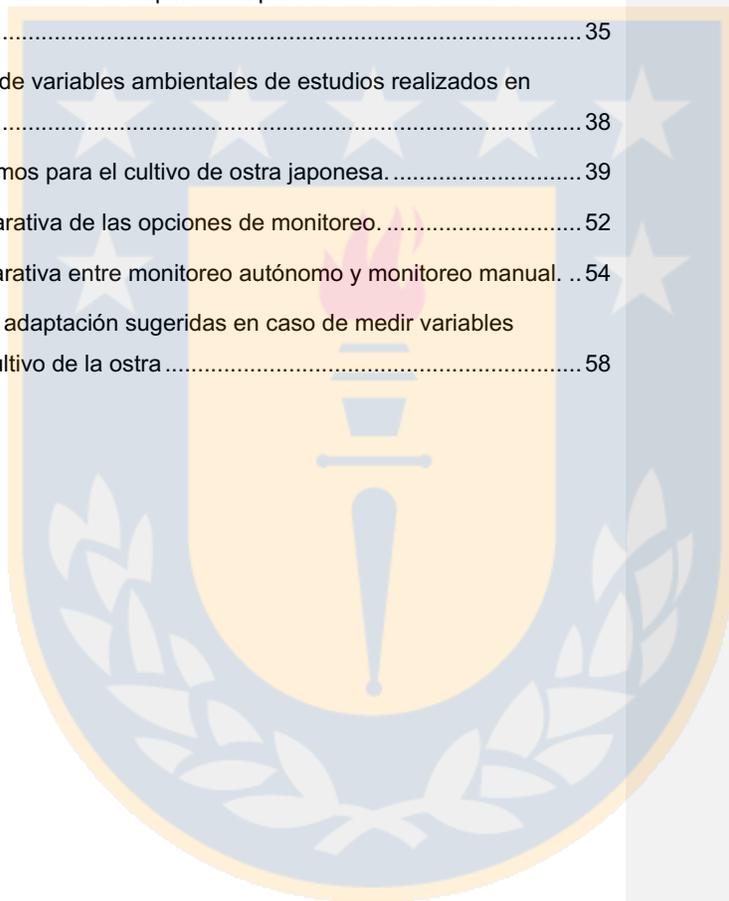
4.3.4 Diseño de la propuesta de monitoreo ambiental para APE piloto	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Caracterización de la bahía	26
5.2 Conocimiento local.....	32
5.3 Variables de importancia para bivalvos	35
5.4 Priorización de las variables para <i>Crassostrea gigas</i>	39
5.5 Modelo biológico	44
5.6 Diseño del sistema de monitoreo.....	47
5.7 Selección del sistema de monitoreo	54
6. CONCLUSIONES	59
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
8. ANEXOS	71
ANEXO 1. Diseño de la entrevista.....	71
ANEXO 2. Información detallada de cada opción de monitoreo.....	75
ANEXO 3. Estudios analizados para lograr la caracterización de la zona	81
ANEXO 4. Estudios analizados para analizar la importancia de cada variable ambiental.....	82

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Cosecha total y por grupo de recurso hidrobiológico de la acuicultura.	3
Figura N°2: Producción acuícola de bivalvos 2007-2020 en Chile.	4
Figura N° 3: Número de cultivos de pequeña escala en Chile, agrupados según su actividad principal, 2015.	6
Figura N°4: Esquema de un sistema long-line subsuperficial.	18
Figura N°5: Metodología para lograr un diseño de un monitoreo local participativo.	20
Figura N°6: Promedio de precipitaciones en el periodo 2010-2019 en Dichato.	29
Figura N°7: Perfil de temperatura en cultivo Granja Marina, Coliumo.	30
Figura N°8: Perfil de oxígeno en cultivo Granja Marina, Coliumo.	30
Figura N°9: Perfil de fluorescencia en cultivo Granja Marina, Coliumo.	31
Figura N°10: Perfil de salinidad en cultivo Granja Marina, Coliumo.	31
Figura N°11: Niveles de pH en cultivo Granja Marina, Coliumo.	32
Figura N°12: Modelo biológico de la ostra japonesa a dos profundidades.	45
Figura N°13: Multiparámetro HI98194.	49
Figura N°14: Multiparámetro L0210036.	49
Figura N°15: Sensor Aqua Read AP-Lite.	50
Figura N°16: HYDROLAB HL4.	51
Figura N°17: Aqua TROLL 500.	51

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Variables ambientales de importancia según acuicultura.....	34
Tabla N°2: Variables nombradas de importancia para bivalvos en estudios realizados en Chile.....	35
Tabla N°3: Priorización de variables ambientales de estudios realizados en bivalvos en Chile.....	38
Tabla N°4: Rangos óptimos para el cultivo de ostra japonesa.....	39
Tabla N°5: Tabla comparativa de las opciones de monitoreo.....	52
Tabla N°6: Tabla comparativa entre monitoreo autónomo y monitoreo manual.....	54
Tabla N°7: Acciones de adaptación sugeridas en caso de medir variables desfavorables para el cultivo de la ostra.....	58



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi familia y a mis amigos que estuvieron presente durante todo mi proceso de elaboración de este proyecto. A mis padres por brindarme todo el apoyo que necesitaba, a mi hermana por sus consejos y anécdotas sobre su experiencia con la universidad y, a mis amigos por brindarme soporte y apoyo incondicional en todo momento, en especial en aquellos momentos donde sentía que todo se me venía abajo.

Agradezco también al financiamiento brindado por el Proyecto Fondecyt 11201098 el cual me permitió adquirir grandes conocimientos y compartirlos con grandes profesionales como lo son mis profesores guías, Cristian Vargas y Luisa Saavedra. También agradecer a la señora Jessica Cabrera por su total disposición a ayudar con el proyecto y por permitirme conocer sobre su vida y su trabajo.

RESUMEN

Es un hecho que el cambio climático está afectando a nuestros océanos y por ende a todos los servicios ecosistémicos que éste ofrece, uno de ellos es la acuicultura, actividad económica de importancia mundial y de la que dependen millones de personas. Existe una gran cantidad de estudios que demuestran los efectos y repercusiones que puede traer el cambio climático a éste sector económico, ya que algunas de las especies cultivadas pueden ser bastante sensibles a los cambios en la química del océano, como por ejemplo los bivalvos, considerados como indicadores biológicos sensibles y los cuales pueden ser afectados con eventos de mortalidad si se exponen a cambios bruscos de variables ambientales como la temperatura, la salinidad, el pH, entre otras. Como país, Chile debe tomar medidas para poder mitigar y adaptarse a estos cambios que se están experimentando, ya que somos un país que destaca en el sector de acuicultura, siendo el país líder en exportación de mejillón en el mundo y llegando al millón y medio de toneladas cosechadas de recursos hidrobiológicos como peces, moluscos y algas. Es importante mencionar que una parte de esta producción acuícola es otorgada por acuicultores a pequeña escala que dependen de esta actividad para darle sustento a sus hogares y donde actualmente no existen instrumentos de apoyo para este sector. Es por esto que es altamente relevante el poder considerar la implementación de sistemas de monitoreo en la acuicultura de pequeña escala como una medida de adaptación al cambio climático. Acciones como ésta, permitirían a los acuicultores contar con información en tiempo real, tanto a corto como a largo plazo, de la química del océano, otorgándoles herramientas para comprobar *in situ* los cambios que están ocurriendo, lo que a su vez les facilita el proceso de toma de decisiones sobre sus cultivos, haciendo finalmente más sustentable la actividad económica de la cual dependen.

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

1.1 Cambio climático

Desde la revolución industrial se han emitido a la atmósfera más de 1.6 billones de toneladas de CO₂ como resultado de la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de tierra y otras actividades humanas (Matthews y Caldeira, 2008). Donde aproximadamente el 30% de estas emisiones son absorbidas por el océano. (Sabine et al., 2004).

Estudios recientes realizados por el IPCC confirman que las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han aumentado en la atmósfera, alcanzando promedios anuales de 410 ppm de dióxido de carbono, 1866 ppb para metano y 332 ppb para óxido nitroso en 2019. La tierra y el océano han absorbido una proporción casi constante de CO₂ durante las últimas seis décadas. (IPCC, 2021).

Este aumento en las concentraciones de GEI en la atmósfera ha generado algunos efectos en nuestros océanos, así lo da a conocer el Informe Especial del IPCC Sobre los Océanos y la Criosfera en un Clima Cambiante publicado en el año 2019. Este informe detalla que el océano ha experimentado un calentamiento prolongado desde 1970 y debido a esto, las olas de calor marinas han duplicado su frecuencia y han aumentado su intensidad, se ha observado un aumento del nivel del mar debido a la pérdida de masa de mantos de hielo y glaciares y que debido a la absorción de CO₂ por el océano, se ha observado una acidificación de los océanos y una disminución del oxígeno presente en el agua. (IPCC, 2019).

En un futuro se esperan cambios en la temperatura del mar, lo que finalmente influirá en la solubilidad del oxígeno en el océano, además que los gradientes de temperatura positivos pueden aumentar la aparición de floraciones de algas, lo

que puede aumentar la mortalidad de algunas especies. Por otro lado, existen pronósticos que apuntan a un aumento en la intensidad media del viento costero, lo que generaría cambios en la columna de agua, afectando la distribución del plancton y cambios en la oxigenación. (Yañez et al., 2017).

Estos efectos mencionados podrían llegar a tener repercusiones en las comunidades dependientes del océano, como lo son las personas que viven de la pesca y acuicultura. Lo que no es menor, ya que se estima que, en 2018, 59.51 millones de personas trabajaban, ya sea a tiempo completo o parcial en este sector productivo. (FAO, 2020). Las repercusiones del cambio climático podrían manifestarse directa o indirectamente y no todos los aspectos del cambio climático se traducirán en repercusiones sobre la acuicultura, ya que las prácticas acuícolas se definen espacial y temporalmente. (De Silva & Soto, 2009). En el caso de Chile, el Plan de Adaptación al Cambio Climático para Pesca y Acuicultura (2015), señala que Chile presenta una gran variedad de ecosistemas y de especies marinas que estarían siendo afectadas por cambios en las condiciones hidrológicas y ambientales derivadas del cambio y variabilidad del clima. El cambio climático afectaría a las especies marinas en la medida que se modifiquen las condiciones físicas, químicas y biológicas que determinan su productividad, desarrollo, alimentación, reproducción, abundancia y distribución.

1.2 Sector de acuicultura en Chile

Chile es un país líder en acuicultura marina, responsable del 47% de toda la producción acuícola en América del Sur, donde las principales especies cultivadas en Chile son el salmón del atlántico (*Salmo salar*), el mejillón chileno (*Mytilus chilensis*), la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y el salmón del pacífico (*Oncorhynchus kisutch*). La producción del mejillón chileno se ha expandido en los últimos años, convirtiéndose en el mayor exportador de mejillón del mundo, y líder en términos de valor. (Wurmann et al., 2022). Según anuarios estadísticos

de SERNAPESCA, en el año 2020 se cosecharon un total de 399.097 toneladas de mejillón chileno (chorito), donde un 99% del total es cultivado en la X Región de Los Lagos. El cultivo de mejillón o “chorito” en el país se desarrolla en ecosistemas marinos y estuarinos con sistema de cultivo de tipo extensivo, suspendido con captación natural de semillas. (Acuasesorías, 2017). El cultivo de bivalvos en Chile se caracteriza por realizarse de forma extensiva mediante sistema de cultivo de fondo y cultivo suspendido en cuerdas en zonas estuarinas o someras, o de forma semi-intensiva mediante algunos sistemas suspendidos como las balsas y los “long-lines” (FAO, 2022).

En cuanto a la cosecha total, los anuarios estadísticos indican que en el año 2020 la producción total de recursos en acuicultura en el país alcanzó 1.505.486 toneladas. La Figura N°1 muestra cómo ha evolucionado la producción acuícola en el país desde 1992 cuando apenas se reportaban 110.000 toneladas de producción acuícola.

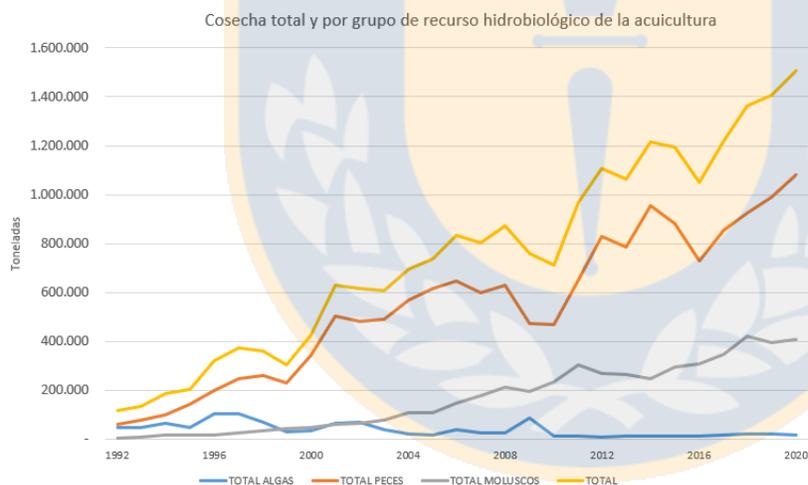


Figura N°1: Cosecha total y por grupo de recurso hidrobiológico de la acuicultura.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de SERNAPESCA.

También se puede apreciar que el aporte de los peces a la producción de la acuicultura representa cerca del 72% del total, seguido de la producción de moluscos con un 27% del total y finalmente las algas que aportan solo un 1% de la producción total acuícola.

La cosecha de bivalvos ha tenido una clara tendencia de aumento en los últimos años (Figura N°2), siendo el chorito el líder de la producción total; pero también destacan otras especies como el ostión del norte, la cholga, la ostra chilena, la ostra del pacífico, entre otras.



Figura N°2: Producción acuícola de bivalvos 2007-2020 en Chile.

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de SERNAPESCA.

Respecto al marco jurídico-institucional, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) son las principales autoridades en materia de acuicultura en Chile. Los productores acuícolas, deben cumplir con lo establecido en el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (D.S. 320/2001); así como con los lineamientos del Reglamento

Sanitario para la Acuicultura (D.S. 319/2001), el Reglamento de Plagas Hidrobiológicas (D.S. 345/2005) y las disposiciones de la Armada de Chile. (Rodríguez & Flores, 2014). Una parte substancial de la miticultura, es llevada a cabo por pescadores artesanales en el marco de lo que se conoce como Acuicultura de Pequeña Escala. (APE).

1.3 Acuicultura de Pequeña Escala (APE)

De acuerdo al nuevo Reglamento de Acuicultura de Pequeña Escala aprobado en 2022 (D.S. 45/2022) se considera como acuicultor/a de pequeña escala en el caso de cultivos en áreas de playas de mar, porciones de agua y fondo, dentro y fuera de las bahías, y en los ríos a:

- a) Personas naturales que desarrollan acuicultura con uno o más centros de cultivos, cuya superficie total resultante de la sumatoria de todos los centros de cultivo sea igual o inferior a 10 hectáreas y tengan una producción máxima anual total igual o inferior a 500 toneladas.
- b) Organizaciones de pescadores artesanales compuestas por personas naturales con uno o más centros de cultivo, cuya superficie total resultante de la sumatoria de todos los centros de cultivo sea igual o inferior a 50 hectáreas y tenga una producción máxima anual igual o inferior a 2.000 toneladas.

Existen estudios que realizan un diagnóstico de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile, el estudio más reciente es el elaborado por la consultora Acuasesorías y financiado por la SUBPESCA por el Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA). En su metodología indica que se va a considerar APE a aquellos centros de acuicultura con un área total de hasta 20 hectáreas. Este estudio indica que, al año 2015, existen 1.713 concesiones de acuicultura que clasifican como APE, ocupando un área total de 14.376,9 hectáreas. Cerca del 90% del total de estos centros se encuentran ubicados en

las regiones de Los Ríos y Los Lagos. Como muestra la Figura N°3, la actividad principal de los centros APE son el chorito, el choro y la cholga.

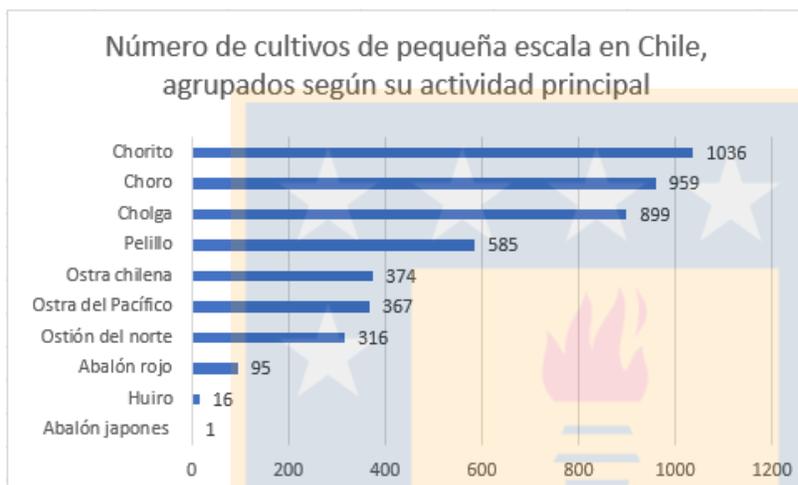


Figura N° 3: Número de cultivos de pequeña escala en Chile, agrupados según su actividad principal, 2015.

Fuente: Acuasesorías FIPA 2015-02.

A pesar del notable aumento en centros APE, actualmente, no existen instrumentos de apoyo específicos para este sector, aunque existen algunas iniciativas particulares como algunos fondos concursables que la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) pone a disposición de las pequeñas empresas agroalimentarias. Entre los principales desafíos para los acuicultores de pequeña escala se encuentra su bajo nivel de asociatividad y su escaso poder de negociación. (Rodríguez & Flores, 2014).

1.4 Variables ambientales asociadas a la acuicultura de bivalvos

Los bivalvos pertenecen al filo *Mollusca* y se caracterizan por ser organismos sésiles que no tienen movilidad o esta es muy limitada y ser filtro-alimentadores, es decir, que filtran del agua las microalgas y otras partículas orgánicas que le sirven como alimento. (Cáceres & Vásquez, 2014). Las poblaciones de bivalvos y su distribución espacial pueden variar en respuesta a múltiples variables ambientales y pesqueras (Baptista et al., 2014), además de que son considerados como indicadores biológicos sensibles. (Somero, 2002).

Cuando están en las etapas larvaria, juvenil y adulta, la mortalidad de bivalvos puede estar originada por una gran variedad de causas. De acuerdo a Helm et al (2006), el cultivo de bivalvos en criaderos y acuicultura puede ser afectado por cambios bruscos de temperatura, salinidades bajas después de periodos de lluvias fuertes o escorrentía, o por enfermedades provocadas por parásitos. Existe una amplia literatura que confirman lo dicho por Helm, incluso algunos estudios realizados en Chile, como por ejemplo Oyarzun et al (2018) que demostraron que, en localidades con menores fluctuaciones de temperatura superficial del mar, los mejillones *Perumytilus purpuratus* desarrollan ciclos anuales y en localidades con mayores fluctuaciones, se desarrollan ciclos semestrales, esto quiere decir, que la temperatura del mar tiene un efecto en los ciclos reproductivos de los bivalvos. Moller et al (2001) estudiaron ejemplares de *Crassostrea gigas* cultivados en la ciudad de Valdivia, Chile, en donde notaron bajos niveles de crecimiento asociados a condiciones ambientales desfavorables ocurridas en los meses de diciembre y enero como precipitaciones intensas, en cambio en los meses de primavera, observaron un incremento notable en el crecimiento, debido a mayores niveles de salinidad y temperaturas.

