



Informe Final

Convenio de Desempeño 2021
Programa de centro de datos oceanográficos y ambientales
en la zona sur-austral de Chile, 2021

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Marzo 2022



Informe Final

Convenio de Desempeño 2021

Programa de centro de datos oceanográficos y ambientales en la zona sur-austral de Chile, 2021

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Marzo 2022

REQUIRENTE SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaría de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Julio Pertuzé Salas

EJECUTOR INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Jefe División Investigación en Acuicultura
Leonardo Guzmán Méndez

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

JEFE PROYECTO
Osvaldo Artal Arrieta

AUTORES
Osvaldo Artal Arrieta
Javiera San Martín Parra
Pedro Valdebenito Muñoz
Jurleys Vellojin Furnieles

ÍNDICE GENERAL

Resumen ejecutivo.....	5
1. Antecedentes.....	7
1.1 Contexto.....	7
1.2 Sistemas de monitoreo en línea.....	10
2. Objetivos.....	16
2.1 Objetivo General.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. Metodología.....	17
3.1 Metodología objetivo específico 1: Calibración del sistema de recepción y almacenamiento de datos provenientes de monitoreos en línea.....	17
3.2 Metodología objetivo específico 2: Mejorar la plataforma web para la visualización de la información transmitida por la red de monitoreo.....	23
3.3 Metodología objetivo específico 3: Diseñar algoritmos de control de calidad a la información transmitida por la red de monitoreo.....	25
4. Resultados.....	28
4.1 Resultados objetivo específico 1: Calibración del sistema de recepción y almacenamiento de datos provenientes de monitoreos en línea.....	28
4.3 Resultados objetivo específico 3: Diseñar algoritmos de control de calidad a la información transmitida por la red de monitoreo.....	38
5. Discusión.....	48
6. Conclusiones.....	51
Anexo A: Gestión del proyecto.....	52
Anexo B: Sensor multiparámetro.....	59
Anexo C: Recursos Computacionales.....	61
Referencias bibliográficas.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de funcionamiento de sistema de monitoreo en línea.....	14
Figura 2: Esquema de comunicación entre una estación de monitoreo, el sistema de recepción y almacenamiento.....	20
Figura 3: Esquema de los sistemas de almacenamiento tipo “RAID 1” y “RAID 5” que se implementarán en la configuración de la red de monitoreo.....	21
Figura 4: Esquema del sistema de recepción y almacenamiento de los datos adquiridos de la red de monitoreo de acuicultura.....	22
Figura 5: Página inicio aplicación web para la información recibida por la red de monitoreo de las Agrupación de Concesiones de la Salmonicultura.....	25
Figura 6: Paquete de datos transmitidos por la boya oceanográfica operada por el centro I-Mar. a) Datos oceanográficos, b) Datos Meteorológicos, c) Metadata de la estación (Datos del GPS).....	30
Figura 7: Diagrama esquemático del proceso de extracción de datos de las boyas virtuales provenientes del sistema de pronóstico operacional MOSA.....	32
Figura 8: Serie de tiempo de datos de una estación de monitoreo virtual, generado en la página web del proyecto. Datos comienzan el 13 de octubre 2021.....	34
Figura 9: Boyas virtuales (círculos azules) incluidas en la plataforma de visualización del sistema de monitoreo de la acuicultura. El círculo amarillo es la boya real en el Seno del Reloncaví.....	35
Figura 10: Ejemplo del boletín para una estación de monitoreo virtual.....	36
Figura 11: Esquema del sistema de control de calidad de los datos adquiridos de la red de monitoreo de acuicultura.....	38
Figura 12: Diagrama de flujo para el proceso de control de calidad aplicado a los datos provenientes del multiparámetro WIMO de NKE.....	41
Figura 13: Temperatura superficial del mar registrada por el equipo multiparámetro WIMO. Data original registrada entre 20 de abril y el 25 de mayo del 2021.....	42
Figura 14: Variables monitoreados por multiparámetro WIMO. Base de datos resultante al aplicar la metodología de control de calidad.....	44
Figura 15: Vista geográfica de alertas en el mapa principal de la página de estaciones de monitoreo.....	46
Figura 16: Visualización de las alertas vigentes en el sistema de visualización.....	47
Figura 17: Sensor multiparámetro WiMO de NKE.....	59