En cuanto a la salinidad, ésta puede sufrir grandes variaciones y la tolerancia a estas fluctuaciones varía en las diferentes especies de bivalvos. Algunas necesitan altos niveles oceánicos de salinidad mientras que las especies eurihalinas muestran una tolerancia mucho mayor (Helm et al., 2006). Según

Bernard (1983), la salinidad es uno de los factores que controla la distribución de comunidades marinas, disminuyendo la actividad de alimentación, respiración, crecimiento y reproducción en bivalvos. Este mismo autor señala además que la temperatura es el determinante dominante de la actividad fisiológica de moluscos bivalvos intermareales seguida en importancia por la salinidad.

Otra variable de importancia mencionada por Helm (2006) es la disponibilidad de alimento, suponiendo que la semilla se cultiva a una densidad razonable, su velocidad de crecimiento se ve enormemente afectada por la calidad del alimento suministrado en lo que se refiere el valor nutritivo de las especies que componen la dieta, la ración alimentaria suministrada y la temperatura del agua.

El pH es otra variable la cual puede afectar a la acuicultura de bivalvos, esto debido a que el aumento de CO₂ antropogénico en la atmósfera puede resultar en mayores cambios de pH en los próximos siglos, haciendo que el océano sea más ácido (Caldeira y Wickett, 2003). Esto puede convertirse en una de las mayores amenazas para la industria de la acuicultura, en especial para los moluscos marinos que presentan concha. (Gazeau et al., 2013).

Los bivalvos formadores de concha como las ostras, mejillones y almejas; muestran respuestas negativas a valores reducidos de pH. Así lo demostraron Barton et al (2012), viendo afectado significativamente el crecimiento de larvas de ostras japonesas en etapa media, demostrando que los efectos de la acidificación durante su desarrollo, puede continuar afectando su crecimiento hasta en etapas intermedias de vida.

Es importante también destacar que los bivalvos son una especie poco tolerante al oxígeno. Gray et al (2002) clasificaron los organismos marinos según su tolerancia a la hipoxia y los bivalvos demostraron la menor sensibilidad. Su crecimiento se vio afectado por concentraciones de oxígeno inferiores a 1,5 mg O₂/L, mientras que el crecimiento y metabolismo de peces y crustáceos se vio afectado por concentraciones de 6 y 4 mg O₂/L respectivamente. Por ende, las

bajas concentraciones de oxígeno también pueden actuar como un factor de estrés. (Sussarellu et al., 2010).

Todas estas variables nombradas anteriormente se caracterizan por presentar naturaleza cambiante en el océano, donde la respuesta de organismos ante la combinación de factores podría variar entre aditiva, antagónica o sinérgica. (Todgham & Stillman, 2013). Por ejemplo, estudios han indicado que las combinaciones de diferentes factores estresantes que se encuentran en el océano costero pueden interactuar antagónicamente en lo que se refiere a la fisiología de los mejillones, siendo la temperatura una variable clave que afecta tanto el crecimiento como la alimentación de la descendencia. (Díaz et al., 2018). Navarro et al (2016) por otra parte, estudiaron los efectos combinados de temperaturas elevadas con distintos niveles de pCO_2 en *Mytilus chilensis*, observando un efecto negativo de concentraciones elevadas de pCO_2 sobre la tasa de alimentación. En cuanto al oxígeno, estudios han mostrado que los invertebrados marinos que habitan en ecosistemas de surgencia en la costa chilena, muestran respuestas aditivas pero negativas a la hipoxia y a altos niveles de CO_2 (Steckbauer et al., 2015). La interacción de múltiples factores estresantes del cambio climático podría exacerbar o alterar los efectos de la acidificación del océano en las especies de bivalvos, lo que puede cambiar nuestra comprensión de cómo las especies marinas responden a los factores estresantes combinados. (Ko et al., 2014).

1.5 Aumento del CO_2 y efectos del cambio climático en la acuicultura de bivalvos

Como se mencionó anteriormente, el aumento de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el CO_2 , puede traer graves consecuencias en los océanos y, por ende, también para la acuicultura. El cambio climático puede tener impactos directos e indirectos en la acuicultura, tanto a corto como a largo plazo. Algunos de los impactos a corto plazo incluyen pérdidas de producción e infraestructura debido a eventos extremos o un aumento en el riesgo de

floraciones nocivas y enfermedades. Los impactos a largo plazo incluyen cambios en la temperatura del mar, precipitación, la acidificación del océano, la incidencia y alcance de eventos de hipoxia y el aumento del nivel del mar, entre otros. (Barange et al., 2018). Tanto los impactos directos como los indirectos incluyen impactos en el rango y la productividad de las poblaciones, los hábitats y las cadenas alimentarias, así como los impactos en la productividad de la acuicultura. (Shelton, 2014).

En cuanto a la acuicultura de bivalvos, los efectos del cambio climático asociados al aumento de la temperatura de los océanos pueden generar efectos negativos en la fisiología de los bivalvos y promover la proliferación de patógenos. (Peeler et al., 2012). Por otro lado, la acidificación del océano provocada por la disolución de millones y millones de toneladas de CO₂ cambia la química del agua al reducir la saturación de aragonito (Ω_{ar}), se ha comprobado que un nivel reducido de Ω_{ar} puede afectar negativamente el crecimiento, la calcificación, la metamorfosis y la producción de biso de los bivalvos marinos. (Kroeker et al., 2013; Talmage & Gobler, 2011; O'Donnell et al., 2013). Estos efectos pueden afectar negativamente a la industria del cultivo de bivalvos causando enormes pérdidas económicas (Tan et al., 2020).

Es importante también mencionar que los sistemas de afloramiento costero, o también llamados surgencia, son un fenómeno que sustentan actividades económicas como la pesca y la acuicultura. Los eventos de surgencia son generados por la dirección dominante del viento, orientación de la costa y efecto de la rotación de la tierra. Este afloramiento de agua subsuperficial provoca una disminución de la temperatura superficial del mar y oxígeno disuelto, además de un aumento de nutrientes. (Bello et al., 2004). Si bien existe un debate sobre los impactos del cambio climático en el afloramiento costero, algunas observaciones respaldan la hipótesis que se producirá un aumento de estos eventos debido al calentamiento de la tierra y la intensificación de los vientos costeros. (Aguirre et al., 2018). En nuestro país, los vientos favorables a las surgencias a lo largo de la costa frente a la zona central de Chile son predominantes de septiembre a

abril, alcanzando un máximo en enero y febrero. Durante este periodo, la temperatura superficial del mar muestra una franja costera de agua fría y valores altos de Clorofila a (Letelier et al., 2009).

1.6 Adaptación al cambio climático

El IPCC define la adaptación como “Un proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos”.

En el contexto de la adaptación, se distinguen diferentes categorías: adaptación preventiva, adaptación reactiva, adaptación autónoma y adaptación planificada. En el caso de la adaptación planificada, esta involucra tanto el diseño e implementación directa de medidas, como también la creación de capacidades de adaptación, por la vía de un mayor nivel de conocimiento sobre los riesgos, impactos y medidas disponibles para enfrentar el cambio climático. (MMA Chile, 2014).

Existen opciones para la adaptación y la creación de resiliencia en la acuicultura (Barange et al., 2018). Un ejemplo de ello es la historia de Whiskey Creek, un criadero de mariscos de gran importancia comercial en Oregón, EE. UU. Este criadero presentó en el año 2006 hasta un 80% de mortalidad en sus cultivos de larvas de *Crassostrea gigas*. Inicialmente, estos eventos se atribuyeron a una floración de una bacteria patógena; pero al ver que la mortalidad continuó a pesar de la eliminación de ésta, se comenzó a investigar por primera vez la química del agua de mar. Finalmente se encontró que un evento fuerte de surgencia llevó agua subsaturada con respecto a la aragonita a la superficie, registrándose valores de pH tan bajos como 7.6. Con este descubrimiento se procedió a tomar medidas como ajustar el pH añadiendo carbonato de sodio

mostrando una mejora en la supervivencia y crecimiento de las ostras. (Kelly et al., 2014; Barton et al., 2015).

Debido a este hecho, en la costa oeste de los Estados Unidos, se dio el inicio para discutir el problema y proponer estrategias para mejorar y comprender los impactos de la acidificación de los océanos en la industria. Tiempo después se da inicio un programa integral de monitoreo de la calidad del agua con mediciones continuas de pH, oxígeno, temperatura, salinidad y presión, además de muestras discretas para bacterias y concentraciones de nutrientes. (Barton et al., 2015). Gracias a esta decisión, los productores pudieron comprender y adaptarse a los cambios en la química del agua logrando evitar eventos masivos de mortalidad y a la vez aumentar la producción de larvas. (Barton et al., 2015; Kelly et al., 2014).

Otro concepto importante a mencionar es el de Adaptación Comunitaria, la cual tiene como objetivo hacer que la adaptación al cambio climático sea más sensible a las necesidades y riesgos que enfrentan las comunidades más vulnerables. Está basado en la premisa que las comunidades locales tienen las habilidades, la experiencia, conocimiento local y redes para emprender localmente actividades apropiadas que aumenten la resiliencia y reduzcan la vulnerabilidad a una serie de factores, incluido el cambio climático. (Forsyth, 2013).

Según Shelton (2014), la adaptación en la pesca y la acuicultura puede incluir una variedad de políticas y acciones de gobernanza, apoyo técnico específico o actividades de desarrollo de capacidades comunitarias que aborden múltiples sectores y las actividades de adaptación pueden abordar impactos a corto o largo plazo. No todas las actividades de adaptación serán aplicables en todos los lugares y tiempos, por lo que el éxito requiere considerar cómo las actividades se adaptan al contexto local. Si bien la adaptación es específica del contexto, hay una serie de actividades de adaptación que se pueden aplicar en la mayoría de los contextos de pesca y acuicultura, algunos de ellos incluyen la reducción de factores de estrés externos, inversiones en puertos y

desembarques más seguro, mejores sistemas de alerta temprana para tormentas, promover la gestión del riesgo de desastres y la implementación de monitoreo.

1.7 Monitoreo ambiental como medida de adaptación al cambio climático

Como se mencionó anteriormente, el monitoreo se considera como una medida de adaptación al cambio climático. Aunque la pesca y la acuicultura son sensibles a los cambios climáticos repentinos y a la variabilidad climática, hay muy pocos ejemplos en todo el mundo de sistemas de seguimiento integrados que proporcionen información e interpretación de la información que los pescadores y piscicultores en pequeña escala puede confiar y utilizar para tomar decisiones (Barange et al., 2018). Chile, para las observaciones continuas in situ del océano, cuenta actualmente con menos de 10 boyas oceanográficas costeras. (Farías et al., 2019).

Los datos tomados en un monitoreo como, por ejemplo, la temperatura del agua, la salinidad, la turbidez, el oxígeno, etc. recopilados en forma continua, puede contribuir a una mejor comprensión de los procesos biofísicos por parte de los acuicultores; la información se transforma en medidas de respuesta a corto plazo, medidas de adaptación a largo plazo y alertas tempranas, así como decisiones de inversión. (Bueno & Soto, 2017). A corto plazo, un control y una gestión de la información más exhaustivos ayudarían a fortalecer la planificación de la producción de centros de acuicultura, por ejemplo, ajustando los programas de producción para hacer frente a la variabilidad estacional e interanual de los riesgos relacionados con el clima, o implementar buenas prácticas de cultivo, tales como selección de sitios óptimos, la mejora nutricional implementando mayor cantidad de alimento al sistema, o en caso de detectar bajos niveles de pH, agregar bicarbonato de sodio u otros amortiguadores naturales para mejorar los valores de pH (Clements & Chopin, 2017). En el largo plazo, el monitoreo, quizás de un ciclo de 3 a 5 años, ayudaría a comprender los impactos de los

eventos extremos y la variabilidad climática, lo que a su vez podría generar planes de adaptación para sostener la producción (Uppanunchai et al.,2015). En resumen, los acuicultores conociendo la naturaleza del área donde tienen implementados sus cultivos, podrán tomar decisiones, a corto o a largo plazo, para evitar pérdidas económicas debido a mortalidades en sus recursos cultivados que puedan ocurrir por los cambios que pueden ocurrir en el océano, generando una adaptación al cambio climático.

Los monitoreo se pueden diferenciar entre los autónomos y los manuales. El monitoreo autónomo no depende directamente de la presencia de una persona, por lo que se puede programar para tomar registros de forma continua. Las boyas oceanográficas y los sensores autónomos independientes son ejemplos de este tipo de monitoreo. Por otro lado, los monitores manuales consisten en el seguimiento de variables ambientales mediante muestreos y observaciones realizadas por personas y que permiten obtener un dato en un momento específico, los multiparámetros, botellas niskin y equipamiento para buceo son algunos ejemplos. (FAO & Centro-EULA, 2021).

El término monitoreo participativo se aplica a actividades de monitoreo que suponen la participación de personas locales que no cuentan con capacitación profesional y que tienen distinto grado de conocimiento y experiencia; pero cierto tipo de información solo puede ser brindada por los lugareños, tales como cambios o eventos que han ocurrido durante largos periodos de tiempo. Algunas ventajas de los sistemas de monitoreo que suponen la participación de comunidades locales en conjunto con el mundo científico son la obtención de datos enriquecidos y costos totales más bajos, además las comunidades locales también se benefician, tanto por los datos generados como por los conocimientos transferidos mediante el trabajo con científicos (Evans & Guariguata, 2008). Se pueden identificar cuatro etapas del desarrollo del proceso de un monitoreo: la determinación del problema y de la estructura del monitoreo adecuado, capacitación y realización del monitoreo participativo, recopilación y comunicación de datos obtenidos y finalmente el análisis de la

información obtenida para desarrollar acciones para la atención del problema. (Perevochtchikova et al., 2016).

En diferentes regiones del mundo se han implementado estrategias de monitoreo participativo o comunitario y ciencia ciudadana, como herramientas de adaptación al cambio climático en zonas costeras, involucrando a la comunidad en el diseño, desarrollo e implementación de programas de monitoreo para observar, registrar y responder al cambio climático. (Kipp et al., 2019; Fulton et al., 2019). Un ejemplo de ello es el caso de México, donde una organización de la sociedad civil, COBI (Comunidad y Biodiversidad), durante el proceso de creación de reservas marinas, capacitó a pescadores en una variedad de técnicas de monitoreo, instalación y uso de equipo oceanográfico para monitorear áreas protegidas. En esta iniciativa, los pescadores participaron en el diseño del programa de monitoreo y en la obtención de datos, siendo acompañados por científicos. Existen varios casos en México de monitoreo oceanográfico para la adaptación al cambio climático, donde ya se han instalado 44 sensores oceanográficos dentro de 25 comunidades para recolectar temperatura, oxígeno disuelto y datos de nivel del mar, donde el objetivo a largo plazo es comprender los impactos del cambio climático y co-crear estrategias de adaptación para la viabilidad a largo plazo de la pesca artesanal en un clima cambiante. (Fulton et al., 2019).

2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En vista de los efectos actuales y futuros que el cambio climático puede traer a la acuicultura de bivalvos, donde la combinación de los diversos factores afectados puede generar efectos tanto aditivos, antagónicos, como sinérgicos, resulta necesario contar con medidas de adaptación aplicables a este sector, que es considerado como vulnerable a los efectos del cambio climático.

La implementación de sistemas de monitoreo puede resultar ser una herramienta efectiva para que los acuicultores conozcan la química del agua donde tienen sus cultivos y comprendan la variabilidad de la zona. Además, contando con los datos en tiempo real, pueden tener un sistema de alerta temprana, ya que al medir un dato que se encuentre fuera de los valores normales en la zona, podrán actuar con anticipación frente a eventos anormales como surgencias intensas, bajas de oxígeno, floraciones nocivas, entre otros, tomando acciones en el cultivo como cambios en la profundidad o cambios en el sistema del cultivo, como mejoras en la infraestructura para adaptarse a condiciones extremas.

La zona costera de la Región del Bío-Bío se caracteriza por presentar centros activos de surgencia, estos eventos pueden ser intensificados por el aumento de los gases invernadero, generando así la necesidad de implementar medidas de adaptación para los sectores que dependen de los servicios entregados por esta zona costera.

Un monitoreo participativo es una medida que integra tanto el conocimiento científico como el conocimiento local de una zona, este tipo de monitoreo podría ser aplicado en centros de acuicultura de pequeña escala. En la localidad de Coliumo existe un cultivo con estas características y este será utilizado como una APE piloto para la presente tesis que tiene como pregunta de investigación: **¿Cuál es la factibilidad de implementar un sistema de monitoreo participativo en un cultivo de pequeña escala de *Crassostrea gigas* ubicado en Bahía Coliumo, como medida de adaptación al cambio climático?**

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar los beneficios y las dificultades de la implementación de un sistema de monitoreo ambiental participativo en una APE piloto, como medida de adaptación al cambio climático.

3.2 Objetivos específicos

- 1- Realizar una caracterización de Bahía Coliumo para identificar las variables ambientales que pueden generar efectos sobre el cultivo de ostra en el área de estudio.
- 2- Incorporar el conocimiento local en el sistema de monitoreo mediante la aplicación de una entrevista semi-estructurada.
- 3- Realizar una selección y priorización de las variables ambientales a monitorear e incorporarlas en un modelo biológico de la ostra japonesa.
- 4- Diseñar una propuesta de sistema de monitoreo para el cultivo de ostra japonesa en Bahía Coliumo evaluando los beneficios y las dificultades para su implementación.

4.2 Biología de la especie de cultivo: la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*)

Crassostrea gigas pertenece al filo Mollusca y a la clase Bivalvia; pero se le conoce comúnmente como ostra japonesa u ostión japonés. Las ostras son organismos sésiles, comprimidos lateralmente y alargados en su parte dorsoventral. La concha de *C. gigas* está formada por dos valvas asimétricas calcificadas. (Gomes, 2013).

Desde el punto de vista geográfico, es una especie ampliamente distribuida por el mundo. Se origina en Japón, en donde se ha cultivado durante siglos y actualmente ha sido introducida en el resto del mundo. (FAO, 2009). En Chile la ostra japonesa fue introducida a fines de los años setenta, teniendo un incremento sostenido en su cultivo hasta 1999, con 893 toneladas de producto en concha. (Robledo & Novoa, 2021).

La ostra japonesa tardará de 18 a 30 meses para alcanzar la talla comercial de 70-100 g de peso vivo (incluyendo la concha). El rango de salinidad óptimo es de entre 20 y 25‰ aunque la especie también puede existir a menos de 10‰ y pueden sobrevivir en salinidades superiores a 35‰. También es altamente tolerante a un amplio rango de temperaturas que va desde -1,8 a 35°C. (FAO,2009).

La ostra japonesa es una especie ideal para cultivar en diferentes condiciones ambientales, lo cual le da una mayor capacidad de adaptación al cambio climático y ventajas comparativas respecto a otras especies cultivables, debido a que su reproducción puede ser controlada, se pueden producir con diferentes métodos de cultivos y son manejables en cualquiera de las etapas y es una especie netamente filtradora, por ende, su alimentación a base de fitoplancton no representa ningún costo. (Robledo & Novoa, 2021).

4.3 Metodología para lograr los objetivos

Para lograr el diseño del sistema de monitoreo participativo se utilizó una metodología basada en el manual publicado por la FAO en el año 2021: "Manual para un sistema de monitoreo ambiental participativo para mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático de las comunidades pesqueras y acuícolas" la cual se detalla en la Figura N°5 mostrada a continuación.



Figura N°5: Metodología para lograr un diseño de un monitoreo local participativo.

Fuente: Adaptado de FAO y Centro EULA, 2021.