Índice de tablas

Tabla 1: Variables a monitorear por cada boya según lo expuesto en el artículo 4 del reglamento de control en línea de parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones de acuicultura (Ley General de Pesca y Acuicultura).....	14
Tabla 2: Características específicas de cada una de las variables a monitorear por cada estación de monitoreo.....	18
Tabla 3: Características servidor de almacenamiento para la información transmitida por el sistema de monitoreo.....	19
Tabla 4: Unidad de medida de cada variable que debe ser incluida en el paquete de datos transmitido por las estaciones de monitoreo.....	31
Tabla 5: Datos virtuales generados a partir de los pronósticos numéricos de CROCO y WRF del sistema MOSA.....	33
Tabla 6: Tiempo de ejecución de consultas optimizadas para extraer datos de la red de 138 boyas (virtuales). El tiempo de ejecución no incluye el tiempo para transferir los datos desde el servidor al usuario, ya que esto depende de la calidad de conexión de cada usuario.	37
Tabla 7: Límites rígidos de diferentes variables meteorológicas (UNE 500540, 2004) y oceanográficas.....	40
Tabla 8: Intervalos flexibles definidos para el multiparámetro WIMO, utilizando su información histórica.....	43
Tabla 9: Resumen de los rangos de medición, precisión y resolución de los sensores del multiparámetro WiMO.....	60
Tabla 10: Especificaciones técnicas del servidor web para sistema de monitoreo de las ACS, ubicado en Data Center en Santiago.....	61
Tabla 11: Especificaciones técnicas del servidor de almacenamiento de respaldo de información de las ACS ubicado en IFOP-Putemún, Castro.....	61

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta el estado actual y el desarrollo del sistema de recepción, almacenamiento y visualización del sistema de monitoreo de las Agrupaciones de Concesiones de la Salmonicultura (ACS). El propósito de este sistema es implementar un repositorio de datos de variables oceanográficas y meteorológicas con el fin de generar información útil para los organismos tomadores de decisiones, y a su vez aumentar el conocimiento medioambiental en la Patagonia Chilena. Específicamente, este tipo de sistemas de monitoreo permitirán a futuro estudiar adecuadamente factores que influyen en el desarrollo de acontecimientos como las floraciones de algas nocivas (FAN), identificar zonas con concentraciones bajas de oxígeno disuelto, impactos de la industria acuícola (escapes y mortandad de salmones, dispersión de virus ISA o de caligus, etc), contaminación de bancos de mitílicos naturales, entre otros.

En la primera etapa del proyecto (año 2020) se adquirió un servidor con el objetivo de recibir y almacenar la información generada en cada estación de monitoreo, procesar los algoritmos de desarrollo que permiten la visualización web de las mediciones, proporcionar alertas y notificar ante posibles fallos en el sistema de transmisión de la información. Además, adquirimos un sensor oceánico multiparámetro WIMO de NKE para operar localmente y de manera autónoma el sistema completo. Dado que no se contaba con información oceanográfica proveniente de las áreas de acuicultura, utilizamos la información transmitida por la boya desplegada en el Seno del Reloncaví, administrada por el centro I-Mar de la Universidad de los Lagos. La información de esta boya sirvió para probar el sistema de recepción, almacenamiento y la visualización en una plataforma web.

Uno de los objetivos de esta etapa del proyecto (año 2021) fue administrar, optimizar y calibrar el sistema de recepción y almacenamiento de datos transmitidos remotamente. Dado que a la fecha aún no se cuentan con datos oceanográficos provenientes de áreas de la acuicultura, diseñamos un sistema de información de estaciones de monitoreo virtuales a partir de un producto de pronósticos oceanográficos implementado por IFOP. Este sistema virtual agregó 137 nuevas estaciones de monitoreo al sistema y demostró que el sistema es estable, robusto, escalable y capaz de soportar la transmisión de datos desde la acuicultura cuando estas se encuentren operando.

Por otra parte, se aplicaron 2 tipos de control de calidad a los datos registrados por el sensor multiparámetro WIMO de NKE. El primero consiste en probar el estado de operación de la estación, la presencia de datos corruptos, comprobar la *metadata* y retirar información duplicada, lo que se conoce como límites rígidos. Además, con información histórica se establecieron límites flexibles para las variables monitoreadas por este sensor.

Finalmente, se incorporaron mejoras al sistema de visualización de la información transmitida por la red de monitoreo. Estas mejoras consisten en algoritmos internos para mejorar los tiempos de respuesta a las consultas de los usuarios en el portal web y en cambios en el mapa dentro de la página web. La plataforma web para la visualización de la información está disponible en el sitio web <http://chonos3.meteodata.cl/boyas/>. A su vez, se sofisticó el sistema de alerta, mostrando en el mapa de las estaciones de monitoreo un círculo con un color asociado al estado de transmisión de dicha estación (verde, naranja y rojo). Esta actualización incorporó a la plataforma un reporte que permite ver en tiempo real el estado de monitoreo de cada estación (<http://chonos3.meteodata.cl/boyas/alertas>).

1. ANTECEDENTES

1.1 Contexto

La variabilidad de los procesos oceanográficos y atmosféricos, además de las actividades que se desarrollan actualmente en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes tienen una importante influencia en la recurrencia de fenómenos naturales como las Floraciones Algales Nocivas (FANs; conocidas coloquialmente como mareas rojas) o brotes de patógenos (Buschmann et al., 2009, Mardones et al., 2021). Por otra parte, diversos estudios abarcan los potenciales impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos (Sarmiento et al., 2004, Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010, Collins et al., 2010, Aguayo et al., 2019) y de la necesidad de implementar sistemas de monitoreos para su estudio (Malone et al., 2010, Barruffa et al., 2021). En esta línea, la escasez de sistemas de información en tiempo real limita conocer el verdadero impacto del cambio climático sobre los ecosistemas costeros en Chile. La instalación de sistemas de observación podrían generar sistemas de alertas tempranas para peligros costeros (marejadas, FANs, detectar zonas hipóxicas, etc) o aplicarse en el monitoreo del cambio climático, áreas marinas protegidas, zonas portuarias o de acuicultura (Grez et al., 2020). En el ámbito de la acuicultura en los fiordos y canales de la Patagonia chilena, el monitoreo en línea se plantea como una herramienta de gran valor para la adecuada sincronización entre el manejo productivo y las condiciones ambientales, así como para la oportuna reacción ante eventos de emergencias sanitarias y/o ambientales como las FANs (Sandoval et al., 2018).