Siguiendo esta metodología se pudo lograr a la vez los distintos objetivos específicos planteados en esta investigación.

4.3.1 Caracterización de la bahía

Para el caso del objetivo específico número 1 que es lograr la caracterización de la bahía, se recurrió a plataformas de búsqueda de publicaciones científicas como *Web of Science* y *Google Scholar* utilizando palabras claves como “Coliumo Bay”; “Station 18”; “Environmental factors” por nombrar algunas. Así se encontraron estudios que se han realizado en la zona (ANEXO 3) y se logró formar una caracterización física de la bahía, con los eventos que ocurren en esta y además identificar las variables oceanográficas que tienen mayor variabilidad y por ende son importantes de considerarlas para el monitoreo. Además, se realizaron perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno, clorofila y pH con datos medidos entre los años 2021-2022 por el proyecto FONDECYT 11201098 en la zona del cultivo. Estos datos se obtuvieron a partir de muestreos bimensuales al centro de cultivo, en los que se utilizó un equipo CTDO Sea-Bird 19 plus para generar un perfil entre 0 y 7 m de profundidad. Esto nos permitió observar de manera gráfica la variabilidad estacional de la columna de agua de estas variables.

4.3.2 Conocimiento local

Con objeto de incorporar el conocimiento local en el estudio y lograr diseñar un monitoreo participativo, se procedió a diseñar e implementar una entrevista cualitativa a la dueña del cultivo GRANJA MARINA. La entrevista cualitativa se define como una reunión para conversar e intercambiar información entre una persona y otra. Estas se dividen en estructuradas, semiestructuradas y abiertas. Para nuestro caso utilizaremos una entrevista semiestructurada, este tipo de entrevistas se basan en una guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información (Hernández et al., 2014). Para diseñar e implementar la entrevista se siguieron las recomendaciones del Capítulo 14 del libro de Hernández Sampieri “Metodología de la Investigación”. Algunas

recomendaciones que se siguieron para la recolección de datos cualitativos fueron:

- a) Lograr que los participantes narren sus experiencias y puntos de vista sin enjuiciarlos ni criticarlos.
- b) Lograr espontaneidad y amplitud de respuestas, así como que el entrevistado se relaje. Evitar que el participante sienta que la entrevista es un interrogatorio.
- c) Es muy importante que el entrevistador genere un clima de confianza con el entrevistado y cultive la empatía.
- d) No preguntar de manera tendenciosa ni induciendo la respuesta.
- e) No brincar “abruptamente” de un tema a otro, aun en las entrevistas no estructuradas, ya que, si el entrevistado se enfocó en un tema, no hay que perderlo, sino profundizar en el asunto.
- f) Normalmente se efectúan primero las preguntas generales para luego ir a las preguntas más complejas.
- g) Cuando al entrevistado no le quede clara una pregunta, es recomendable repetirla; del mismo modo, en caso que el entrevistador no entienda una respuesta, es conveniente que le pida al entrevistado que la repita, para verificar que no haya errores de comprensión.
- h) Contar con una guía de entrevista, con preguntas agrupadas por temas o categorías, con base en los objetivos del estudio y la literatura del tema.

Con estas recomendaciones se diseñó la entrevista (ANEXO 1), la cual fue dividida en dos partes, comenzando con una entrevista exploratoria para abordar preguntas sobre la vida y ocupación de la acuicultora. Esto se realizó para lograr entablar un vínculo con el entrevistado y así para cuando se realice la segunda parte de la entrevista, el entrevistado pueda expresarse sintiendo un ambiente con mayor confianza. La segunda parte de la entrevista fue agrupada en cuatro categorías: cambio climático, variables ambientales, monitoreo y adaptación obteniendo la mayor cantidad de información de parte de la acuicultora. Esta

entrevista fue grabada previa autorización de la acuicultora para luego realizar el análisis.

En el proceso cuantitativo primero se recolectan todos los datos y luego se analizan, mientras que en la investigación cualitativa no es así, sino que la recolección y el análisis ocurren prácticamente en paralelo; además, el análisis no es uniforme, ya que cada estudio requiere un esquema peculiar. (Hernández et al., 2014). En el análisis de los datos, la acción esencial consiste en que recibimos datos no estructurados, a los cuales nosotros les proporcionamos una estructura. Es por eso que para el análisis se procedió a transcribir la grabación para luego generar una estructura final con los datos importantes obtenidos de la entrevista.

4.3.3 Selección y priorización de variables ambientales para construir un modelo biológico

Para realizar la priorización y selección de las variables a monitorear, es necesario además considerar las variables que podrían afectar al organismo que se está cultivando. Para esto se llevó a cabo una revisión desde lo general a lo específico, es decir, como en este caso el organismo cultivado (*Crassostrea gigas*) pertenece a la clase Bivalvia, se realizó primero una revisión bibliográfica recurriendo nuevamente a las plataformas de publicaciones científicas *Web of Science* y *Google Scholar* en donde se buscaron estudios de bivalvos realizados en la zona centro de Chile utilizando las palabras clave “bivalve”, “Central Chile”, “environmental variable”, entre otras. Se consideraron estudios realizados con bivalvos entre las coordenadas 30°15 'S (Tongoy) y 42°36' S (Chiloé), es decir, considerando solo Chile Central, dejando fuera los extremos norte y sur del país que cuentan con condiciones climáticas más extremas. Con estos estudios se diseñó una tabla con aquellas variables que son nombradas de importancia para el cultivo de bivalvos, ya que pueden afectar su crecimiento y posterior desarrollo. Con el total de estudios encontrados se hizo una priorización simple dependiendo de la cantidad de veces que estas variables son nombradas y

aquellas que calificaron con una prioridad media o mayor fueron analizadas en este estudio.

Para realizar la priorización simple de los estudios se utilizaron algunos términos estadísticos para agrupar datos (Landinez, 2016). Primero se calculó el rango, este valor se obtiene con la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de datos, como en este caso se están analizando publicaciones científicas, el valor máximo va a corresponder al número total de estudios analizados y el valor mínimo va a corresponder a cero, lo que quiere decir que la variable no fue nombrada en ningún estudio. Luego se debe establecer el número de intervalos (k) en los que se van a clasificar los datos. En este caso queremos clasificar en 5 intervalos (prioridad muy alta, alta, media, baja, muy baja), para finalmente calcular la amplitud que tiene cada intervalo. Este valor se calcula dividiendo el rango con el número de intervalos. En resumen, se seguirá el siguiente orden:

1- Rango: $R = x_{máx} - x_{mín}$

2- Intervalos: k

3- Amplitud: $A = \frac{R}{k}$

Comentado [1]: Creo que aqui falta algo? y en los intervalos a que se refiere k?

Comentado [2R1]: aqui le agregue mas info para que estuviera mas claro, viendo un paper que pille, está mejor?

Teniendo como límite inferior de la menor prioridad el valor cero y sumándole la amplitud obtenida se obtendrán los 5 intervalos y de esta manera se va a clasificar a cada variable con una prioridad dependiendo de a qué intervalo pertenece. Teniendo considerada el área de estudio, el conocimiento local y el organismo cultivado, se definieron las variables que son necesarias de monitorear, como estrategia de adaptación al cambio climático. Con estas variables se comenzó una nueva revisión bibliográfica, recurriendo nuevamente a las páginas de búsqueda de publicaciones científicas; pero ahora de forma específica para el organismo estudiado que corresponde a *Crassostrea gigas* y con los estudios encontrados (ANEXO 4) se obtuvo un análisis más exacto de la importancia en que afecta cada variable al organismo. Posteriormente, se diseñó un modelo biológico de la ostra, que se trata de un modelo que estima el desempeño de un organismo en condiciones ambientales variables. Se ocupó

como referencia el estudio de Fuentes-Santos (2021) que realizó un modelo biológico de *Mytilus galloprovincialis* para poder evaluar el impacto del cambio climático en la acuicultura del mejillón. El autor detalla que se deben considerar las fechas de siembra, los tamaños de cosecha hasta llegar al tamaño comercial y agregar los insumos del modelo, es decir, las condiciones ambientales que impulsan el crecimiento de la especie. Por lo tanto, para realizar nuestro modelo biológico, basándonos en Fuentes-Santos (2021), se realizó una representación gráfica del ciclo productivo de la ostra, los datos de las fechas de siembra y tamaños de cultivos fueron otorgados por la entrevista a la dueña del cultivo, además se incorporaron las variables ambientales que se seleccionaron para el monitoreo.

Las variables ambientales serán categorizadas con valores bajo, medio y alto, esto dependiendo de los datos medidos en el proyecto FONDECYT 11201098 en Bahía Coliumo. La categorización se realizará de la misma manera que fue realizada en el punto 5.3.3, es decir:

1- Rango: $R = x_{máx} - x_{mín}$

2- Intervalos: k

3- Amplitud: $A = \frac{R}{k}$

4.3.4 Diseño de la propuesta de monitoreo ambiental para APE piloto

Finalmente, para lograr el cuarto objetivo específico del diseño de la propuesta de monitoreo se continuó con la metodología de la Figura 1, definiendo la frecuencia del monitoreo, los tipos de instrumentos que se utilizarán y la planificación del monitoreo. El manual de la FAO explica que para la frecuencia del monitoreo se debe considerar la información preliminar que se obtenga de la zona costera, ya que existen regiones en las que se produce una mayor variación ambiental en el tiempo. Además, el monitoreo debe ser realizado a la misma hora del día, en la medida de lo posible, ya que las características de la

columna de agua varían en el transcurso del día. Para el caso de la instrumentación utilizada, esta dependerá de las variables seleccionadas para monitorear y la disponibilidad de la persona para definir un monitoreo autónomo o manual. Es por ello que se van a realizar 3 opciones de monitoreo, monitoreo manual, monitoreo autónomo y una combinación de ambos, buscando en diversas empresas que tengan instrumentación para medir parámetros de agua aplicables a acuicultura. Ya con esta información se generó una tabla comparativa con las distintas opciones junto a un estimado de su presupuesto, para ser entregadas a la acuicultora para que contando con esta información saber qué tan dispuesta estaría ella en invertir en estos sistemas, lo que nos llevará a evaluar **qué tan factible es que pueda ser implementado en su cultivo.**

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de la bahía

Bahía Coliumo es un área costera pequeña que se encuentra en la zona centro sur de Chile ($36^{\circ}32' S$, $72^{\circ}57' W$), al norte de la Bahía Concepción. Tiene una forma aproximadamente rectangular, formando un área de 6.5 km^2 aproximadamente. La bahía tiene una boca con orientación hacia el norte y tiene una profundidad que está en el rango de los 5 metros cerca de la costa hasta los 25 metros cerca de la boca de la bahía donde alcanza su mayor profundidad (Sobarzo, 1984). En esta zona, perteneciente a la plataforma continental frente a Concepción, ha sido caracterizada por presentar centros activos de surgencias, aunque bien estas no ocurren todo el año, más bien se trata de eventos de surgencia estacional durante la época de primavera-verano. (Fonseca & Farías 1987; Vargas et al., 2007).

Como se dijo anteriormente, en la zona existe un ciclo estacional claro, afectando la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto con un patrón

estacional. Durante la primavera-verano, los vientos costeros soplan predominantemente desde el sur y se favorecen así los vientos de surgencia de septiembre a abril, alcanzando un máximo entre diciembre y febrero (Llancamil 1982; Sobarzo et al., 2007; Letelier et al., 2009). Por lo tanto, en primavera-verano, la influencia de aguas provenientes de eventos de surgencias resultan de importancia, esta masa de agua se caracteriza por contener bajos niveles de oxígeno (<1 ml/L), salinidades relativamente altas (>34,5 PSU) y temperaturas relativamente bajas (10-12°C) (Ahumada & Martínez, 1983).

Estudios han mostrado que dentro de los meses de octubre a diciembre la concentración de oxígeno es la más baja. En aguas profundas de la plataforma se registran aguas con poco oxígeno (<2 ml/L) durante casi todo el año. En contraste, algunos estudios han comprobado que las tasas de producción primaria más altas reportadas para la región se han observado en octubre, debido a la intensificación estacional de vientos favorables al afloramiento. Es por lo que octubre se considera un mes de transición de los periodos fríos a cálidos. (Sobarzo et al., 2007; Daneri et al., 2000).

Estudios recientes confirman que durante periodos de fuertes vientos del sur, el oxígeno disuelto y el pH disminuye, mientras que el pCO₂ aumenta. Si bien durante los periodos de afloramiento la capa superficial suele estar oxigenada, se observaron valores que representan un claro déficit de oxígeno disuelto, que se intensifica a medida que aumenta la profundidad del agua, tornándose hipóxica o incluso anóxica cerca del fondo, lo que puede terminar en un aumento de mortalidades en algunos organismos (Aguirre et al., 2018).

Investigaciones han manifestado que debido a eventos intensos de surgencia se pueden generar eventos de mortalidad de especies generando varamientos. También se ha propuesto que los eventos de afloramiento costero deberían intensificarse con el aumento de los gases de efecto invernadero que se acumulan en la atmósfera (Bakun, 1990). En Coliumo ya se han observado eventos de varamiento masivo y mortalidad, uno en 1989 y otro en 2008, este último se caracterizó por un evento de hipoxia de al menos 2 días (Hernández-

Miranda et al., 2010). En febrero de 2022 se generó otro episodio de varamiento en Coliumo, con un total aproximado de biomasa de 125 toneladas, las autoridades al realizar una inspección midieron temperaturas bajas comparadas con el promedio en esta época del año y mediciones de oxígeno de 1.2 mg/L, respaldando así que se trataría de un evento de surgencia en la zona. (SERNAPESCA. 21 febrero de 2022. Sernapesca corrobora hipótesis de causa de varazones en Bio bio (<http://www.sernapesca.cl/noticias/sernapesca-corrobora-hipotesis-de-causa-de-varazones-en-biobio>)).

Por otro lado, durante otoño-invierno, los vientos cambian de dirección e intensidad. En esta época se registran bajas salinidades superficiales que se extienden considerablemente hacia el océano debido al aumento de aportes de agua dulce por los ríos Bío-Bío e Itata y las lluvias invernales (Sobarzo et al., 2007; Giesecke & González, 2008; Strub et al., 1998). Otras descargas directas de agua dulce que recibe la bahía provienen de los esteros Coliumo, Villarrica y Pingueral (Montecinos, 2015).

Vargas & Martínez (2009) realizaron un estudio en la pluma del río Itata y frente a la bahía de Coliumo, en el mostraron la influencia de la descarga de agua dulce del río en la modificación de la estructura física de la columna de agua a través de cambios en la salinidad. Además, se observaron altas concentraciones de Si(OH)_4 en la capa superficial de la pluma del río, lo que indica el aporte de terrígenos por la descarga del río. La interacción entre las descargas de agua dulce, la radiación solar y el afloramiento puede ejercer una influencia significativa en la estratificación física y las propiedades químicas como el flujo de nutrientes y materia orgánica, que influyen en la comunidad de plancton en la zona.

Según datos obtenidos de la Dirección General de Aguas (DGA), las precipitaciones en el área se concentran principalmente en los meses de mayo a agosto superando los 100 mm de agua caída como muestra la Figura N°6. Estos datos son generados en la estación meteorológica ubicada en Dichato (36° 32' 33"S, 72°55' 52"W). Sobarzo et al (2007) observó el mismo

comportamiento en su estudio, con precipitaciones principalmente en el periodo de mayo a agosto, con una tasa máxima de lluvia en junio, reduciendo así la salinidad de la superficie del mar.

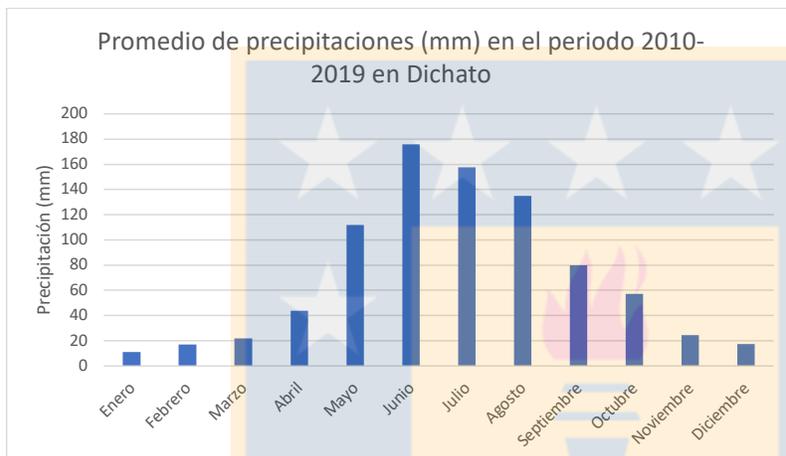


Figura N°6: Promedio de precipitaciones en el periodo 2010-2019 en Dichato.
Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).

Como se mencionó en la metodología, se realizaron perfiles de temperatura, oxígeno, salinidad, pH y fluorescencia (alimento) en el cultivo de Coliumo entre los meses de junio de 2021 a marzo de 2022. Estos gráficos se utilizarán de apoyo para realizar el modelo biológico de la ostra japonesa.

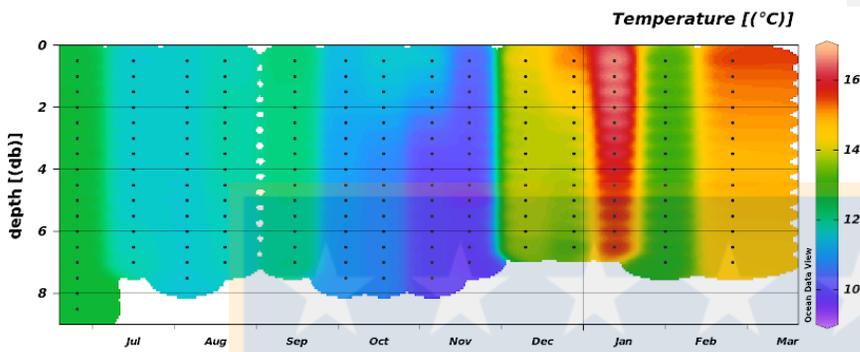


Figura N°7: Perfil de temperatura en cultivo Granja Marina, Coliumo.
 Fuente: Proyecto FONDECYT Iniciación 11201098.

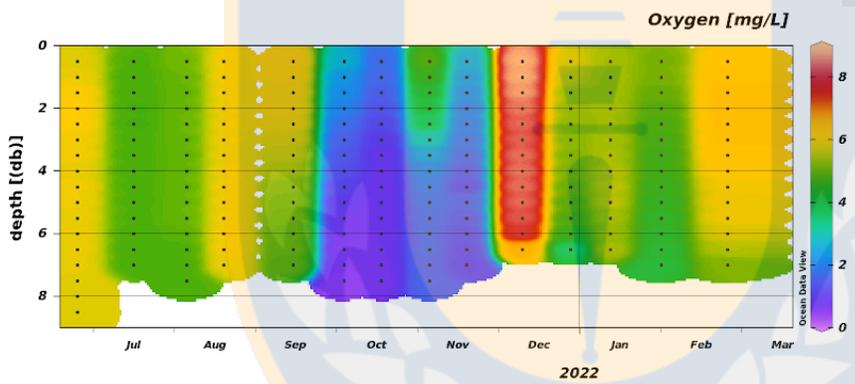


Figura N°8: Perfil de oxígeno en cultivo Granja Marina, Coliumo.
 Fuente: Proyecto FONDECYT Iniciación 11201098.

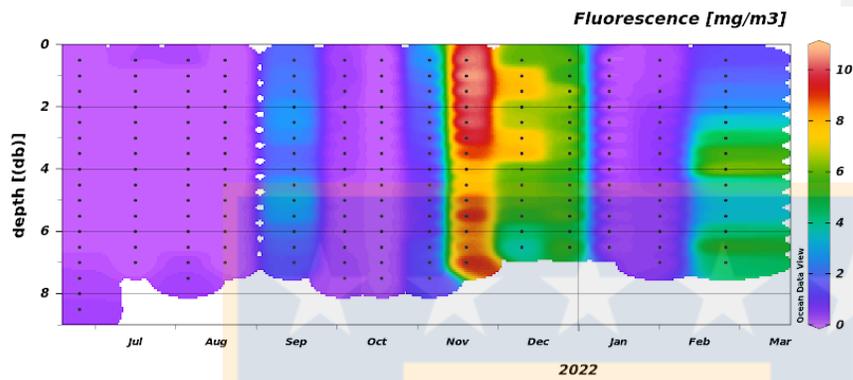


Figura N°9: Perfil de fluorescencia en cultivo Granja Marina, Coliumo.
 Fuente: Proyecto FONDECYT Iniciación 11201098.

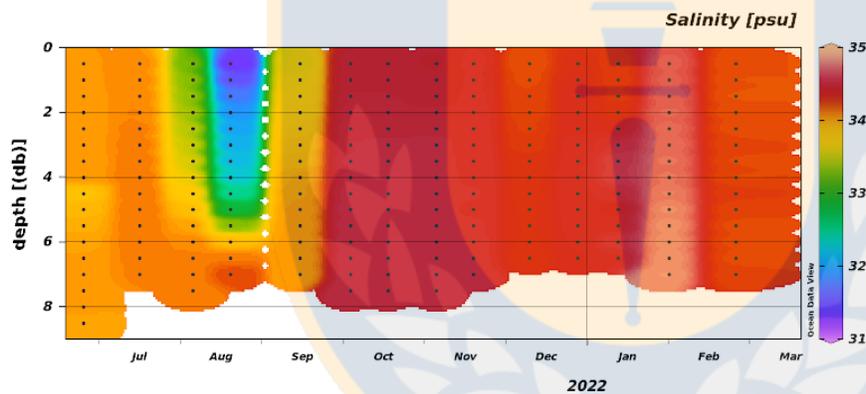


Figura N°10: Perfil de salinidad en cultivo Granja Marina, Coliumo.
 Fuente: Proyecto FONDECYT Iniciación 11201098.

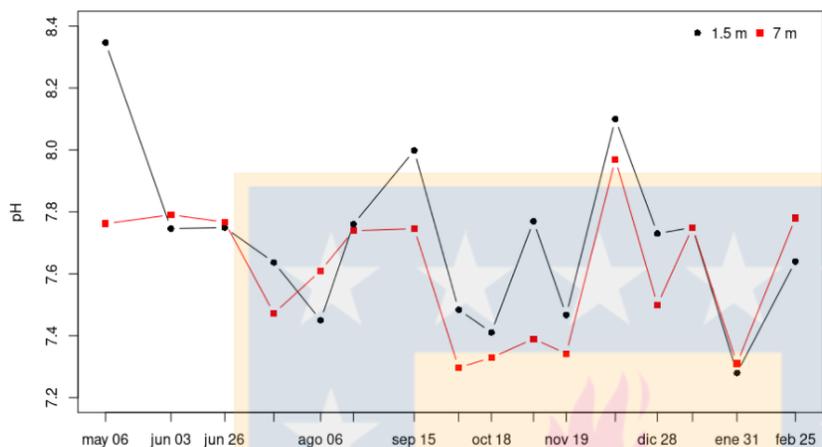


Figura N°11: Niveles de pH en cultivo Granja Marina, Coliumo.
Fuente: Proyecto FONDECYT Iniciación 11201098.

5.2 Conocimiento local

Se realizó la entrevista semiestructura (disponible en el ANEXO 1), a la dueña del cultivo piloto, la Sra. Jessica Cabrera. En la primera parte de la entrevista se enfatizó en preguntas personales a la acuicultora para lograr obtener un ambiente abierto de confianza. Algunos de los datos obtenidos en esta sección destacan:

- La Sra. Cabrera trabaja en caleta del medio, Coliumo, hace aproximadamente 20 años. Su abuelo y su padre fueron pescadores y actualmente trabaja con su hermano en acuicultura de pequeña escala.
- Ha trabajado en otros sectores, como consultora de bienes nacionales adquiriendo experiencia en el tema de propiedades, dominios, derechos y en universidades ligándose así al ámbito científico. También se ha desarrollado

como dirigente social desde muy temprana edad, por lo tanto, ha formado conexiones con diversas autoridades de la región.

- El cultivo comenzó a mediados de 1997 tramitando las concesiones, hasta tenerla finalmente en el año 2008. Comenzó con pequeños cultivos hasta el año 2010 donde lo perdió todo con el terremoto y tsunami del 27 de febrero. Luego en 2013 nace Granja Coliumo con observaciones de profesores asociados a la Universidad de Concepción.
- Ha sido testigo de diversas actitudes machistas en el sector.
- Ha trabajado en proyectos científicos y su experiencia no ha sido muy buena, ya que los científicos generalmente se guardan la información y es difícil que la compartan.

La segunda parte de la entrevista, se enfocó en preguntas relacionadas con el cultivo y cómo el cambio climático lo ha ido afectando. De los recursos que ha cultivado, la encuestada destaca al choro zapato como uno de los más fáciles de trabajar y de los recursos más resistentes. Actualmente se encuentra cultivando ostra japonesa, comprando la semilla en el norte de Chile, en la comuna de Tongoy, nos explica que esta semilla tiene un mejor crecimiento en épocas de sol y crecen en promedio de 1.5 a 3 cm por mes.

También se menciona que el sistema de la bahía ha ido cambiando debido al cambio climático, se han hecho más frecuentes las bajas de oxígeno, las varazones de peces y cada vez más eventos de surgencia generando mortalidades. Estos cambios han tenido efectos en sus cultivos, ya que ha notado que el crecimiento de los recursos es más lento, por ende, cuesta que lleguen a la talla comercial, lo que ha generado problemas con sus compradores generando preocupación y la necesidad de replantear el continuar en esta actividad.

En cuanto al ciclo productivo de la ostra japonesa, la acuicultora explica que lo ideal es comprar las semillas en octubre para aprovechar la época de sol y buena disponibilidad de alimento. Al llegar la semilla a mediados de octubre deben instalarse inmediatamente en las linternas cuna, allí pasan aproximadamente 3

meses en invierno o 2 meses en verano. Al alcanzar una medida de 3 cm se realiza el desdoble (cambio de linterna) a linternas juveniles. Finalmente, cuando la ostra alcanza los 5 cm aproximadamente se realiza el desdoble a linternas adulto para luego de 3 meses cosechar el recurso.

Al pasar a la sección de variables ambientales y monitoreo, la acuicultora realizó una priorización de las variables que según su criterio son las de mayor importancia en el área para ser monitoreadas. Como se puede observar en la Tabla N°1. la variable más relevante para ella es el oxígeno y la disponibilidad de alimento. Al preguntarle la forma de informarse respecto a estas variables, comentó que el hecho de estar conectada a la Universidad de Concepción cuenta regularmente con proyectos o estudiantes tesisistas que le han facilitado el manejo de estas variables, además de informes de INFOP, páginas web y buceos.

Tabla N°1: Variables ambientales de importancia según acuicultora.

Variable	Prioridad
Oxígeno	Muy Alta
Alimento	Muy Alta
Ph	Alta
Temperatura	Media
Salinidad	Media

Otro punto importante de conocimiento local que fue mencionado en la entrevista es la información específica que la acuicultora tiene de la bahía, entre ello es importante mencionar que entre los meses de octubre a diciembre ingresan aguas de color oscuro a la bahía y la población mayor de la localidad comenta que debido a eso saben que ingresan cierta cantidad de peces. También debido a estos eventos son las bajas de oxígeno, ya que desde octubre en adelante se

genera un viento sur fuerte. Esto con los años ha ido cambiando, ya que el viento sur está ingresando en noviembre en vez de en octubre.

En la última sección de la entrevista sobre adaptación, la Sra. Cabrera comenta que ha tomado diversas medidas para evitar efectos en sus cultivos, entre ellas cambiar los recursos que cultiva por los más resistentes, realizar investigaciones para cultivar algas dentro del cultivo para generar una mayor biodiversidad y ayudar al sistema a recuperarse frente a bajas de oxígeno, realizar mejoras en los sistemas de cabos, pasando de 8 a 32 mm evitando así pérdidas cuando hay temporales y vientos fuertes, además de aumentar los bloques de cemento y mejorar las boyas por otras más pequeñas. En cuanto a la opción de instalar sensores de monitoreo, es una medida que ha pensado; pero no la ha llevado a cabo debido a los altos costos que estos sensores tienen. En su opinión, el gobierno debe dar apoyo para financiar monitoreo de variables ambientales en las zonas costeras del país; pero además monitorear otras variables sanitarias como bacterias, microalgas tóxicas y bacterias fecales, que pueden afectar a los cultivos.

5.3 Variables de importancia para bivalvos

Para la revisión bibliográfica general, se analizaron un total de 25 estudios realizados en Chile central sobre bivalvos (Tabla N°2).

Tabla N°2: Variables nombradas de importancia para bivalvos en estudios realizados en Chile.

Autor	Bivalvo	Variables									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Urban, H (1994)	<i>Choromytilus chorus</i>	X							X		

Martínez et al (2000)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X	X										
Navarro et al (2000)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X	X										
Montecinos et al (2009)	<i>Perumytilus purpuratus</i>				X				X				
Navarro et al (2013)	<i>Mytilus chilensis</i>	X	X	X	X	X	X	X					
Duarte et al (2014)	<i>Mytilus chilensis</i>	X	X	X	X		X						
Briones et al (2014)	<i>Perumytilus purpuratus</i>	X			X		X						
Mesas & Tarifeño (2015)	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	X	X						X	X	X		
Vargas et al (2015)	<i>Perumytilus purpuratus</i>	X	X		X	X	X	X					X
Ramajo et al (2015)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X	X		X	X	X	X					
Lagos et al (2016)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X		X	X	X	X	X	X				
Pérez et al (2016)	<i>Perumytilus purpuratus</i>		X	X	X	X	X						X
Lardies et al (2017)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X	X	X	X	X	X	X					
Castillo et al (2017)	<i>Mytilus chilensis</i>	X		X	X		X						
Díaz et al (2018)	<i>Mytilus chilensis</i>	X	X		X		X						
Saavedra et al (2018)	<i>Perumytilus purpuratus</i>	X	X	X	X	X	X	X					X
Thomsen, I (2018)	<i>Ostrea chilensis</i>	X	X	X	X				X		X		
Duarte et al (2018)	<i>Mytilus chilensis</i>			X	X		X	X					

Oyarzun et al (2018)	<i>Perumytilus purpuratus</i>	X	X	X		X					
Ramajo et al (2019)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X	X		X	X		X	X		
Ramajo et al (2020)	<i>Argopecten purpuratus</i>	X	X		X	X		X			
Grenier et al (2020)	<i>Mytilus chilensis</i>	X	X	X	X						
Saavedra et al (2020)	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	X	X	X	X	X	X	X			X
Jahnsen-Guzmán et al (2021)	<i>Mytilus chilensis</i>	X	X	X	X		X	X			
Montory et al (2021)	<i>Perumytilus purpuratus</i>	X	X	X				X		X	

Las variables son 1: Temperatura; 2: Alimento; 3: Salinidad; 4: Ph; 5: Surgencia; 6: pCO₂; 7: Oxígeno; 8: El NIÑO; 9: Corrientes/oleaje; 10: Influencia de ríos.

Al realizar una tabla para analizar cuáles son las variables ambientales priorizadas por estudios de bivalvos en Chile (Tabla N°3), siguiendo la metodología, con la cantidad total de estudios se obtuvo que:

1. Rango = 25
2. Intervalos = 5
3. Amplitud = $25/5 = 5$

Por lo tanto, se clasificará como:

- Prioridad “Muy baja” aquellas variables que sean nombradas entre 0-4 estudios
- Prioridad “Baja” aquellas variables que sean nombradas entre 6-10 estudios
- Prioridad “Media” aquellas variables que sean nombradas entre 11-15 estudios
- Prioridad “Alta” aquellas variables que sean nombradas entre 16-20 estudios

→ Prioridad “Muy alta” aquellas variables que sean nombradas entre 21-25 estudios

Se encontró que la temperatura, junto con el pH y la disponibilidad de alimento son las variables más nombradas por los estudios como de importancia para especies bivalvos debido a que pueden generar algún efecto importante sobre ellos.

Tabla N°3: Priorización de variables ambientales de estudios realizados en bivalvos en Chile.

Variable	Prioridad (veces mencionada)
Temperatura	Muy alta (22)
PH	Alta (19)
Alimento	Alta (18)
Oxígeno	Media (15)
Salinidad	Media (14)
Pco2	Media (14)
Surgencia	Media (11)
Influencia ríos	Muy baja (4)
NIÑO	Muy baja (4)
Corrientes/oleaje	Muy baja (3)

Se puede observar que las primeras 5 variables concuerdan con las variables mencionadas en la sección de conocimiento local, aunque sí difiriendo en la prioridad. Considerando las variables ambientales identificadas como relevantes para el área de estudio, como para los bivalvos en general, sumado al conocimiento local entregado por la acuicultora, se procedió a seleccionar las variables necesarias de monitorear en la APE piloto. Como ésta se encuentra en una zona caracterizada por presentar eventos estacionales de afloramiento

costero, es imprescindible monitorear el oxígeno, la temperatura y la salinidad, ya que son estas variables las que pueden presentar cambios abruptos en la zona, pudiendo llegar a causar mortalidad. Por otro lado, gracias a los datos entregados por el conocimiento local, se debe agregar la disponibilidad de alimento como una variable necesaria de monitorear, ya que la acuicultora la clasificó junto al oxígeno, como una prioridad muy alta en esta bahía. Finalmente, también se seleccionará la variable de pH, ya que como se mencionó anteriormente, debido al cambio climático se está observando una acidificación del océano, lo que puede afectar a la acuicultura de bivalvos. Y como se muestra en la Tabla N°4, estudios en bivalvos clasifican al pH como una variable de alta prioridad, sólo superada por la temperatura.

Por lo tanto, las variables seleccionadas para ser monitoreadas en la APE piloto son: la temperatura, el oxígeno, la salinidad, el alimento y el pH.

5.4 Priorización de las variables para *Crassostrea gigas*

Ya seleccionadas las variables ambientales, se procedió a la revisión bibliográfica específica de la especie de bivalvo que se está cultivando en la APE piloto, la que corresponde a la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*), para entender la importancia de cada variable, las condiciones óptimas para su cultivo y los posibles efectos que puede tener la especie cuando se expone fuera de estas condiciones. Además, la Tabla N°4 muestra los rangos óptimos para el crecimiento de ostra japonesa con sus respectivas referencias bibliográficas.

Tabla N°4: Rangos óptimos para el cultivo de ostra japonesa.

Variable	Rango	Referencia
Temperatura (°C)	11 – 25	Sato, 1967
	10 - 25	FIPA, 2015-02

	20 – 25	Mazón, 1996; Fujiya, 1970; Cáceres-Martínez, 1994
	11 - 34	Escudeiro, 2006
pH	7 - 9	Korringa, 1976
	7.3 – 8.2	Li et al 2014
Clorofila (mg/m ³)	3.6 – 13.3	Valenzuela-Hernández, 2013
Oxígeno (mg/L)	2.57 – 10.82	Rodríguez-Quiroz, 2016
	5 - 10	FIPA, 2015
Salinidad (PSU)	15 – 30	Nell y Holliday, 1988
	25 – 37	Mazón, 1996
	10 - 34	FIPA, 2015
	25 – 38	Korringa, 1976
	28 – 32	Bi et al, 2021

Temperatura

Existe una amplia literatura que confirma que *C. gigas* es una especie que tiene un amplio límite de tolerancia térmica, que puede adaptarse a temperatura elevadas de hasta 35° sin presentar mortalidad y que poseen una capacidad para ajustar las tasas fisiológicas para enfrentar el cambio de temperatura ambiental, por lo que solo valores extremos podrían afectar a este organismo. (Gagnaire et al., 2006; Rico-Villa et al., 2009). Rodríguez-Quiroz et al (2016) también confirmaron que las ostras japonesas tienen una alta tolerancia a los cambios abruptos de temperatura, tolerando temperaturas de 15-30°C sin afectar sus funciones alimenticias y reproductivas.

Por lo tanto, las altas temperaturas o las fluctuaciones drásticas de temperatura por sí solas no provocan mortalidad masiva de ostras. Más bien cuando se tiene una combinación de factores estresantes, como durante eventos de escorrentía, o durante eventos de afloramiento, donde la temperatura, el oxígeno tienen un

mayor impacto en el rendimiento de las ostras (Malham et al., 2009; Hollarsmith et al., 2020).

Entre los efectos que pueden tener estos organismos a los cambios extremos de la temperatura, es la afectación a la función hemocítica, lo que conduce a estrés oxidativo, reduciendo la inmunovigilancia (Rahman et al., 2019).

Oxígeno

Se ha demostrado que el oxígeno es una variable fundamental para *C. gigas* y para los bivalvos en general. Una disminución abrupta en las concentraciones de oxígeno disuelto podría causar un evento de mortalidad repentina en ostras del pacífico (Chávez-Villalba et al., 2007). Aunque bien comparado con otras especies de bivalvos como los mejillones, las ostras japonesas han demostrado ser más resistentes a la inducción de apoptosis, inflamación y daño tisular durante la hipoxia debido a que se recuperan rápidamente después de reoxigenación (Falfushynska et al., 2020). Pero, aun así, aunque las ostras actúan como reguladores, son reguladores débiles, fuertemente dependientes del oxígeno (Le Moullac et al., 2007).

Recientemente, Andreyeva et al (2021) demostraron que la hipoxia en *C.gigas* indujo modificaciones en los parámetros inmunes y la morfología de los hemocitos, así como en la composición celular de la hemolinfa, lo que representa su sensibilidad a un periodo relativamente largo de bajo suministro de oxígeno.

Salinidad

En cuanto a la salinidad, se ha demostrado que los hemocitos de *Crassostrea gigas* son capaces de sintetizar proteínas de choque osmótico, por lo que se protegen de las variaciones agudas de salinidad y solo valores extremos podrían ser perjudiciales para las ostras (Gagnaire et al., 2006). Además, existen estudios que prueban que *C. gigas* puede sobrevivir a salinidades de 15 a 40 psu; pero que el rango óptimo para el crecimiento de las larvas es de 10 a 27 psu y el rango óptimo para las semillas es de 15 a 30 psu. (Nell & Holliday, 1988).

Es importante analizar la zona geográfica, la cual como se mencionó anteriormente, en época invernal se pueden percibir cambios en la salinidad de la bahía debido a aportes de ríos y precipitaciones (Vargas & Martínez, 2009). Malham et al (2009) planteó que una de las razones de un evento de mortalidad en un cultivo en Irlanda pudo ser las altas concentraciones de nutrientes de origen terrestre detectados como CDOM y apoyando la hipótesis que la descarga de agua dulce de las áreas de cultivo puede debilitar a las ostras dejándolas sensibles a factores estresantes adicionales. Por esta razón, en eventos de escorrentía ocurridos en la estación húmeda, los gradientes de salinidad, las concentraciones de nutrientes y la alcalinidad tienen un mayor impacto en el rendimiento de las ostras (Hollarsmith et al., 2020) y por ende se deben monitorear con mayor frecuencia.