La instalación de sistemas de observación mediante boyas oceanográficas y estaciones meteorológicas forman parte de los instrumentos más usados a nivel mundial para el monitoreo medioambiental. Estos sistemas nos permiten registrar y transmitir información de las condiciones ambientales en tiempo real o casi real, lo cual es importante para la gestión costera y la toma de decisiones. Contar con sistemas de monitoreo continuos y en línea de nuestros sistemas costeros oceánicos tiene una gran importancia para sectores económicos (agricultura asociada a zonas costeras, pesquerías, acuicultura, turismo o exigencias de transporte seguro, entre otras), científicos (facilitando información que permita mejorar la modelación atmosférica y oceanográfica) y políticos (información que ayude a mejorar la toma de decisiones en los respecta a la conservación de los sistemas costeros de la Patagonia). Para lograr un óptimo monitoreo de nuestra diversidad de ecosistemas, se requiere de instrumental oceanográfico y meteorológico con normas de calidad estandarizadas, laboratorios de calibración calificados, equipamiento de gran envergadura que permita compartir datos de alta calidad y representativos de cada región que se ajusten a las necesidades del país y por sobre todo, una plataforma que permita

difundir los datos a los usuarios y autoridades para la toma de decisiones (Grez et al., 2020).

En el caso particular de la zona austral de Chile, se observa una importante evolución del conocimiento de la oceanografía durante los últimos años motivada por la necesidad de gestionar en forma sustentable el desarrollo de la acuicultura (Quiñones et al., 2019) y apoyada por diversas iniciativas con financiamiento público. Entre estas iniciativas podemos mencionar los proyectos de Convenio de Desempeño suscritos entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero, los proyectos del Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola (FIPA), así como también el programa de investigación CIMAR (Silva & Palma, 2008) del Comité Oceanográfico Nacional (CONA). De esta forma, la investigación del océano y la atmósfera en la región se ha convertido en un instrumento vital para el óptimo desarrollo de la pesca y la acuicultura, así como también para otras actividades, como el turismo, la navegación segura y la conservación-sustentabilidad ambiental, permitiendo tomar decisiones en pos del crecimiento sustentable de las regiones. Desde la perspectiva socio-económica, surge la necesidad impostergable de generar una adecuada sincronización entre el manejo productivo de la acuicultura en los fiordos y canales de la Patagonia chilena y el conocimiento de las condiciones ambientales que la sustentan, a través de un sistema de monitoreo permanente y en línea con los usuarios acuícolas.

Estos sistemas de monitoreos permitirán caracterizar los fiordos donde se encuentran las zonas de producción acuícola, los cuales son sistemas estuarinos muy complejos con una mayor susceptibilidad a la variabilidad climática y oceanográfica (física y biogeoquímica) porque están sujetos a diferentes factores locales. Entre ellos se incluyen; (1) la entrada de agua dulce del deshielo de los glaciares y ríos con alto aporte de materia orgánica y nutrientes (eg. ácido silícico) que contribuye a una serie de procesos biogeoquímicos (Torres et al., 2011b; González et al., 2019; Vergara-Jara et al., 2019). La entrada de agua dulce a los fiordos también genera estratificación de la superficie y crean una marcada haloclina; (2) estacionalidad en la productividad primaria, impulsada por los regímenes de radiación solar y nutrientes de masas de agua oceánicas y efluentes terrestres; (3) La advección vertical, producida por el estrés de vientos, que permite el enriquecimientos carbono inorgánico disuelto y nutrientes de masas de aguas subsuperficial oceánicas; (4) Intercambio de gases aire-mar, favorecido en estas zonas subpolares por las bajas temperatura y los fuertes vientos; (5) Presencia de glaciar con terminal marina o terrestre, este último aporta grandes cantidades de sedimentos que ingresan a los fiordos y se mantienen en suspensión, bloqueando la luz e inhibiendo el proceso fotosintético; y, (6) la batimetría del fiordo, la cual modula la circulación de las masas de agua (Torres et al., 2014; Alarcón et al., 2015; Iriarte, 2018; Giesecke et al., 2019).

El artículo 87 ter de la Ley General de Pesca y Acuicultura indica “a fin de tener un control en línea de los parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones acuícolas, deberán estas disponer de una tecnología que registre y transmita al menos indicadores de conductividad, salinidad, temperatura, profundidad, corrientes, densidad, fluorescencia y turbidez. El 6 de enero del 2020 se publicó en el Diario Oficial, el D.S. No 1 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo en el cual se indican las características del reglamento aprobado. El reglamento establece, los requisitos y condiciones que deberá tener el sistema de monitoreo o control en línea de los parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones de salmónidos (ACS), los componentes necesarios para la recopilación de las variables meteorológicas y oceanográficas de interés, la recepción y transmisión de las mismas, así como el almacenamiento y procesamiento de información. Asimismo, el reglamento describe las distintas especificaciones técnicas que la Subpesca definirá mediante resolución, referidas a los estándares que deberán cumplir los equipos, así como el lugar, altura y profundidad a la que deberán instalarse, la frecuencia de registro de información, estándares para la certificación de los equipos y el cronograma para el cumplimiento de las obligaciones que deberá cumplir el titular de una concesión de acuicultura referidas a las acciones necesarias para instalar y mantener el sistema de monitoreo en línea.

En base a lo señalado, el titular de cada concesión de acuicultura integrante de las ACS será responsable de la adquisición, instalación y transmisión de la o las estaciones de monitoreo necesarias para medir de manera permanente y continua las variables oceanográficas y meteorológicas que componen el sistema de monitoreo en línea. Los titulares de centros de cultivo deberán contar con una certificación post-instalación de las estaciones de monitoreo. Esta certificación se deberá realizar de manera posterior a la instalación de los equipos y en forma previa al inicio del periodo productivo correspondiente. La certificación tendrá vigencia de doce meses. Además, se deberá disponer de una tecnología que permita almacenar la información durante el tiempo en el que por problemas tecnológicos o eventos climáticos se vea impedida la transmisión de datos, desde la estación de monitoreo hacia la estación base o desde esta última a la plataforma de datos. Finalmente, sin perjuicio de lo señalado anteriormente, los titulares de las concesiones integrantes de una agrupación podrán suscribir un plan de monitoreo integrado, destinado a dar cumplimiento a las obligaciones antes indicadas.

Por otra parte, el Instituto de Fomento Pesquero será el organismo técnico que deberá hacerse cargo de la recepción, almacenamiento y visualización de resultados de todos los datos transmitidos desde todas las estaciones de monitoreo en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, siendo la parte fundamental de este convenio de desempeño ASIPA. Lo anteriormente señalado, crea la necesidad de generar un repositorio de los datos de las variables obtenidas desde las estaciones de monitoreo hacia un servidor centralizado. Según

lo indicado en la Ley de Pesca, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), en su calidad de organismo técnico especializado en investigaciones científicas en materia de pesquerías y acuicultura, es quién administrará las bases de datos generadas en las actividades de investigación y monitoreo de las pesquerías y de la acuicultura, conforme a las políticas que se definan por el Ministerio.

El objetivo de implementar el repositorio de datos de variables oceanográficas y meteorológicas es con el fin de que estas variables puedan ser almacenadas y procesadas de tal forma de convertir estos datos en información útil para la toma de decisiones de los diferentes organismos públicos, tales como: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Medioambiente, Consejo de Defensa del Estado, entre otros. Específicamente, la implementación del sistema de monitoreo con transmisión en tiempo real, permitirá generar una base de datos medioambiental apropiada para realizar descripciones de la situación ambiental de los canales, fiordos y océano adyacente de la Patagonia Chilena, lo que permitirá por ejemplo mejorar los pronósticos oceanográficos de esta zona y fortalecer las medidas preventivas frente a eventos o anomalías ambientales que puedan poner en riesgo la actividad acuícola. Además, esta base de datos permitirá realizar estudios orientados a evaluar el impacto de fenómenos de baja frecuencia, como los vinculados al Fenómeno de El Niño o al Cambio Climático, entre otros.

Cabe destacar que en el caso que los datos sean registrados dentro de una concesión de acuicultura, el acceso a dicha información por parte de terceros será pública sólo en la medida que no contravenga la Ley N°20.825 sobre acceso a la información pública, o la normativa que la reemplace. Por otro lado, el uso de datos e información por parte de IFOP, requerirá consentimiento previo de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura para su utilización.

1.2 Sistemas de monitoreo en línea

Una limitación general de la oceanografía es la falta de datos de terreno disponibles en tiempo real o casi real. Contar con una red de estaciones de monitoreo (sistema de monitoreo) capaz de entregar datos en tiempo real en una amplia zona geográfica permite mejorar el conocimiento de los sistemas oceanográficos, facilitando por ejemplo la toma de decisiones de las autoridades en caso de emergencias o eventos ambientales o bien para gestionar la planificación costera. En el caso particular de Chile, este sistema de monitoreo en línea permitirá entender los impactos locales de la variabilidad climática, la dinámica de los procesos regionales en la interfase aire-mar a lo largo de la costa de Chile y su teleconexión asociada a la variabilidad climática tropical, y al transporte de propiedades y sus relaciones con el clima del Pacífico entre otras. En otro contexto, estos sistemas de

observación también permiten evaluar y mejorar los modelos numéricos de la región, dado que contar con información continua en el tiempo permite reducir los errores de dichos modelos e incluso permite desarrollar nuevos modelos.