Estudios recientes, han mostrado que la salinidad no tiene un efecto significativo en la tasa de supervivencia de las ostras y que una salinidad de 25 psu no es fisiológicamente óptima para *C. gigas*, en cambio, una salinidad de 28 y 32 psu proporciona un ambiente adecuado para las ostras (Bi et al., 2021).

Alimento

La disponibilidad de alimento junto con la temperatura son variables que pueden afectar al desarrollo de las ostras y se relacionan entre sí. Así lo han demostrado varios autores como Mizuta et al (2012) que concluyó que el cultivo de la especie *C. gigas* puede verse limitado por la temperatura como por la disponibilidad de alimento, Hollarsmith et al (2020), que concluyó que durante la temporada de escorrentía invernal, las bajas temperaturas y los bajos niveles de fitoplancton corresponden con un bajo crecimiento de ostras, Barraza-Guajardo et al (2008) que notó que en *C.gigas* la tasa de adquisición de alimentos y consumo de oxígeno dependen de la temperatura del agua. Rico-Villa et al (2008) también notó que, a temperaturas bajas, las larvas muestran una ingestión constante; pero débil resultando en un crecimiento lento y esto podría deberse a la incapacidad de asimilar los alimentos ingeridos a baja temperatura.

En cuanto a la importancia de esta variable se encuentran ciertas diferencias en los estudios. Algunos dicen que la cantidad de alimentos es un factor esencial para el desarrollo exitoso, donde un suministro mayor genera un desarrollo óptimo en larvas; pero otros han concluido que la disponibilidad de alimentos no es un factor limitante, que no afecta la supervivencia de la ostra y que, comparado con la temperatura del agua, la abundancia de alimentos tiene un efecto menor. (Rico-Villa et al., 2009; Mizuta et al., 2020; Barraza-Guardado et al., 2008; Castillo-Duran et al., 2010; Rodríguez-Quiroz et al., 2016)

pH

El exponer ostras a condiciones acidificadas podría causar estrés oxidativo en los hemocitos, teniendo un impacto significativo en el sistema inmunológico y aumentando así la susceptibilidad a las enfermedades. Hay estudios que han encontrado una reducción en el éxito del desarrollo de larvas de *C. gigas*, donde al exponerse a condiciones acidificadas no se vería afectada su supervivencia, pero sí su crecimiento, creciendo más lentamente y teniendo una tasa de calcificación mucho menor en comparación a condiciones de control. (Wang et al., 2016; Kurihara et al., 2007; Dineshram et al., 2016).

Por otro lado, existen otros autores como Barton et al (2012), que han sugerido que estos efectos de la acidificación durante el desarrollo afectan a las larvas en etapa intermedia, es decir, existe un efecto retardado de la química del agua en el desarrollo de las larvas. Esto es confirmado por Gazeu et al (2011) donde no se observaron efectos significativos durante los primeros días de desarrollo de las larvas.

Al ver los efectos del pH en combinación con otros factores como la temperatura o la salinidad, el pH parece jugar un papel clave en el éxito de la metamorfosis larval de *C. gigas*, ya que independiente de la temperatura elevada o la salinidad reducida, el éxito en la metamorfosis se reduce sustancialmente a un pH reducido (Ko et al 2014).

5.5 Modelo biológico

El modelo biológico fue realizado por una parte con los datos entregados por el proyecto FONDECYT de los gráficos de los perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno, alimento y pH y por otro lado con los datos de los tiempos de producción y fechas de desove/cosecha entregados por el conocimiento local de la acuicultora. En la Figura N°12 se puede apreciar el modelo biológico construido, el cual nos sirvió para crear finalmente la propuesta de monitoreo necesaria para la producción de ostra japonesa en la bahía de Coliumo, adaptado a la acuicultura de pequeña escala.

Es importante mencionar que este modelo biológico fue diseñado en base a muestreos puntuales realizados mensualmente, por ende, en este ejercicio no se está considerando la variabilidad de mayor frecuencia (i.e horas, días, semanas) de la química del agua, ya que sabemos que los distintos parámetros ambientales pueden variar diariamente y a cada minuto. Los datos ocupados en este modelo fueron los medidos a dos profundidades, a uno y a seis metros, esto con la finalidad de entregar a la acuicultora una herramienta extra para la toma de decisiones sobre su cultivo.

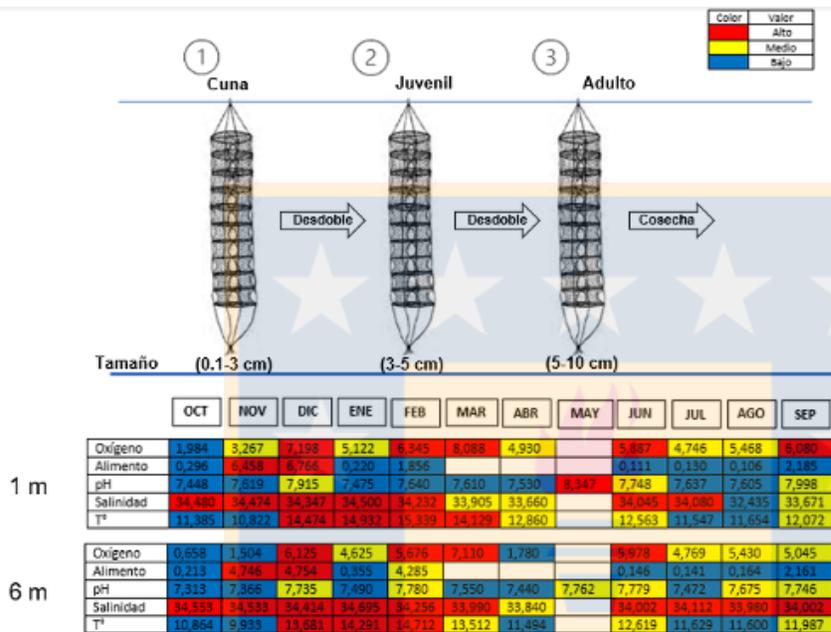


Figura N°12: Modelo biológico de la ostra japonesa a dos profundidades.

Como muestra el modelo biológico la semilla es puesta en el sistema a mediados de octubre en las linternas cuna, allí pasan aproximadamente 3 meses o hasta que alcanzan una medida aproximada de unos 3 centímetros, en ese momento se realiza el primer desdoble hacia las linternas juveniles, donde están igualmente de 2 a 3 meses, debido a que estos meses se caracterizan por tener mayor cantidad de radiación solar. El siguiente desdoble se realiza entre los meses de marzo y abril pasando a las linternas adulto, en la cual estarán desde aproximadamente los 5 centímetros hasta alcanzar la talla comercial que es de unos 10 centímetros.

Se puede observar en el modelo que en la zona donde está ubicada el centro APE se alcanzaron valores de temperatura entre 9 a 15°C, que en los meses de octubre y noviembre ocurrieron episodios donde se llegaron a valores mínimos

de oxígeno y por el contrario en los meses de diciembre y marzo se obtuvieron altos valores de oxígeno cercanos a los 8 mg/L. En cuanto al alimento, la mayoría de los meses se detectaron bajos niveles, excepto en noviembre y diciembre donde se tuvieron los mayores valores de fluorescencia. La salinidad se mantuvo relativamente constante de octubre a marzo con niveles de 35 psu presentándose solo en el mes de agosto niveles de salinidad más bajos de 32 psu. Los niveles de pH no presentaron una tendencia clara, presentando valores mínimos de 7.3 registrado en octubre a 8.3 registrado en el mes de mayo.

En cuanto a la profundidad, no se observan cambios significativos, a excepción del oxígeno, donde en el mes de noviembre se puede apreciar el doble de oxígeno a una menor profundidad, pasando de un nivel bajo a un nivel alto. De la misma forma, en septiembre se observa que a una menor profundidad se tiene un valor de oxígeno más alto (6,080) que el que se tiene a una mayor profundidad (5,045). Por otro lado, la salinidad también presenta algunos cambios en la clasificación, ya que a una profundidad de 6 metros se mantiene en el rango "alto" en todo el año, esto se debe a los aportes de ríos y lluvias que modifican las capas superficiales del agua.

Con esta información se puede concluir que el periodo más favorable para introducir las semillas en el sistema de cultivo es en el mes de diciembre, ya que los bajos niveles de oxígeno presentados en octubre/noviembre podrían causar eventos de mortalidad en las ostras, ya que estas son fuertemente dependientes del oxígeno, sobre todo en sus etapas más tempranas de vida. Además, en el mes de diciembre se tienen temperaturas un poco más elevadas, acercándose a los rangos óptimos para el crecimiento de las ostras. Por otro lado, en este mes los rangos de pH medidos son mayores a los medidos en los meses de octubre, por lo que se evita exponer a las semillas a valores más bajos de pH. (condiciones de acidificación).

5.6 Diseño del sistema de monitoreo

Mediante el proceso participativo realizado a través de la entrevista individual a la acuicultora y la información científica disponible tanto de la zona costera como de la especie cultivada, se obtuvieron las variables que debieran ser monitoreadas, las cuales corresponden a la temperatura, el oxígeno, la salinidad, alimento y pH. Con esta información se procedió a buscar el equipo que idealmente cuente con los sensores necesarios para monitorear simultáneamente todas estas variables.

Continuando con la metodología descrita en el manual FAO 2021 (Figura N°6), ya establecido el sitio de muestreo el cual corresponde al centro de cultivo de pequeña escala, es necesario definir la frecuencia del monitoreo. Como el centro de cultivo se encuentra ubicado en una zona marcadamente estacional; pero en la cual se han registrado eventos de surgencia más recurrentes que han provocado eventos de mortalidad masiva, por lo que idealmente se recomienda determinar un monitoreo constante. Esto es factible ya que, al tratarse de una actividad acuícola, se deben establecer muestreos periódicos para determinar el crecimiento, la salud del animal y para vigilar el comportamiento de los sistemas de cultivo. (Robledo & Novoa, 2021).

El adecuado manejo del cultivo con el fin de asegurar alta sobrevivencia implica una buena planificación de actividades de limpieza y en especial los desdobles. Las ostras cuando crecen necesitan espacio dentro de las linternas y cuando no se realiza el desdoble se detiene el crecimiento y en el peor de los casos se presentará alta mortalidad por la falta de alimento. Además, en los desdobles se sacan los depredadores que pueden encontrarse dentro de las linternas. Normalmente se recomienda realizar una observación **semanal** del cultivo y así planificar las limpiezas y desdobles. (Vásquez et al., 2009).

Para los parámetros fisicoquímicos como temperatura, salinidad, oxígeno, etc. Es conveniente registrar datos a la misma hora del día y con los mismos equipos de medición, que deben estar calibrados. También es conveniente que la muestra sea tomada por la misma persona y bajo el mismo protocolo. Se debe

contar con la bitácora de campo para registrar datos. Es deseable que estos datos se tomen **diariamente** (Cáceres & Vásquez, 2014).

De igual manera, el manual de la FAO considera que para la acuicultura es más apropiado y factible realizar monitoreo en forma manual, ya que los recursos se encuentran en un área específica y el manejo del cultivo permitiría a la acuicultora realizar monitoreo manuales. De igual forma se analizarán las dos opciones de monitoreo, para que finalmente la acuicultora decida el más beneficioso y apto para su cultivo considerando que se trata de un monitoreo participativo. En el ANEXO 2 se expone de una forma detallada cada opción de monitoreo, su forma de uso y especificaciones técnicas.

Hay que tener claro que los sensores aptos para la acuicultura y en general, para la vigilancia marina, son relativamente caros, debido a los costos de fabricación, implementación y recuperación. Los sensores submarinos autónomos deben ser de bajo mantenimiento, bajo costo, batería resistente, resistente al agua, resistente a la bioincrustación y sin efecto sobre los organismos. Una alta precisión no es tan importante, en acuicultura el nivel de precisión requerido es menor comparado con otras aplicaciones. (Parra, L. 2018).

Opción A: monitoreo manual

En el monitoreo manual se encontraron 2 equipos que tienen la capacidad de medir las variables seleccionadas. Por un lado, el multiparámetro marca "Hanna Instrument" (Figura N°13), el cual mide 4 de las 5 variables seleccionadas (PH, oxígeno, temperatura y salinidad). Este medidor es recomendado que sea calibrado antes de cada uso y tiene una opción de calibración rápida que agiliza el proceso. Su precio es de \$1.594.000 aproximadamente.

Debido a su alto precio se buscó otro medidor con características similares; pero más económico, se encontró el multiparámetro marca "Veto" (Figura N°14). Este instrumento igualmente mide 4 de las 5 variables seleccionadas (pH, oxígeno, temperatura y salinidad). En este caso, también se recomienda calibrar el medidor antes de cada uso, y a diferencia del anterior no cuenta con calibración

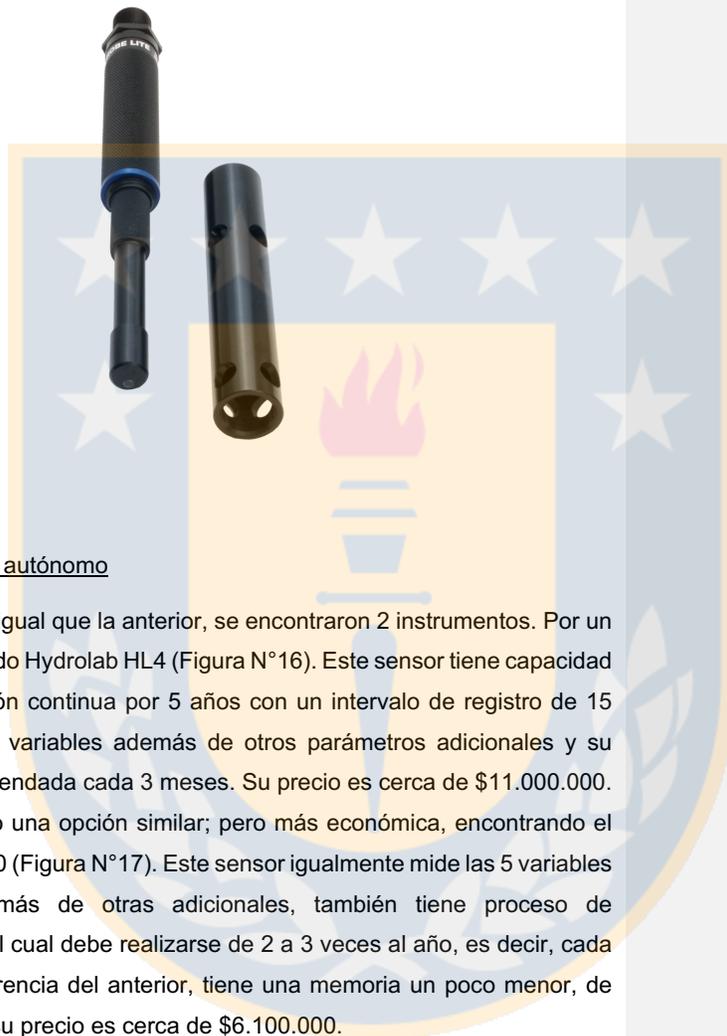
rápida, por lo tanto, debe realizarse para cada parámetro. Otra diferencia con el medidor de Hannah es que no cuenta con un sistema de software y cuenta con una menor memoria. Por otro lado, el valor es de \$655.400, siendo más económico.

Figura N°13: Multiparámetro HI98194 Figura N°14: Multiparámetro L0210036



Ninguno de estos dos medidores cuenta para medir la variable del alimento, por ende, se debe contar con un instrumento adicional para ambos casos, el cual es el Aqua Read AP-Lite (Figura N°15) el cual puede medir clorofila y tiene un precio aproximado de \$2.500.000.

Figura N°15: Sensor Aqua Read AP-Lite.



Opción B: monitoreo autónomo

Para esta opción, al igual que la anterior, se encontraron 2 instrumentos. Por un lado, el sensor llamado Hydrolab HL4 (Figura N°16). Este sensor tiene capacidad para realizar medición continua por 5 años con un intervalo de registro de 15 min. Mide todas las variables además de otros parámetros adicionales y su calibración es recomendada cada 3 meses. Su precio es cerca de \$11.000.000. Igualmente se buscó una opción similar; pero más económica, encontrando el medidor aquatroll 500 (Figura N°17). Este sensor igualmente mide las 5 variables seleccionadas, además de otras adicionales, también tiene proceso de calibración guiado, el cual debe realizarse de 2 a 3 veces al año, es decir, cada 4 o 6 meses. A diferencia del anterior, tiene una memoria un poco menor, de 100.000 registros y su precio es cerca de \$6.100.000.

Figura N°16: HYDROLAB HL4.



Figura N°17: Aqua TROLL 500.



Opción C: Combinación

Una tercera opción es una combinación de métodos, es decir, contar tanto con un monitoreo autónomo como con un monitoreo manual. Para este caso sería más conveniente tener el medidor multiparámetro L0210036, ya que es más sencillo y su precio es considerablemente menor al otro multiparámetro manual, combinado con el monitoreo autónomo entregado por HYDROLAB HL4.

Esta opción sería útil ya que se contará con información entregada en tiempo real con los sensores autónomos y el monitoreo manual puede ser realizado por la acuicultora para momentos específicos como tiempos de siembra, desdoble, cosecha, o para cuando ocurran eventos de hipoxia, varazones o eventos extremos como tormentas.

Además, con esta opción se puede contar con el medidor multiparámetro manual sin tener que adquirir el otro sensor de clorofila, ya que este parámetro está incluido en el monitoreo autónomo. Así la opción C más económica tendría un total de \$6.759.800. Pero en caso de escoger los instrumentos de mayor valor, es decir, el sensor HYDROLAB HL4 junto con el medidor multiparámetro de Hannah Instruments, se alcanzaría un total de \$14.753.680.

En la Tabla N°10 podemos observar una comparativa entre las distintas opciones de monitoreo entregadas, junto al presupuesto aproximado de cada una de ellas.

Tabla N°5: Tabla comparativa de las opciones de monitoreo.