A nivel mundial, son diversos los países y organizaciones que han implementado un sistema de observación o monitoreo del océano en tiempo real. La Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (COI), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), junto con otras organizaciones patrocinan el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (GOOS, <https://www.goosocean.org/>). El programa COPERNICUS (<https://www.copernicus.eu/es>) perteneciente a La Unión Europea (UE), antes conocido como “Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad” está compuesto por información espacial *in situ* de estaciones meteorológicas, boyas oceánicas y estaciones de calidad del aire. El sistema ARGOS (<https://www.argos-system.org>) cuenta con información espacial y datos de observación *in situ* provenientes de boyas ancladas y a la deriva, presentes en todo el mundo. También existe el programa “Global Tropical Moored Buoy Array, NOAA” (GTMBA, <https://www.pmel.noaa.gov/gtmba/>) y muchos más en el resto del mundo. Algunos se encuentran integrados al GOOS y/o pertenecen a las principales agencias de investigación de los océanos, mientras que otros, se desarrollan/administran a escala regional o se encuentran en los primeros niveles de implementación. En general, las grandes potencias del mundo y los países que se desarrollan principalmente en base a los recursos marinos, son los que tienen los mejores y más completos sistemas de observación. Sin embargo, los productos de muchos de estos sistemas son inaccesibles para el público general, y sólo se puede acceder a sus especificaciones y datos mediante la inscripción y/o pago en las diferentes plataformas de difusión.

Si bien el gobierno de Chile ha impulsado y mantenido programas de monitoreo del océano, estos no son en tiempo real y en ocasiones puede ser difícil el acceso a esta información. Uno de los programas de monitoreo más continuos en la Patagonia chilena corresponde al programa de investigación de los canales y fiordos australes, bajo el nombre “Crucero de Investigación Marina en Áreas Remotas” (CIMAR), diseñado en 1994 por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA). Entre 1995 a la fecha se han realizado 25 cruceros CIMAR (<http://www.cona.cl/programación/cruceros.php>). En el caso específico de monitoreo en tiempo real o casi real, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) mantiene operativo una red de 45 mareógrafos desplegados a lo largo de la costa de Chile (<http://shoa.cl/php/nivel-del-mar.php?idioma=es>) e intermitentemente ha desplegado boyas de oleaje, pero que lamentablemente sus registros son cortos y no se han mantenido en el tiempo.

Por otro lado, 4 universidades han tratado de mantener operativas alguna boya oceanográfica desde el 2014 a la fecha. Estas boyas corresponden a la boya POSAR de la Universidad de Chile, la boya Tongoy del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA, <http://www.ceaza.cl/>), la boya Reloncaví del centro i-mar de la Universidad de Los Lagos, la boya Puyuhuapi del centro COPAS-SurAustral de la Universidad de Concepción y finalmente la boya Stratus del *Woods Hole Oceanographic Institution* (WHOI, <https://www.whoi.edu/>). Actualmente, tanto las boyas Tongoy como Stratus son las únicas que se encuentran operativas. Los datos de todas estas boyas pueden encontrarse en el “*Centro de Datos Oceanográficos y Meteorológicos*” (CDOM, <http://www.cdom.cl/>). CDOM es una plataforma de visualización y descarga de información oceanográfica y meteorológica de Chile, creada por COPAS Sur-Austral en colaboración con el CEAZA.

La boya POSAR recibe el nombre de “*Plataforma de Observación del Sistema Acoplado Océano Atmósfera*”, se encuentra situada a ~10 km mar adentro frente a la desembocadura del río Itata y complementada con estaciones automáticas en el borde costero (<https://www.cr2.cl/posar/>). POSAR es de tipo costera de media profundidad, con una boyante neta de 1841 kg, peso neto de 680 kg, 2 metros de diámetro y 3.6 metros de altura. La boya se mantiene fija mediante una serie de conectores y una línea de anclaje al fondo marino sobre unos 50 metros de profundidad en la zona de instalación. POSAR realiza observaciones con una frecuencia diaria de variables meteorológicas (viento, presión atmosférica, radiación solar y neta, temperatura y humedad del aire) y oceanográficas (temperatura del mar, salinidad, oxígeno disuelto, nitrato, clorofila a, turbidez, presión de dióxido de carbono y pH). Actualmente se encuentra en mantención programada luego de operar normalmente entre Agosto 2019 y Marzo 2020.

La boya Stratus está dirigida por la WHOI que, gracias al financiamiento de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), tiene varias boyas a lo largo de América recopilando datos atmosféricos y oceanográficos. Stratus fue desplegada por primera vez en Julio de 2016 a 1.000 millas de la costa paralela a la ciudad de Iquique, en aguas internacionales, fuera de nuestra zona económica exclusiva. A la fecha se ha reemplazado en 3 ocasiones por boyas de similares características (Stratus17, Stratus18 y Stratus19), siendo la última vez en el verano del 2021. Stratus19 tiene alrededor de 140 sensores, unos 20 se encuentran en superficie, y los otros sensores están bajo el agua, a lo largo de un cable que mide 4.300 metros. La información recolectada de la boya Stratus19 va directo a un satélite, con la finalidad de poder entender los flujos aire-oceano y las temperaturas de superficie del mar en la zona tropical este pacífico.

La boya Tongoy (o balsa CEAZA-Invertec) es un instrumento de medición de variables oceanográficas y meteorológicas que lleva cerca de 7 años instalada en la Bahía de Tongoy. La boya pertenece a CEAZA, pero las mantenciones son realizadas por la

empresa Invertec-Ostimar. En este sentido, esta boya ha permitido mejorar la toma de decisión de la empresa ostionera Invertec-Ostimar y la de pequeños acuicultores locales, a través del monitoreo constante de las condiciones océano-atmosféricas en la región de Coquimbo, además de apoyar la investigación científica.

La boya de Puyuhuapi ($44^{\circ}35.3'S$ y $72^{\circ}43.6'W$) o boya Magdalena fue fondeada en la parte norte del canal Puyuhuapi a 190 m de profundidad y ha estado operativa de manera intermitente desde el 12 de abril del 2011 a la fecha (Schneider et al., 2014). La boya está equipada con una sonda multiparamétrica modelo YSI 6600-V4 que tiene sensores ópticos de oxígeno disuelto, clorofila-a y sensores analógicos de temperatura del agua, conductividad y presión. Además, la boya tiene equipado sensores meteorológicos para medir magnitud y dirección del viento, presión atmosférica, temperatura y humedad relativa del aire y radiación solar. Actualmente se encuentra en mantención y se pretende vuelva a estar operativa durante el 2022, dentro del mismo fiordo pero en otra ubicación.

Finalmente la boya de Reloncaví ($41^{\circ}38'.183 S$, $72^{\circ}50'.069 W$) fue instalada en marzo del 2017 a una profundidad de ~ 240 m en la zona central del seno de Reloncaví (Pérez-Santos et al., 2021). Esta boya consiste en una estación meteorológica modelo Gill-GMX 500, una sonda multiparámetro modelo AML Metrec XL y un perfilador acústico de corrientes AWAC de 400 kHz. En detalle, esta boya cuenta con mediciones continuas de variables atmosféricas (temperatura del aire, presión atmosférica y velocidad y dirección del viento) y de la calidad del agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, fluorescencia y turbidez), además de fitoplancton, zooplancton, sedimentos marinos y toxinas marinas. Esta información ha permitido conocer de mejor manera la dinámica y variabilidad estacional en el seno de Reloncaví. Actualmente la boya se encuentra en mantención.

En este contexto el sistema de monitoreo de boyas oceanográficas y estaciones meteorológicas instaladas por las ACS aumentará exponencialmente el monitoreo en tiempo real (o casi real) de la Patagonia chilena. En términos generales, el sistema puede dividirse en 3 componentes: Un sistema de observación, un sistema de recepción y almacenamiento y un sistema de visualización de la información recolectada (Fig. 1). El sistema de observación consiste en registrar y transmitir la información de las diferentes variables ambientales, tanto oceanográficas como meteorológicas. El sistema de recepción y almacenamiento consiste en recibir, almacenar y clasificar esta información. Finalmente, el sistema de visualización se encarga de consultar en la base de datos del sistema de almacenamiento y en desplegar esta información en un portal web.