Opción	Opción A: monitoreo manual		Opción B: monitoreo autónomo		Opción C
	HI98194	L0210036	HYDROLAB	AQUA TROLL 500	
Parámetros medidos	pH/mV, ORP, CE, TDS, Resistividad, Salinidad, Agua de mar, Oxígeno disuelto, Presión atmosférica y Temperatura	pH, Conductividad, Salinidad, Temperatura y Oxígeno disuelto	Temperatura, Conductividad, Salinidad, Profundidad, pH, Oxígeno disuelto, Turbidez, ORP, Clorofila a, Amonio, Rodamina, Nitrato, Cloruro	Temperatura y presión, Oxígeno disuelto, Conductividad, Salinidad, ORP, pH, TDS, Resistividad, Densidad, Turbidez, Clorofila a, Nitrato, Cloruro, Amonio, Rodamina	L0210036 (sin el sensor de clorofila) + AQUA TROLL 500

Especificaciones técnicas	Rango T°: -5 a 50 °C OD: 0 a 50 mg/L SAL: 0 a 70 psu pH: 0 a 14 Resolución T°: 0.01 OD: 0.01 SAL: 0.01 pH: 0.01	Rango T°: 0 a 60 °C OD: 0 a 30 mg/L SAL: 0 a 42 psu pH: 2 a 12 Resolución T°: 0.1 OD: 0.1 SAL: 0.1 pH: 0.01	Rango T°: -5 a 50 °C OD: 0 a 60 mg/L SAL: 0 a 70 psu pH: 0 a 14 CHL: 0 – 500 µg/L Resolución T°: 0.01 OD: 0.01 SAL: 0.01 pH: 0.01 CHL: 0.01	Rango T°: -5 a 50 °C OD: 0 a 60 mg/L SAL: 0 a 350 psu pH: 0 a 14 CHL: 0 – 1000 µg/L Resolución T°: 0.01 OD: 0.01 SAL: 0.1 pH: 0.01 CHL: 0.01	
Necesidad de adquirir otro equipo	SI, sensor para medir clorofila (+\$2.457.150)	SI, sensor para medir clorofila (+\$2.457.150)	NO	NO	
Calibración	Opción de calibración rápida o calibración por parámetro	Calibración de puntos múltiples	Recomendado calibrar entre 1 a 3 meses (no más de 90 días)	Recomendado calibrar 2 a 3 veces al año	
Software	Conexión USB para comunicación a PC	Un solo instrumento	Necesario instalar Hydrolab Operating Software en un PC	Android: VuSitu a través de Google Play Windows: Win-Situ 5	
Profundidad máxima	20 m	-	200 m	200 m	
Memoria	~ 45.000 registros	99 registros	~ 175.000 registros	~ 100.000 registros	
Intervalo de registro	1 segundo a 3 horas	-	Cada 15 minutos	1 lectura cada 2 segundos	
Tipo de batería	Baterías alcalinas AA 1.5 V (4pcs)	Baterías AAA (6pcs)	Batería alcalina D (1pcs)	Baterías alcalinas D (2pcs)	
Vida útil de la batería	360 horas de uso continuo sin retroiluminación	-	1.800 horas de uso con un intervalo de registro de 15 minutos	Depende de las condiciones del sitio y de la limpieza	

Precio	~ \$4.051.150	~\$ 3.112.548	~ \$10.702.530	~ 6.104.406 \$	Desde \$ 6.759.800 a \$ 14.753.680
--------	---------------	---------------	----------------	----------------	------------------------------------

5.7 Selección del sistema de monitoreo

Con las opciones entregadas en el punto 6.6, se procedió a conversar con la acuicultora para ver cuál es la opción más factible para ser implementada en su cultivo, teniendo el presupuesto de cada uno de ellos. Previo a conversar con ella se elaboró la tabla N°11 para mostrarle a la acuicultora las diferencias entre cada tipo de monitoreo.

Tabla N°6: Tabla comparativa entre monitoreo autónomo y monitoreo manual.

Tipo de monitoreo	Ventajas	Desventajas
Autónomo	Adquisición de datos en tiempo real, flexible, conveniente, de alta precisión, altamente escalable, algunos de ellos pueden ser alimentados por energías limpias como la energía solar.	Ubicación fija de muestreo de agua, falta de cobertura espacial de áreas específicas, alto costo para adquirirlo y para mantenimiento, el sensor debe limpiarse y calibrarse con frecuencia.
Manual	Los datos pueden ser utilizados directamente cuando se necesite tomar una decisión, por lo general son más económicos que los sensores autónomos.	El monitoreo manual consume muchos recursos humanos, requiere de mucho tiempo y es laborioso, demora en adquirir información, la calidad de los datos al ser tomados por alguien sin capacitación, calibración antes de cada uso para mayor precisión.

Luego de exponer la información sobre las distintas opciones de monitoreo, sus ventajas, desventajas, precios y manipulación, se concluyó que la mejor opción para la acuicultora es la opción C, es decir, contar con un monitoreo manual y un monitoreo autónomo. Para la frecuencia del monitoreo manual se estima que la realización de un monitoreo semanal es mucho más factible que un monitoreo diario, ya que el hecho de ir a monitorear también equivale a un costo de arriendo de embarcación, combustible y personal. En cuanto a los equipos sugeridos para

realizar el monitoreo, la acuicultora comenta que los precios si bien son elevados, se puede hacer un esfuerzo para realizar una inversión en la opción escogida. Dejando de lado el precio de cada equipo, se considera que la mejor opción para su cultivo es el sensor “Hydrolab HL4”, debido a la autonomía que le da a la acuicultora en la toma de datos, su poca frecuencia de calibración requerida ahorrando gastos de la embarcación y también debido a todos los parámetros que el sensor puede medir incluido nitratos, amonio y cloruro.

Entre las dificultades que se tendrían para implementar el sistema, se tiene lo complicado que puede resultar la tecnología para los acuicultores, ya que se debe preparar a la persona para saber bajar los datos e interpretarlos. En este caso la Sra. Cabrera cuenta con cierta experiencia en cuanto a monitoreo, debido a su ligamiento a las universidades y proyectos científicos. Ella comenta que ha utilizado diversos equipos de monitoreo manual, conociendo el proceso de la calibración, el cual califica como una dificultad media, es decir, un proceso complicado; pero que luego de ser estudiado, es posible de ser realizado. Por ende, la dificultad de implementar este monitoreo radica en que es necesario contar con el apoyo extra de un técnico o profesional especializado, para realizar aquellas funciones que la acuicultora no es capaz de realizar por sí misma.

Se le pregunta a la dueña del cultivo que tan dispuesta está en invertir en la opción escogida, en una escala de 1 a 10, donde 1 es nada dispuesta y 10 muy dispuesta, considerando que ella tendría que financiar el 100% de los gastos y su respuesta fue un 7. En cambio, si se tuviera la opción de contar con un cofinanciamiento, ya sea de parte del estado o del mundo científico, en la misma escala de 1 a 10, la acuicultora comenta que estaría muy dispuesta a invertir en el sistema de monitoreo, es decir, un 10.

Esto se debe a que los beneficios de implementar el sistema de monitoreo superan ampliamente las dificultades. El beneficio consiste en prácticamente que al ser implementado, la acuicultora contará con información necesaria para tomar decisiones sobre su cultivo, ya que contando con los datos sobre las tendencias que tienen las variables ambientales en la zona del cultivo a lo largo

del tiempo, le permitirá saber en qué fechas el sistema se encuentra más estable, para así programar las fechas de siembra y cosecha de las ostras, en los cuales pueda reducir los niveles de mortalidad del recurso, ya que estos serían implementados en las épocas con las condiciones más favorables para ellas, lo que se traduce en un aumento en la rentabilidad de la actividad económica, además de lograr la adaptación a aquellos cambios que se pueden generar debido al cambio climático.

Planificación del monitoreo

Una vez que ya se tiene seleccionado el sistema de monitoreo a implementar, se puede realizar una planificación del monitoreo. Primeramente, se deben realizar capacitaciones a las personas que se harían cargo del monitoreo. La capacitación debe incluir la forma en que se usan los sensores adquiridos, la descarga de datos del monitoreo autónomo y la toma de datos in situ para el caso del monitoreo manual. Para nuestro caso de estudio, la dueña del cultivo, la Sra. Jessica ya posee cierta experiencia con los sistemas de monitoreo debido a estar ligada constantemente a estudios y proyectos científicos, por lo que, en este caso, la capacitación será más sencilla.

Se recomienda instalar el sensor autónomo a una profundidad de 2 a 4 metros, ya que como se observa en los perfiles de oxígeno, salinidad y temperatura, más allá de 4 metros se observa un cambio en los parámetros que podría afectar el crecimiento de las ostras.

Otro punto importante mencionado anteriormente es que, observando nuestro modelo biológico y con los datos entregados por la dueña de cultivo sobre los meses de siembra, se sugiere que la semilla de ostra japonesa ya no sea comprada en los meses de octubre, debido a las condiciones desfavorables que se tienen en la columna de agua. En el mes de diciembre se perciben mejores condiciones, ya que se tienen aguas con alta cantidad de alimento y mayores niveles de oxígeno que en octubre, favoreciendo así el crecimiento de la ostra.

Además de realizar el monitoreo manual en forma semanal, se recomienda también que sea realizado en cada desdoble para tener en consideración las condiciones actuales del océano al momento de hacer los cambios de linterna y así asegurarse de tener una densidad de ostras adecuada para cada caso.

Aplicaciones del monitoreo como medida de adaptación al cambio climático

Implementando el sistema de monitoreo, este puede ser aplicado para que la acuicultora pueda tener medidas de respuesta tanto a corto como largo plazo y así finalmente tomar decisiones respecto a su cultivo y se genere la adaptación al cambio climático. Entre las acciones que puede realizar la dueña del cultivo respecto a los resultados, que va teniendo del monitoreo, según lo indican algunos manuales para el cultivo de ostras, está el cambio en las profundidades en las que se encuentran las ostras, buscando las condiciones que más se acerquen a los rangos óptimos para su crecimiento, ya que como apreciamos en el modelo biológico, algunos parámetros cambian en la columna del agua con la profundidad. También para el caso que el monitoreo entregue bajos niveles de clorofila, la acción a tomar se basa en la densidad del recurso en las linternas, ya que disminuyendo la densidad en las linternas realizando desdobles, se disminuye la competencia por espacio y alimento, lo que finalmente evita mortalidades (Pascual & Castaños, 2000; Vásquez et al., 2009; Cáceres & Vásquez, 2014; Robledo & Novoa, 2021).

Esto se corrobora con la información que nos entregó la dueña del cultivo, ya que ella comenta que a corto plazo, gracias al monitoreo implementado por el proyecto ha podido encontrar respuesta a algunos problemas de mortalidad o rendimiento en carne y el poco crecimiento de los moluscos en algunas épocas del año gracias al análisis de los datos tomados en el cultivo, donde al conocer este análisis ha podido tomar ciertas decisiones como por ejemplo, subir los cultivos cuando hay bajas de oxígeno o bajar los sistemas cuando hay poco alimento en el primer metro de agua. Además de tomar medidas como diversificar la producción, buscando especies que sean más resistentes a los

cambios que se observan en la bahía. La Tabla N°7 resume las acciones sugeridas que se deben tomar en caso de presenciar niveles fuera de los recomendados como rango óptimo para la ostra japonesa.

Tabla N°7: Acciones de adaptación sugeridas en caso de medir variables desfavorables para el cultivo de la ostra

Medición de variable	Algunas acciones de adaptación sugeridas
Oxígeno (<4 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologías para incrementar OD - Seleccionar especies más resistentes (cría selectiva) - Cambiar la profundidad de las linternas
Alimento (<5 mg/m ³)	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de densidades en las linternas - Mejora nutricional, incremento de alimento al sistema
pH (<7 y/o >9)	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar variedades más resistentes a bajos niveles de pH - Moverse si es posible a otro sitio de producción - Cambiar la profundidad de las linternas - Incorporar amortiguadores de pH
T° (<10 y/o >25) °C	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar variedades más resistentes (cría selectiva)
Salinidad (<10 y/o >38) psu	<ul style="list-style-type: none"> - Cambiar a especies eurihalinas - Cambiar la profundidad de las linternas

Por otro lado, para el largo plazo, una aplicación observable de la realización del monitoreo es la creación del modelo biológico, lo que finalmente nos ayuda a observar de una forma gráfica y simple las variables de importancia para el crecimiento óptimo del recurso cultivado en la zona donde se tiene el centro de cultivo, lo que nos ayuda a planificar las mejores épocas para la siembra del recurso a cultivar evitando mortalidades y por ende haciendo la actividad rentable.

6. CONCLUSIONES

Con este trabajo se pudo visualizar los pasos necesarios para implementar un monitoreo participativo aplicado a cualquier acuicultor. En nuestro caso se habla de “monitoreo participativo” y no comunitario, ya que se trabajó exclusivamente con un actor clave, el cual fue el encargado de entregar el conocimiento local que combinado con el mundo científico entra en la definición de monitoreo participativo de Evans & Guariguata (2008) señalada en el marco teórico. Como este trabajo se trata de un ejercicio piloto, es posible replicarlo en otros centros de cultivo incorporando a más actores claves de la comunidad y transformándose así en un monitoreo comunitario. Los pasos necesarios para implementar el sistema de monitoreo participativo consisten en una completa caracterización de la zona donde se tiene el cultivo, sumado a una amplia investigación sobre la especie cultivada, para luego incorporar los conocimientos locales del acuicultor interesado en implementar el monitoreo. Ya que teniendo esta información se puede encontrar la mejor opción para cada caso específico. Algunas conclusiones finales de este estudio se destacan a continuación:

- La zona costera de la Región del Bio-Bio es considerada un centro con surgencias estacionales, principalmente durante la época de primavera-verano, se ha postulado que estos centros de surgencia podrían verse intensificados debido al cambio climático, por lo tanto, variables como el oxígeno, la temperatura y el alimento podrían presentar cambios drásticos a lo largo de la columna del agua tanto en largos como en cortos periodos de tiempo. Es por ello que resulta necesario tomar medidas para que los acuicultores de la zona se puedan adaptar a estos cambios para así evitar eventos de mortalidad en sus cultivos.
- Incorporar el conocimiento local a la implementación de un monitoreo resulta de gran ayuda, ya que las personas que viven por años en la misma zona conocen a profundidad los eventos que ocurren en dicho lugar y a la vez están conscientes de los cambios que se van produciendo en el océano debido al cambio climático, lo que al ser combinado con el conocimiento

científico, el cual le da un análisis y una interpretación a los datos medidos por un monitoreo, logran una visión completa de la naturaleza de un sistema. Lo que hace al monitoreo participativo una excelente herramienta para lograr la adaptación al cambio climático. Así lo confirma el libro publicado sobre recomendaciones de políticas públicas para la adaptación al cambio climático en la pesca artesanal y la acuicultura de pequeña escala en Chile, el cual recomienda fortalecer los sistemas de observación oceanográfica y climática que generen información a nivel local y en tiempo real, además de generar capacidades nacionales y regionales para diseñar modelos e indicadores de alerta temprana que permitan atribuir efectos del cambio climático sobre la pesca y la acuicultura. (FAO, MMA y SUBPESCA. 2021). En nuestro caso, el incorporar el conocimiento local nos ayudó a comprender la especificidad de la zona, ya que como se pudo apreciar en el resultado de la entrevista, la acuicultora tiene como primera prioridad la variable de oxígeno, lo que difiere con lo encontrado en la revisión bibliográfica, por lo tanto, esto nos ayuda a poner una mayor preocupación en la necesidad de monitorear el oxígeno en la zona. Además, gracias a este conocimiento local se pudo evidenciar los cambios en el tiempo que han ocurrido en la bahía, ya que, por ejemplo, los eventos estacionales de surgencia que antes ocurrían marcadamente en el mes de octubre, actualmente están ocurriendo en forma tardía en los meses de noviembre/diciembre, lo que nos confirma que se están produciendo cambios en el sistema de la bahía.

- Un modelo biológico resulta ser una buena herramienta para que los acuicultores de pequeña escala conozcan el sistema donde tienen implementados sus cultivos y puedan observar de una forma gráfica cuales son las épocas más favorables para sembrar y cosechar sus recursos. En este caso el modelo biológico fue realizado con datos otorgados por un proyecto realizado en la zona; pero este proyecto se encargó de realizar uno o dos muestreos puntuales realizados mensualmente, por lo que no muestra de una forma completa la naturaleza del sistema, ya que las condiciones en el océano pueden cambiar diariamente, incluso de un minuto a otro se

pueden tener condiciones muy diferentes. Es por esta razón es que, para realizar correctamente un modelo biológico, es necesario contar con una amplia cantidad de datos, idealmente con datos tomados en muestreos horarios, para así diferenciar cuando las condiciones extremas en las variables son producidas, por ejemplo, por eventos de surgencia.

- Los beneficios que trae la implementación de un sistema de monitoreo radican principalmente en el otorgamiento de la información necesaria para conocer el sistema donde se tiene implementado el cultivo, lo que se traduce en una herramienta para tomar decisiones sobre el cultivo, como las fechas de siembra, desdobles y cosecha, o la manipulación del cultivo cuando se tengan condiciones desfavorables para el recurso, como cambios en las profundidades, o cambios en la densidad del recurso en cada linterna. En cuanto a las dificultades, el alto precio de los instrumentos necesarios para realizar monitoreo pueden incidir en la decisión final sobre invertir finalmente o no en la compra del sistema, sumado a la necesidad de contar con un personal científico de apoyo para las tareas que no pueda realizar la acuicultora por sí misma.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuasesorías. 2017. Proyecto FIPA N° 2015-02. Diseño y valoración de modelos de cultivo para la acuicultura de pequeña escala.

Aguirre, C., García-Loyola, S., Testa, G., Silva, D y Farías, L. 2018. Insight into anthropogenic forcing on coastal upwelling off south-central Chile. *Elem Sci Anth*, 6: 59.

Ahumada, R & V. Martínez. 1983. Circulation and fertility of waters in Concepción Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 16: 95-105.

Andreyeva, A.Y., Kladchenko, E.S. and Kukhareva, T.A. 2021. Shift in functional and morphological parameters of the Pacific oyster hemocytes after exposure to hypoxia. *Regional Studies in Marine Science* 48.

Bakun, A. 1990. Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling. *Science* 247(4939), 198-201.

Baptista, V., Ullah, H., Teixeira, C.M., Range, P., Erzini, K. and Leitao, F. 2014. Influence of Environmental Variables and Fishing Pressure on Bivalve Fisheries in an Inshore Lagoon and Adjacent Nearshore Coastal Area. *Estuaries and Coasts* 37(1), 191-205.

Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. 2018. *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.

Barraza-Guardado, R.H., Chavez-Villalba, J., Atilano-Silva, H. and Hoyos-Chairez, F. 2008. Seasonal variation in the condition index of Pacific oyster postlarvae (*Crassostrea gigas*) in a land-based nursery in Sonora, Mexico. *Aquaculture Research* 40(1), 118-128.

Barton, A., Hales, B., Waldbusser, G.G., Langdon, C. and Feely, R.A. 2012. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects. *Limnology and Oceanography* 57(3), 698-710.

Barton, A., Waldbusser, G. G., Feely, R. A., Weisberg, S. B., Newton, J. A., Hales, B., Cudd, S., et al. 2015. Impacts of coastal acidification on the Pacific Northwest Shellfish Industry and adaptation strategies implemented in response. *Oceanography*, 28: 146–159.

Bello, M., Barbieri, M., Salinas, S., Soto, L. 2004. Surgencia costera en la zona central de Chile durante el ciclo El Niño-La Niña 1997-1999. En *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile*; Avaría, S., Carrasco, J., Rutland, J., Yañez, E., Eds., CONA: Valparaíso, Chile. 77-94.

Bernard, F. R. 1983. Physiology and the mariculture of some northeastern Pacific bivalve molluscs. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 63:24 pp.

Bi, S.J., Chen, L.P., Sun, Z.K., Wen, Y.Q., Xue, Q.Q., Xue, C.H., Li, Z.J. and Liu, H.Y. 2021. Physiological responses of the triploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) to varying salinities of aquaculture seawater. *Aquaculture Research* 52(6), 2907-2914.

Bueno, P & Soto, D. 2017. *Adaptation strategies of the aquaculture sector to the impacts of climate change*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1142. FAO, Rome.

Cáceres-Martínez C. 1994. *Manual de ostricultura: Técnicas del engorda del ostión japonés (Crassostrea gigas)*, 46 pp. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz.

Cáceres Martínez, J. y R. Vásquez Yeomans. 2014. *Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos*. OIRSA-OPESCA pp. 117.

Caldeira, K. & M. E. Wickett. 2003. Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*. 425, 365.

Castillo-Duran, A., Chavez-Villalba, J., Arreola-Lizarraga, A. and Barraza-Guardado, R. 2010. Comparative growth, condition, and survival of juvenile *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* oysters cultivated in summer and winter. *Ciencias Marinas* 36(1), 29-39.

Chavez-Villalba, J., Villelas-Avila, R. and Caceres-Martinez, C. 2007. Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Sonora, Mexico. *Aquaculture Research* 38(3), 268-278.

Clements, J.C.; Chopin, T. Ocean Acidification and Marine Aquaculture in North America: Potential Impacts and Mitigation Strategies. *Rev. Aquac.* 2017, 9, 326–341.

Daneri, G. V. Dellarosa, R. Quiñones, B. Jacob, P. Montero & O. Ulloa. 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. *Mar. Eco. Prog. Ser.*, 197: 41-49.