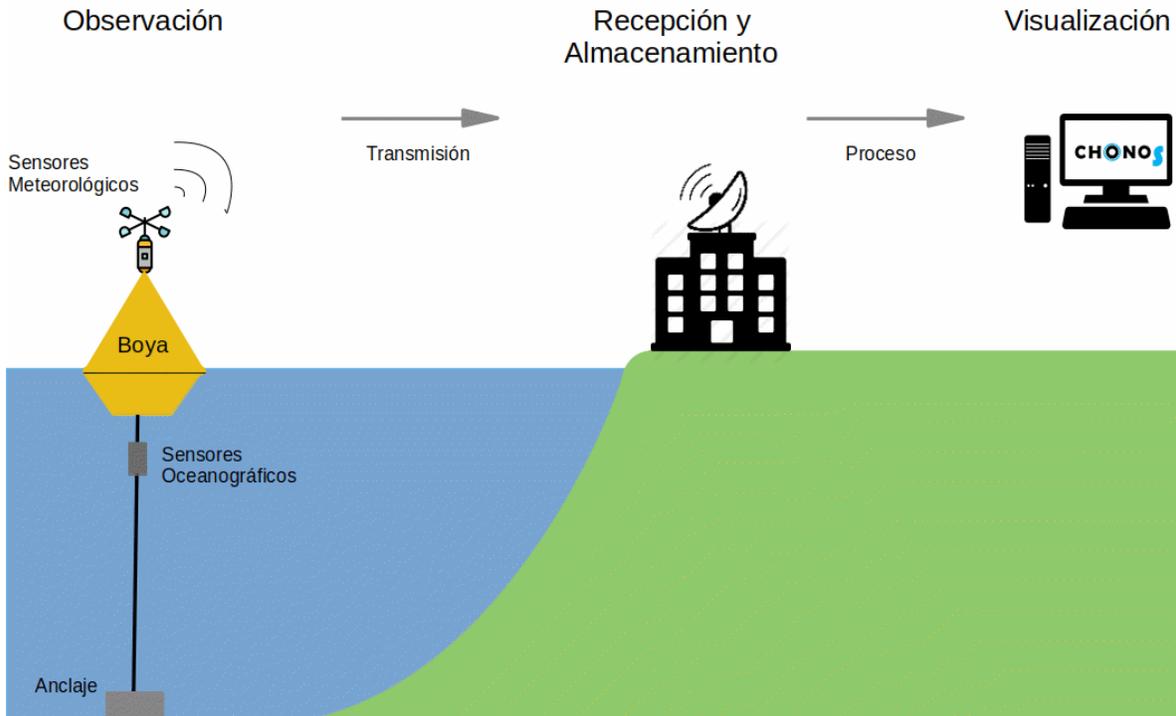


Figura 1: Esquema de funcionamiento de sistema de monitoreo en línea.

Estas boyas permiten registrar las condiciones ambientales mediante una serie de instrumentos de medición oceanográficos y meteorológicos. De acuerdo a las necesidades del proyecto, la selección de las variables esenciales a monitorear fueron consideradas según lo expuesto en el reglamento de control en línea de parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones de acuicultura en su artículo 4 (Ley General de Pesca y Acuicultura) de fecha 6 de enero del 2020. Estas variables están resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1: Variables a monitorear por cada boya según lo expuesto en el artículo 4 del reglamento de control en línea de parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones de acuicultura (Ley General de Pesca y Acuicultura)

Meteorológicas	Oceanográficas
Temperatura	Temperatura
Presión atmosférica	Conductividad/Salinidad
Viento	Presión
Radiación solar	Corrientes
Precipitación	Fluorescencia
	Turbidez
	Oxígeno disuelto
	pH

En la primera etapa de este proyecto se montó un sistema de recepción y almacenamiento para los datos generados por las ACS. Dado que durante el 2020 ningún sistema de monitoreo de las ACS estaba operativo (A diciembre 2021 aún no hay ninguna desplegada) se configuró el sistema de recepción y almacenamiento para recibir la información desde la boya Reloncaví del centro i~mar de la Universidad de los Lagos, ya que ese momento era la única transmitiendo en la zona de la Patagonia chilena. Además, durante el 2020 se adquirió una boya *low-cost* con un sensor multiparámetro (boya WIMO, Anexo B) para ser instalado en el humedal de Putemún con el objetivo de evaluar tanto el sistema de transmisión y la plataforma web durante este año. Sin embargo este instrumento presentó fallas en el sistema de transmisión, razón que conlleva a su envío a servicio técnico, por lo que solo registró alrededor de 1 mes de mediciones. Para este año 2021, al no contar con mediciones en tiempo real en la Patagonia chilena, boya WIMO en servicio técnico y boya Reloncaví en mantención, se generó una base de datos virtual construida a partir del pronóstico operacional MOSA (Ruiz et al., 2021). Los detalles de esta base de datos virtual se encuentran en la sección de resultados 5.1.

El portal web se encuentra en constante desarrollo, desplegando información ambiental de forma sencilla y resumida mediante figuras de series de tiempo. Además, el portal web permite generar y guardar figuras realizadas con estadística básica como promedios, máximos, mínimos en forma horaria, diaria, o semanal. Temporalmente el portal web se encuentra disponible en <http://chonos3.meteodata.cl/boyas>.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de almacenamiento, procesamiento y visualización de datos oceanográficos/meteorológicos transmitidos por la red de monitoreo de la acuicultura en las regiones de Los Lagos, Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y de Magallanes y de la Antártica Chilena.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Calibración del sistema de recepción y almacenamiento de datos provenientes de monitoreos en línea.

2.2.2 Mejorar la plataforma web para la visualización de la información transmitida por la red de monitoreo.

2.2.3 Diseñar algoritmos de control de calidad a la información transmitida por la red de monitoreo

3. METODOLOGÍA

3.1 Metodología objetivo específico 1: Calibración del sistema de recepción y almacenamiento de datos provenientes de monitoreos en línea.

El sistema de monitoreo de la acuicultura está compuesto de un conjunto de boyas con sensores oceanográficos y estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente a lo largo de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. La ubicación de cada estación de monitoreo será elegida por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura mediante reglamento en función de, entre otras, la variabilidad oceanográfica y meteorológica de la concesión o ACS, según corresponda. Así mismo, se establecerá la profundidad o altura de cada sensor, la cantidad de sensores y la frecuencia de medición y transmisión para cada estación de monitoreo. Se pretende contar con al menos una estación de monitoreo por cada titular de concesión o por cada ACS, si es que los titulares de concesión se acogen al plan de monitoreo integrado. De todas maneras, esta cantidad puede aumentar si las condiciones hidrodinámicas de cada concesión o ACS lo requieren.