De Silva, S.S y Soto, D. 2009. El cambio climático y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, N° 530. Pp 169-236.

Díaz, R. Lardies, M. A. Tapia, F. J. Tarifeño, E. Vargas, C. A. 2018. Transgenerational effects of pCO₂-driven Ocean Acidification on adult mussels *Mytilus chilensis* modulate physiological response to multiple stressors in larvae. *Frontiers in Physiology* 9, 1349.

Dineshram, R., Chandramouli, K., Ko, G.W.K., Zhang, H.M., Qian, P.Y., Ravasi, T. and Thiyagarajan, V. 2016. Quantitative analysis of oyster larval proteome provides new insights into the effects of multiple climate change stressors. *Global Change Biology* 22(6), 2054-2068.

Escudeiro, A. 2006. Crecimiento y Reproducción de la Ostra Rizada, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), Cultivada en Intermareal y en Batea en Galicia (NW España). Tesis para optar al título de Maestría en Acuicultura y Pesca. Universidade do Algarve. Faro, Portugal.

Evans, K., Guariguata, M.R. 2008. Monitoreo Participativo para el manejo forestal en el trópico: una revisión de herramientas, conceptos y lecciones aprendidas. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). 50p.

FAO. 2009. *Crassostrea gigas*. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by Helm, M.M. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New.

FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2v 020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

FAO. 2022. Chile. Texto de Norambuena, R. & González, L. Dirección de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. [Citado el lunes 9 de mayo de 2022]. <https://www.fao.org/fishery/en/countrysector/cl/es>.

FAO y Centro-EULA. 2021. Manual para un sistema de monitoreo ambiental participativo, que mejore la capacidad de adaptación al cambio climático de las comunidades pesqueras y acuícolas en Chile. (También disponible en <https://doi.org/10.4060/cb3579es>).

FAO, MMA y SUBPESCA. 2021. Lecciones aprendidas y recomendaciones de política pública para la adaptación al cambio climático en la pesca artesanal y la acuicultura de pequeña escala en Chile. Lineamientos de políticas. Santiago de Chile, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6536es>.

Farías, L., C. Fernández, R. Garreaud, L. Guzmán, S. Hormazábal, C. Morales, D. Narváez, S. Pantoja, I. Pérez, D. Soto y P. Winckler. 2019. Propuesta de un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC). Santiago: Comité Científico COP 25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Falfushynska, H., Piontkivska, H. and Sokolova, I.M. 2020. Effects of intermittent hypoxia on cell survival and inflammatory responses in the intertidal marine bivalves *Mytilus edulis* and *Crassostrea gigas*. *Journal of Experimental Biology* 223(4).

Fonseca, T. & Farías, M. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Investigaciones pesqueras* 34: 33-46.

Forsyth, T. 2013. Community-based adaptation: a review of past and future challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change* 4(5), 439-446.

Fuentes-Santos, I., Labarta, U., Fernandez-Reiriz, M.J., Kay, S., Hjollo, S.S. and Alvarez-Salgado, X.A. 2021. Modeling the impact of climate change on mussel aquaculture in a coastal upwelling system: A critical assessment. *Science of the Total Environment* 775.

Fujiya M. 1970. Oyster farming in Japan. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresunters* 20: 464-479.

Fulton, S., Lopez-Sagastegui, C., Weaver, A.H., Fitzmaurice-Cahluni, F., Galindo, C., Melo, F.F.R., Yee, S., Ojeda-Villegas, M.B., Fuentes, D.A. and Torres-Bahena, E. 2019. Untapped Potential of Citizen Science in Mexican Small-Scale Fisheries. *Frontiers in Marine Science* 6.

Gagnaire, B., Frouin, H., Moreau, K., Thomas-Guyon, H. and Renault, T. 2006. Effects of temperature and salinity on haemocyte activities of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Fish & Shellfish Immunology* 20(4), 536-547.

Gazeau, F., Gattuso, J.P., Greaves, M., Elderfield, H., Peene, J., Heip, C.H.R. and Middelburg, J.J. 2011. Effect of Carbonate Chemistry Alteration on the Early Embryonic Development of the Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*). *Plos One* 6(8).

Gazeau, F., Parker L. M., Comeau S., Gattuso J.-R., Pörtner H.-O. & P.M. Ross. 2013. Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Marine Biology*. 160, 2207-2245.

Giesecke, R & González, H. 2008. Reproduction and feeding of *Sagitta enflata* in the Humboldt Current system off Chile. *ICES Journal of Marine Science*. 65: 361-370.

Gomes, I. 2013. Cultivo, Biología reproductiva y Bioquímica de la Ostra Japonesa *Crassostrea gigas* en la Ría de Arousa. Tesis doctoral para optar al grado de Doctor por la Universidade da Coruña. Universidade da Coruña. Coruña. España.

Gray, J.S., Wu, R.S.S. and Or, Y.Y. 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 238, 249-279.

Helm, M.M. Bourne, N. Lovatelli, A. 2006. Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 471. Roma, FAO.2006. 184 pp.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. 2014. *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

Hernandez-Miranda, E., Quinones, R.A., Aedo, G., Valenzuela, A., Mermoud, N., Roman, C. and Yanez, F. 2010. A major fish stranding caused by a natural hypoxic event in a shallow bay of the eastern South Pacific Ocean. *Journal of Fish Biology* 76(7), 1543-1564.

Hollarsmith, J.A., Sadowski, J.S., Picard, M.M.M., Cheng, B., Farlin, J., Russell, A. and Grosholz, E.D. 2020. Effects of seasonal upwelling and runoff on water chemistry and growth and survival of native and commercial oysters. *Limnology and Oceanography* 65(2), 224-235.

IPCC, 2019: Resumen para responsables de políticas, en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (eds)]. En prensa.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Kelly, R.P., Cooley, S.R. and Klinger, T. 2014. Narratives Can Motivate Environmental Action: The Whiskey Creek Ocean Acidification Story. *Ambio* 43(5), 592-599.

Kipp, A., Cunsolo, A., Gillis, D., Sawatzky, A. and Harper, S.L. 2019. The need for community-led, integrated and innovative monitoring programmes when responding to the health impacts of climate change. *International Journal of Circumpolar Health* 78(2).

Ko, G.W.K., Dineshram, R., Campanati, C., Chan, V.B.S., Havenhand, J. and Thiyagarajan, V. 2014. Interactive Effects of Ocean Acidification, Elevated Temperature, and Reduced Salinity on Early-Life Stages of the Pacific Oyster. *Environmental Science & Technology* 48(17), 10079-10088.

Korringa P. 1976. Farming the cupped oyster of the genus *Crassostrea*, 224 pp. Elsevier, Amsterdam.

Kroeker, K.J., Kordas, R.L., Crim, R., Hendriks, I.E., Ramajo, L., Singh, G.S., Duarte, C.M. and Gattuso, J.P. 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology* 19(6), 1884-1896.

Kurihara, H., S. Kato, and A. Ishimatsu. 2007. Effects of increased seawater Pco₂ on early development of the oyster *Crassostrea gigas*. *Aquat. Biol.* 1: 91-98. Doi:10.3354/ab00009

Landinez, L. 2016. Organización de datos. Estadística I. Politécnico Grancolombiano

Le Moullac, G., Queau, I., Le Souchu, P., Pouvreau, S., Moal, J., Le Coz, J.R. and Samain, J.F. 2007. Metabolic adjustments in the oyster *Crassostrea gigas* according to oxygen level and temperature. *Marine Biology Research* 3(5), 357-366.

Letelier, J. Pizarro, O. Nuñez, S. 2009. Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile. *Journal of Geophysical Research* 114 pp 1-16.

Li J, Jiang Z, Zhang J, Mao Y, Bian D, Fang J. 2014. The potential of ocean acidification on suppressing larval development in the Pacific oyster *Crassostrea*

gigas and blood cockle *Arca inflata* Reeve. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 32, 1307-1313.

Llanccamil, L. A. 1982. Variación estacional Invierno-Primavera de temperatura, salinidad y de oxígeno disuelto en la bahía Coliumo (36°32'S; 72°57'W). Tesis para optar al título de Biólogo Marino. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 94 pp.

Malham, S.K., Cotter, E., O'Keeffe, S., Lynch, S., Culloty, S.C., King, J.W., Latchford, J.W. and Beaumont, A.R. 2009. Summer mortality of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in the Irish Sea: The influence of temperature and nutrients on health and survival. *Aquaculture* 287(1-2), 128-138.

Matthews, H.D. Caldeira, K. 2008. Stabilizing climate requires near-zero emissions. *Geophysical Research Letters* 35(4).

Mazón, S.J.M., 1996. Cultivo del Ostión Japonés *Crassostrea gigas*. En: Casas, V.; Ponce, D.G., eds. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Baja California Sur, México, 625-650.

Mizuta, D.D., Silveira, N., Fischer, C.E. and Lemos, D. 2012. Interannual variation in commercial oyster (*Crassostrea gigas*) farming in the sea (Florianopolis, Brazil, 27 degrees 44 ' S; 48 degrees 33 ' W) in relation to temperature, chlorophyll a and associated oceanographic conditions. *Aquaculture* 366, 105-114.

MMA Chile. 2014. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Elaborado en el marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático.

Moller, P., Sánchez, P., A. Muñoz-Pedrerros & J. Bariles. 2001. Cultivo de ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) en un humedal estuarino del sur de Chile. *Gestión Ambiental*, 7: 65-78.

Montecinos, L. 2015. Flujo de nutrientes y metabolismo neto del ecosistema en Bahía Coliumo (Chile) (36°32 'S, 72°57'W). Tesis para optar al grado de Magíster en Oceanografía. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Navarro, J. M. Duarte, C. Manríquez, P. H. Lardies, M. A. Torres, R. Acuña, K. Vargas, C. A. Lagos, N. A. 2016. Ocean warming and elevated carbon dioxide: multiple stressor impacts on juvenile mussels from southern Chile. *Journal of Marine Science*. 73(3): 764-771.

Nell, J.A. and Holliday, J.E. 1988. EFFECTS OF SALINITY ON THE GROWTH AND SURVIVAL OF SYDNEY ROCK OYSTER (*SACCOSTREA-COMMERCIALIS*) AND PACIFIC OYSTER (*CRASSOSTREA-GIGAS*) LARVAE AND SPAT. *Aquaculture* 68(1), 39-44.

O'Donnell, M.J., George, M.N. and Carrington, E. 2013. Mussel byssus attachment weakened by ocean acidification. *Nature Climate Change* 3(6), 587-590.

Oyarzun, P.A., Toro, J.E., Garces-Vargas, J., Alvarado, C., Guinez, R., Jaramillo, R., Briones, C. and Campos, B. 2018. Reproductive patterns of mussel *Perumytilus purpuratus* (Bivalvia: Mytilidae), along the Chilean coast: effects caused by climate change? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 98(2), 375-385.

Parra, L., Sendra, S., Garcia, L. and Lloret, J. 2018. Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process. *Sensors* 18(3).

Pascual, M. y C. Castaños. 2000. Cultivo de ostras cóncavas en Argentina: desde el criadero hasta la cosecha en el mar. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA)*: 45 pp.

Peeler, E.J., Reese, R.A., Cheslett, D.L., Geoghegan, F., Power, A. and Thrush, M.A. 2012. Investigation of mortality in Pacific oysters associated with Ostreid herpesvirus-1 mu Var in the Republic of Ireland in 2009. *Preventive Veterinary Medicine* 105(1-2), 136-143.

Perevochtchikova, M., Aponte-Hernández, N., Zamudio-Santos, V., & Sandoval-Romero, G. E. 2016. Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 5-23.

Rahman, M.A., Henderson, S., Miller-Ezzy, P., Li, X.X. and Qin, J.G. 2019. Immune response to temperature stress in three bivalve species: Pacific oyster *Crassostrea gigas*, Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* and mud cockle *Katelysia rhytiphora*. *Fish & Shellfish Immunology* 86, 868-874.

Rico-Villa, B., Pouvreau, S. and Robert, R. 2009. Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture* 287(3-4), 395-401.

Rico-Villa, B., Woerther, P., Mingant, C., Lepiver, D., Pouvreau, S., Hamon, M. and Robert, R. 2008. A flow-through rearing system for ecophysiological studies of Pacific oyster *Crassostrea gigas* larvae. *Aquaculture* 282(1-4), 54-60.

Robledo Rivera, R. y Novoa Antiao, M. 2021. *Procedimientos para la instalación y operación de un cultivo experimental de ostra japonesa (Crassostrea gigas). Fortalecimiento de la capacidad de adaptación en el sector pesquero y acuícola chileno al cambio climático. Santiago de Chile, FAO.*

Rodriguez-Quiroz, G., Garcia-Ulloa, M., Dominguez-Orozco, A.L., Valenzuela-Hernandez, T.N., Nava-Perez, E. and Gongora-Gomez, A.M. 2016. Growth, condition and survival relationships of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and

environmental variables, cultured in suspension in the Navachiste-Macapule lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Revista De Biología Marina Y Oceanografía* 51(3), 541-551.

Rodríguez, H. Flores, A. 2014. Acuicultura de pequeña escala y recursos limitados en América Latina y el Caribe. Hacia un enfoque integral de políticas públicas. Red de acuicultura de las américas. FAO. Santiago, 2014.

Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C.S., Wallace, D.W.R., Tilbrook, B., Millero, F.J., Peng, T.H., Kozyr, A., Ono, T. and Rios, A.F. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science* 305(5682), 367-371.

Sato, T. 1967. Oyster detail of fish culture. Tokio, Kosei. 561- 620.

Shelton, C. 2014. Climate change adaptation in fisheries and aquaculture – compilation of initial examples. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1088. Rome, FAO. 34 pp.

Sobarzo, M. 1984. Patrón general de circulación (en condiciones invernales) de Bahía Coliumo (36°32S; 72°56W) Concepción, Chile. Información de unidad de investigación para optar al título de Biólogo Marino. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Sobarzo, M. Bravo, L. Donoso, D. Garcés-Vargas, J. Schneider, W. 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over continental shelf off central Chile. *Progress in Oceanography*, 2007. Vol 75 (pg. 363-382).

Somero, G.N. 2002. Thermal physiology and vertical zonation of intertidal animals: Optima, limits, and costs of living. *Integrative and Comparative Biology* 42(4), 780-789.

Steckbauer, A., Ramajo, L., Hendriks, I.E., Fernandez, M., Lagos, N.A., Prado, L. and Duarte, C.M. 2015. Synergistic effects of hypoxia and increasing CO₂ on benthic invertebrates of the central Chilean coast. *Frontiers in Marine Science* 2.

Strub PT, Mesias JM, Montecino V, Rutllant J, and Salinas S. 1998. Coastal circulation off western South America. In: Robinson AR and Brink KH (eds.) *The Sea*, Vol. 11: The Global Coastal Ocean – Regional Studies and Syntheses, pp. 273–313. New York: Wiley.

Sussarellu, R., Fabioux, C., Le Moullac, G., Fleury, E. y Moraga, D. 2010. Transcriptomic response of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* to hypoxia. *Marine Genomics* 3(3-4), 133-143.

Talmage, S.C. and Gobler, C.J. 2011. Effects of Elevated Temperature and Carbon Dioxide on the Growth and Survival of Larvae and Juveniles of Three Species of Northwest Atlantic Bivalves. *Plos One* 6(10).

Tan, K., Zhang, H.K. and Zheng, H.P. 2020. Selective breeding of edible bivalves and its implication of global climate change. *Reviews in Aquaculture* 12(4), 2559-2572.

Todgham, A. E. & Stillman, J. H. 2013. Physiological responses to shifts in multiple environmental stressors: relevance in a changing world. *Integrative and comparative biology*, 53: 539-544.

Valenzuela-Hernandez, T. 2013. Efecto de los factores ambientales sobre el crecimiento y supervivencia de ostiones triploides y diploides de *crassostrea gigas* en el Estero la Piedra, Guasave, Sinaloa. Tesis para obtener el grado de maestría en recursos naturales y medio ambiente. Instituto Politécnico Nacional. Guasave, Mexico.

Vargas, C. Martínez, R. Cuevas LA. Pavez M. Cartes, C. González, H. Escribano, R. Daneri, G. 2007. The relative importance of microbial and classical food webs in a highly productive coastal upwelling area. *Limnology and Oceanography*. 52: 1495-1510.

Vargas, C. & Martínez, R. 2009. Grazing impact in natural populations of ciliates and dinoflagellates over a river-influenced continental shelf. *Aquatic Microbial Ecology* 56: 93 - 108.

Vásquez, H., Pacheco, S., Pérez, I., Cornejo, N., M. Córdova y Kan, K. 2009. Informe Técnico Artificial de Semilla y Cultivo de Engorde de Moluscos Bivalvos. Publicado por el Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), dependencia del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), San Salvador, República de El Salvador Centro América y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) a través del Proyecto para el Desarrollo de la Acuicultura de Moluscos en la República de El Salvador, Oficina Regional CENDEPESCA Zona 3, Puerto El Triunfo, Departamento de Usulután, El Salvador. 76 pp.

Wang, Q., Cao, R.W., Ning, X.X., You, L.P., Mu, C.K., Wang, C.L., Wei, L., Cong, M., Wu, H.F. and Zhao, J.M. 2016. Effects of ocean acidification on immune responses of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Fish & Shellfish Immunology* 49, 24-33.

Wurmann, C. Soto, D., Norambuena, R. 2022. Regional review on status and trends in aquaculture development in Latin America and the Caribbean - 2020. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1232/3*. Rome, FAO.

Yáñez, E., Norambuena, R., Lagos, N., Silva, C., Letelier, J. Muck, K.P, San Martín, G., Benítez, S., Broitman, B., Contreras et al. 2017. Impacts of Climate Change on Marine Fisheries and Aquaculture in Chile. in: Bruce F.P., Pérez-Ramírez, M. eds. *Climate change impacts on Fisheries and Aquaculture: a global analysis*, Volume I, First edition. 239-332.

8. ANEXOS

ANEXO 1. Diseño de la entrevista

IMPORTANCIA DEL MONITOREO COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es un fenómeno que está afectando los océanos. Es por esta razón que es de gran importancia la generación de nuevos estudios sobre este fenómeno y de las medidas que se pueden tomar para lograr adaptarnos y poder continuar con las actividades productivas que son de gran importancia tanto a nivel nacional como a nivel mundial como lo son la pesca y la acuicultura.

El monitoreo de variables ambientales como por ejemplo la temperatura, el pH, la salinidad, etc. Es considerado como una medida de adaptación ya que los acuicultores contando con información de las variables que pueden afectar sus cultivos, pueden tomar decisiones y ejecutar acciones concretas para evitar grandes pérdidas con sus cultivos.

Debido a ello, este estudio busca evaluar la factibilidad y los beneficios socioambientales de la implementación de un sistema de monitoreo ambiental en la acuicultura de pequeña escala de bivalvos, como medida de adaptación al cambio climático.

IDENTIFICACIÓN

Nombre: _____

Edad: _____

Correo electrónico: _____

Ocupación: _____

ACERCA DE SU OCUPACIÓN

1. ¿Usted creció aquí en la bahía de Coliumo? ¿O llegó aquí netamente buscando trabajar en acuicultura?
2. ¿Cuántos años lleva trabajando en el sector de acuicultura?
3. ¿Ha trabajado toda su vida en el mismo sector o ha trabajado en otros ámbitos? ¿Podría contarnos un poco acerca de su experiencia?
4. ¿Cómo nació su motivación para trabajar en la acuicultura?

5. ¿Tiene usted familia que se dedica al mismo rubro?
6. ¿Cómo describiría usted la rutina de trabajo de un acuicultor?
7. ¿Qué tal ha sido para usted trabajar en un sector que antiguamente era principalmente ejercido por hombres? ¿Se ha sentido alguna vez discriminada por el hecho de ser mujer trabajando en el sector?

DEL CULTIVO

8. ¿Qué recurso se encuentra cultivando actualmente? ¿Y con qué recursos a trabajado en el pasado?
9. De todos esos recursos, ¿Con cuál de ellos es más fácil de trabajar y el que tiene menos pérdidas debido a causas externas?
10. Sobre el cultivo que se encuentra cultivado actualmente, ¿Podría contarnos sobre su ciclo productivo, especificando los tiempos necesarios para su crecimiento y las épocas del año ideales para su cosecha?
11. ¿Ha tenido alguna experiencia con proyectos científicos sobre la acuicultura en sus cultivos? De ser así, ¿Cómo calificaría esta experiencia? ¿Y qué aspectos cree que pudiesen mejorar?

CAMBIO CLIMÁTICO

12. Al escuchar “cambio climático”, ¿Qué información se le viene a la mente? ¿Podría asociar este fenómeno con algún efecto negativo en el océano?
13. A lo largo de los años de su trabajo, ¿Ha notado ciertos cambios en el océano que afecten directamente a sus cultivos? De ser así ¿Podría usted mencionar algunos de estos cambios y la forma en que se percató de ellos?
14. ¿Qué cambios le preocupa que podrían producirse en su cultivo por efecto del cambio climático? (dureza concha, color, tamaño, etc.)
15. ¿Ha sido testigo de eventos extremos que le hayan traído consecuencias a su cultivo? (marejadas, floraciones nocivas, efecto niño, etc.) ¿Podría

contarnos acerca de los hechos, de las consecuencias y las medidas que tomó al respecto para evitar grandes pérdidas?

16. ¿Ha pensado en tener que abandonar esta actividad productiva en caso de no resultarle rentable a futuro debido a los efectos del cambio climático? De ser así, ¿A qué otra actividad ha pensado usted dedicarse?

ENTREVISTA 2

VARIABLES AMBIENTALES Y MONITOREO

17. ¿Usted ha utilizado conocimiento que ha sido transmitido a través de las generaciones de su familia y/o de la comunidad para la observación del océano y el ambiente? ¿Cómo cuál/es?
18. ¿De qué manera se informa acerca de las variables ambientales que pudieran influir en su cultivo?
19. ¿Cuáles son aquellas variables ambientales que usted cree pueden llegar a afectar la producción de su cultivo y por ende son necesarias de monitorear? ¿Cuáles serían las más prioritarias según su criterio y experiencia?
20. Si tuviera que priorizar las siguientes variables ambientales que son aquellas más nombradas en publicaciones científicas: **Oxígeno – temperatura – viento - acidez o pH – salinidad - disponibilidad de alimento** de la más a la menos importante de monitorear ¿Cuál sería el orden para su cultivo?
21. ¿Se ha familiarizado o utilizado algún sistema de monitoreo? De ser afirmativa la respuesta ¿Cuáles son las variables ambientales que ha medido y como lo ha hecho?

ADAPTACIÓN

22. Cambiar el recurso cultivado por otro que sea más resistente a cambios en el mar se considera una medida de adaptación, ¿Ha realizado usted esta práctica?
23. Adoptar nuevas tecnologías que ayuden a reducir los riesgos también se considera una medida de adaptación, ¿Ha adquirido nuevas tecnologías u modificado sus equipamientos?
24. ¿Ha tomado alguna otra medida para tratar de adaptarse o disminuir los efectos que puede traer el cambio climático que quisiera compartir con nosotros? ¿Y de qué forma descubrió y se informó de estas medidas?
25. Usted como una acuicultora a pequeña escala ¿Ha recibido ayuda o información de parte del gobierno, para implementar medidas de adaptación debido al cambio climático? ¿Cómo describiría esta información? ¿deficiente, media, excelente?
26. ¿Cree usted que es necesario implementar un sistema de monitoreo como medida de adaptación al cambio climático? ¿Podría describir cómo cree usted que sería el modelo ideal para monitorear sus cultivos?
27. ¿Cómo cree usted que debería ser implementado este sistema? ¿Cofinanciamiento con aportes del estado? ¿Proyectos con universidades o centros científicos? ¿Inversión propia? ¿U otros?
28. ¿Estaría usted dispuesto a invertir en un sistema de monitoreo?

OTROS

29. ¿Desea agregar algún comentario acerca de algo que usted considere importante y necesario saber acerca del tema del estudio?

ANEXO 2. Información detallada de cada opción de monitoreo

Opción A: monitoreo manual

Para el caso del monitoreo manual se encontraron dos posibles opciones de instrumentos. El primero es un medidor multiparámetro impermeable HI98194 que permite la medición de pH, oxígeno disuelto, temperatura y salinidad, además de otras variables como presión, sólidos disueltos totales, conductividad, potencial redox, entre otras. Según datos obtenidos de la empresa "Hanna Instruments", este equipo tendría un valor de \$1.594.000 y se caracteriza por ser fácil de configurar y utilizar. En su manual de uso se explica su funcionamiento detalladamente, el cual cuenta con una opción de calibración rápida que permite una calibración de un solo punto para pH, conductividad y oxígeno disuelto todo en simples pasos. Además de la opción de calibración rápida, el medidor cuenta con calibración diferenciada por parámetro.

Modo de uso Multiparámetro HI98194

- 1- Para configurar el medidor, primero se deben instalar las baterías (4 baterías 1.5V AA incluidas en el estuche).
- 2- Conectar los sensores a la sonda, para hacer esto, hay que lubricar los sensores con el lubricante incluido y conectarlos a la sonda la cual está debidamente identificada cada sonda con un color.
- 3- Una vez puestos los 3 sensores, atornillar el escudo protector en el cuerpo de la sonda.
- 4- Con el medidor apagado, conectar la sonda a la entrada de la parte superior del medidor.

5- Al encender, se recomienda calibrar antes de cada uso. Esto puede ser por calibración rápida o individual por sensores.

6- En caso de calibración rápida, llenar 2/3 el vaso suministrado con solución de calibración HI9828 (Incluida), sumergir los sensores en el vaso y atornillar el cuerpo de la sonda. Desde el medidor presionar menú y luego calibración, allí presionar calibración rápida. Se calibra para cada sensor en etapas, la pantalla del medidor le indica cada calibración, al llegar a la calibración de oxígeno, vaciar el vaso sacando todo el líquido, agitar levemente la sonda. Luego presione confirmar y finalizará la calibración.

7- Una vez calibrado, sumergir la sonda donde le gustaría medir pulsando los botones para navegar entre las medidas.

Calibración por parámetro del medidor Multiparámetro HI98194

- Calibración pH: Automática en 1,2 o 3 puntos con reconocimiento automático de cinco soluciones de calibración estándar (Ph 4.01 6.86 7.01 9.18 10.01) o una solución personalizada
- Calibración oxígeno: Automática en 1 o 2 puntos a 0 y 100%, o en un punto personalizado
- Calibración temperatura: Automática en un punto personalizado
- Calibración salinidad: Automática en un punto personalizado

Especificaciones técnicas del medidor multiparámetro HI98194

Parámetro	Rango	Resolución	Unidad
Temperatura	-5.0 - 55.0	0.01	°C
Oxígeno disuelto	0.0 – 50	0.01	mg/L
Salinidad	0.00 – 70.00	0.01	PSU
pH	0.00 – 14.00	0.01	pH

La otra opción encontrada es el multiparámetro L0210036, este instrumento disponible en la empresa "Veto", es de uso portátil e indicación digital, diseñado

para facilitar los análisis de variables químicas que se hacen en terreno, ya que permite trabajar con diferentes electrodos, todos fácilmente reemplazables e incluidos junto al equipo, haciéndolo ideal para ser implementado en estudios de aguas marinas, piscicultura, agua potable, entre otros. Tiene un precio de \$655.400 y las variables que puede medir son temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH y conductividad.

El equipo incorpora también una serie de funciones adicionales, entre ellas, auto-rango para medición de conductividad, compensación de temperatura, corrección manual de compensación de altitud y salinidad para medir oxígeno disuelto. Cuenta también con múltiples puntos de calibración por variable pH (3 puntos), conductividad (4 puntos) y oxígeno disuelto (1 punto). A continuación, se presenta brevemente su forma de uso.

Modo de uso medidor multiparámetro L0210036

Medición pH

- 1- Enjuagar la sonda con agua desionizada o destilada antes de utilizarla. Si el electrodo está deshidratado, remojarlo por 30 minutos en solución KCl
- 2- Encender el medidor
- 3- Sumergir el electrodo y agitarlo suavemente
- 4- Esperar lectura estable

Medición salinidad

- 1- Encender el medidor y presionar EC SALT (ppt)
- 2- Enjuagar con agua desionizada o destilada. Si no se utilizó en un periodo extenso remojar la sonda en agua limpia por 30 minutos
- 3- Sumergir la sonda y agitar suavemente
- 4- Esperar lectura estable

Medición oxígeno disuelto

- 1- Encender el medidor. Podría tardar hasta 10 minutos tener una lectura estable en el aire (mg/L)

- 2- Sumergir y agitar suavemente
- 3- Esperar lectura estable

Para la calibración del equipo, primero se debe seleccionar el tipo de sonda a calibrar (pH/cond/OD). Se recomienda calibrar el medidor cada vez que lo vaya a utilizar. En caso de:

Sonda de pH

- 1- Enjuagar electrodo en agua desionizada
- 2- Encender el medidor
- 3- Verter el buffer de Ph en contenedor limpio y colocar electrodo en el buffer.
Se sugiere empezar con buffer pH 7.01
- 4- Asegurarse que el electrodo esté completamente sumergido, luego presionar botón CAL/ESC para ingresar al modo calibración
- 5- Esperar que la sonda reconozca el buffer (Cuando 7.01 CAL y 7.01 destellan)
- 6- Esperar 30 segundos, aparecerá SA en la pantalla cuando la calibración esté guardada
- 7- Repetir pasos para calibración con pH 4.01 y pH 10.01

Sonda de OD

- 1- Mantener la sonda en el aire, esperar unos minutos hasta que la lectura esté estabilizada.
- 2- Presionar CAL/ESC para calibrar la saturación al 100%
- 3- Esperar un par de segundos, y presionar ENTER para finalizar la calibración

Especificaciones técnicas del medidor multiparámetro L0210036

Parámetro	Rango	Exactitud	Resolución	Unidad
Temperatura	0 – 60	± 0.5	0.1	°C
Oxígeno disuelto	0 – 30	± 1 dig	0.1	mg/L
Salinidad	0 – 42	± 1 dig	0.1	Ppt
Ph	2 – 12	± 0.1	0.01	pH

Podemos notar que ninguno de los dos instrumentos nos entrega información sobre la disponibilidad de alimento que se tiene en el área, por lo que esta variable deberá ser medida con otro equipo. El sensor Aqua Read AP-Lite es una sonda para medir un solo parámetro, de tamaño de bolsillo para aquellos que no requieren la medición de múltiples parámetros. El sensor se puede combinar con GPS Aquameter o con Aqualogger 2000 para realizar monitoreo continuo. Entre los parámetros disponibles para el AP-Lite están la turbiedad, la clorofila, rodamina, fluoresceína, algas verdeazuladas o CDOM. La sonda tiene una memoria de datos de 1110 puntos, y la exportación de datos se realiza a través de USB. Además, tiene procedimientos de calibración fáciles de seguir. Esta sonda está disponible en la empresa "Bell Flow Systems" y para el sensor de clorofila tiene un precio de 2768 euros, es decir, aproximadamente \$2.457.150 pesos chilenos.

Especificaciones técnicas del sensor Aqua Read AP-Lite (Clorofila)

Parámetro	Rango	Resolución	Unidad
Clorofila	0 - 500	0.00 - 99.99	µg/L

Opción B: monitoreo autónomo

Existe un sensor llamado HYDROLAB HL4, disponible en la empresa "OTT Hydromet", el cual se puede usar para muestreo puntual y monitoreo desatendido a largo plazo, es otras palabras, la sonda cuenta con la capacidad necesaria para realizar una medición continua de 5 años con un intervalo de registro de 15 minutos.

Con esta sonda es posible registrar todas las variables seleccionadas en este estudio (pH, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y clorofila a), además de otros parámetros como conductividad, ORP, turbidez, entre otros.

Otro aspecto destacable de este dispositivo es que cuenta con rutinas de calibración guiadas y semiautomáticas que guían al usuario a través del proceso,

haciendo que la sonda sea fácil de usar en el laboratorio y el terreno en cualquier dispositivo que ejecute un sistema operativo Windows. Cuando se inicia una calibración o una comprobación de calibración, se mostrarán las instrucciones paso a paso en el sensor en la pantalla.

El aspecto negativo de este sensor es su elevado precio, ya que alcanza un precio aproximado de unos 13.500 dólares, es decir, cerca de 11 millones de pesos.

Especificaciones técnicas de los sensores de HYDROLAB HL4

Parámetro	Rango	Precisión	Resolución	Unidad
Temperatura	-5 a 50	± 0.1	0.01	°C
Oxígeno disuelto	0 a 60	± 0.1	0.01	Mg/L
Salinidad	0 a 70	± 0.2	0.01	Psu
Ph	0 a 14	± 0.2	0.01	pH
Clorofila a	0 a 500	Linealidad: 0.998 R ² Disolución en serie de rodamina WT	0.01	µg/L

Una opción algo más económica encontrada, es la sonda multiparamétrica "Aqua TROLL 500" de la empresa "In-Situ", el cual se caracteriza por una baja frecuencia de recalibración (2-3 veces al año) y la relativa facilidad con la que se puede realizar la recalibración en terreno. Además, su registro y análisis de datos son fáciles de usar en la plataforma. Al igual que HYDROLAB, cuenta con sensores de temperatura, Ph, oxígeno disuelto, clorofila a y salinidad, además de otros parámetros como conductividad, turbidez, rodamina, entre otros. La diferencia radica en su precio, el cual es de 7.700 USD, es decir, unos 6 millones de pesos chilenos.

Especificaciones técnicas de los sensores de Aqua TROLL 500

Parámetro	Rango	Precisión	Resolución	Unidad
Temperatura	-5 – 50	± 0.1	0.01	°C

Oxígeno	0 – 60	± 0.1	0.01	mg/L
Salinidad	0 – 350	± 0.1	0.1	PSU
Ph	0 – 14	± 0.1	0.01	Ph
Clorofila a	0 – 1000	0.998R^2 para diluciones en serie de Chl a en MeOH	0.01	µg/L

ANEXO 3. Estudios analizados para lograr la caracterización de la zona

Autor	Nombre
Llancamil (1982)	Variación estacional Invierno-Primavera de temperatura, salinidad y de oxígeno disuelto en la bahía Coliumo (36°32'S; 72°57'W)
Ahumada & Martínez (1983)	Circulation and fertility of waters in Concepción Bay
Sobarzo (1984)	Patrón general de circulación (en condiciones invernales) de Bahía Coliumo (36°32S; 72°56W) Concepción, Chile
Fonesa & Farías (1987)	Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota
Strub et al (1998)	Coastal circulation off western South America
Daneri et al (2000)	Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas
Vargas et al (2007)	The relative importance of microbial and classical food webs in a highly productive coastal upwelling area
Sobarzo et al (2007)	Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over continental shelf off central Chile
Giesecke & González (2008)	Reproduction and feeding of Sagitta enflata in the Humboldt Current system off Chile
Letelier et al (2009)	Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile

Vargas et al (2009)	Grazing impact in natural populations of ciliates and dinoflagellates over a river-influenced continental shelf
Hernandez-Miranda (2010)	A major fish stranding caused by a natural hypoxic event in a shallow bay of the eastern South Pacific Ocean
Montecinos (2015)	Flujo de nutrientes y metabolismo neto del ecosistema en Bahía Coliumo (Chile) (36°32 'S, 72°57'W)
Aguirre et al (2018)	Insight into anthropogenic forcing on coastal upwelling off south-central Chile

ANEXO 4. Estudios analizados para analizar la importancia de cada variable ambiental

Autor	Nombre
Nell & Holliday (1988)	EFFECTS OF SALINITY ON THE GROWTH AND SURVIVAL OF SYDNEY ROCK OYSTER (SACCOSTREA-COMMERCIALIS) AND PACIFIC OYSTER (CRASSOSTREA-GIGAS) LARVAE AND SPAT
Gagnaire et al (2006)	Effects of temperature and salinity on haemocyte activities of the Pacific oyster, <i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg)
Kurihara et al (2007)	Effects of increased seawater Pco2 on early development of the oyster <i>Crassostrea gigas</i>
Le Moullac et al (2007)	Metabolic adjustments in the oyster <i>Crassostrea gigas</i> according to oxygen level and temperature
Chávez-Villalba et al (2007)	Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster <i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg) in Sonora, Mexico
Barraza-Guardado et al (2008)	Seasonal variation in the condition index of Pacific oyster postlarvae (<i>Crassostrea gigas</i>) in a land-based nursery in Sonora, Mexico
Rico-Villa (2008)	A flow-through rearing system for ecophysiological studies of Pacific oyster <i>Crassostrea gigas</i> larvae
Rico-Villa (2009)	Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, <i>Crassostrea gigas</i>
Malham et al	Summer mortality of the Pacific oyster, <i>Crassostrea gigas</i> , in

(2009)	the Irish Sea: The influence of temperature and nutrients on health and survival
Castillo-Durán et al (2010)	Comparative growth, condition, and survival of juvenile <i>Crassostrea gigas</i> and <i>C. corteziensis</i> oysters cultivated in summer and winter
Gazeau et al (2011)	Effect of Carbonate Chemistry Alteration on the Early Embryonic Development of the Pacific Oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)
Barton et al (2012)	The Pacific oyster, <i>Crassostrea gigas</i> , shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects
Mizuta et al (2012)	Interannual variation in commercial oyster (<i>Crassostrea gigas</i>) farming in the sea (Florianopolis, Brazil, 27 degrees 44 ' S; 48 degrees 33 ' W) in relation to temperature, chlorophyll a and associated oceanographic conditions
Ko et al (2014)	Interactive Effects of Ocean Acidification, Elevated Temperature, and Reduced Salinity on Early-Life Stages of the Pacific Oyster
Wang et al (2016)	Effects of ocean acidification on immune responses of the Pacific oyster <i>Crassostrea gigas</i>
Rodriguez-Quiroz (2016)	Growth, condition and survival relationships of the Pacific oyster <i>Crassostrea gigas</i> and environmental variables, cultured in suspension in the Navachiste-Macapule lagoon system, Sinaloa, Mexico
Dineshram et al (2016)	Quantitative analysis of oyster larval proteome provides new insights into the effects of multiple climate change stressors
Rahman et al (2019)	Immune response to temperature stress in three bivalve species: Pacific oyster <i>Crassostrea gigas</i> , Mediterranean mussel <i>Mytilus galloprovincialis</i> and mud cockle <i>Katelysia rhytiphora</i>
Hollarsmith et al (2020)	Effects of seasonal upwelling and runoff on water chemistry and growth and survival of native and commercial oysters
Falfushynska et al (2020)	Effects of intermittent hypoxia on cell survival and inflammatory responses in the intertidal marine bivalves <i>Mytilus edulis</i> and <i>Crassostrea gigas</i>
Andreyeva et al	Shift in functional and morphological parameters of the Pacific

(2021)	oyster hemocytes after exposure to hypoxia
Bi et al (2021)	Physiological responses of the triploid Pacific oyster (<i>Crassostrea gigas</i>) to varying salinities of aquaculture seawater