Cada estación de monitoreo permite registrar las condiciones ambientales mediante una serie de sensores que realizan una medición precisa en tiempo real de diferentes variables oceanográficas y atmosféricas. Para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema de información, cada uno de estos sensores debe contar con los estándares de calidad necesarios para proporcionar información confiable de cada una de las variables registradas. Estos sensores fueron seleccionados considerando las variables exigidas en el artículo 87 ter de la Ley General de Pesca y Acuicultura, sumada a otras que pudieran verse afectadas por las actividades acuícolas o que pudieran explicar algunos de los efectos que esta tendría sobre el ambiente. Asimismo, para las variables meteorológicas, se consideraron las indicaciones dadas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM), que especifican las variables a medir y los requerimientos necesarios de sensores y equipos, que se deben tener para lograr un dato válido. La Subpesca deberá dictar la resolución sobre las características específicas y rangos de las variables a monitorear en un plazo de 12 meses contados desde la publicación del reglamento de control en línea de parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones de acuicultura. En reuniones de coordinación entre IFOP y Subpesca se sugieren los siguientes rangos de medición, resolución y precisión para todas las variables a monitorear (Tabla 2):

Tabla 2: Características específicas de cada una de las variables a monitorear por cada estación de monitoreo.

	VARIABLES	Unidad de medida	Rango de medición	Resolución	Exactitud / Precisión
Meteorológicas	Temperatura	°C	-0.2 a 45	0.1	±0.3
	Presión	hPa	500 a 1080	0.1	±0.1
	Magnitud viento	ms ⁻¹	0 a 70	0.5	±0.5 (Mag <5) ±10% (Mag > 5)
		Knt	0 a 137	0.05	±0.05 (Mag <10) ±10% (Mag > 10)
	Dirección viento	Grados (°)	0 a 360	5	±5
	Ráfaga viento	ms ⁻¹	7 a 75	1	± 10%
	Radiación solar	Knt	9 a 146	2	±5% de rango medido en un día
		Wm ⁻²	0 a 1800	1	
Precipitación	mm	0 a >400	0.2	±0.1 (Prep <5) ±4% (Prep >5)	
Oceanográficas	Velocidad corrientes	ms ⁻¹	Columna de agua de 25 m	Celdas de 1m.	±1% ± 5 mm s ⁻¹
	Dirección corrientes	Grados (°)	0-360	5	±5
	Presión	Bar	-	0.1	±1%
	Temperatura	°C	2 a 20	0.01	±0.05
	Salinidad (Conductividad)	qkg ⁻¹ o PSU	0 a 38 (0 a 60)	0.01 (0.001)	±0.05 (±0.005)
		(mScm ⁻¹)			
	Oxígeno disuelto	ml L ⁻¹	0 a 10	0.1	±0.1
		mg L ⁻¹	0 a 7	0.07	±0.07
	(% Saturación)	(%)	(0 a 200)	(0.1)	(±0.5)
	Turbidez (medir a 800 – 890 nm)	NTU	0 a 1000	0.5	±0.5
	pH	-	1 a 14 (general) 7 a 9 (fiordos)	0.1	±0.5
	Fluorescencia	mg m ⁻³ (µL ⁻¹)	-	0.01	±0.01

La información registrada por cada uno de los sensores acoplados a cada una de las estaciones de monitoreo será transmitida por la tecnología más adecuada para cada barrio de ACS, debido a la compleja geografía de los fiordos y canales de la Patagonia Chilena (Rodrigo, 2006) y su ubicación remota, lo que condiciona la forma en que la información es transmitida. Por este motivo, la información registrada por cada uno de los sensores

acoplados a cada una de las boyas será transmitida por la tecnología más adecuada para cada barrio de ACS. Los sistemas de comunicación comúnmente son HF, GPRS, LPWAN y su implementación difiere para cada boya, la cual depende de la accesibilidad a la señal. Una vez transmitida la información, los datos son guardados en un formato de texto tipo ASCII y enviados a un servidor exclusivo de recepción y almacenamiento administrado y mantenido por IFOP para este proyecto.

El sistema de almacenamiento de la información debe ser capaz de soportar grandes volúmenes de información, debe tener la capacidad de que los usuarios puedan realizar consultas y extraer datos necesarios para sus posteriores usos, incluyendo una o varias variables para puntos geográficos determinados (Hormazábal 2018). A su vez, los recursos computacionales de este sistema deben cumplir los requisitos mínimos para poder asegurar una comunicación fluida entre el usuario y el sistema de visualización de la información. Finalmente, el sistema de almacenamiento debe ser escalable, es decir debe ser capaz de soportar la inclusión de nuevas variables, sin afectar a los datos anteriormente capturados ni al funcionamiento del sistema de visualización.

En la primera etapa de este proyecto IFOP gestionó la adquisición de un servidor dedicado exclusivamente a recibir y almacenar la información histórica generada en cada estación de monitoreo, procesar los algoritmos de desarrollo que permiten la visualización web de los resultados, proporcionar alertas y notificar ante posibles fallos en alguno de las partes del sistema. Las principales características técnicas de este servidor están resumidas en la Tabla 3.

Tabla 3: Características servidor de almacenamiento para la información transmitida por el sistema de monitoreo

Memoria RAM	64 GB
CPU	4 procesadores AMD Opteron(tm) Processor 6380 (64 cores 2.5 Ghz)
Disco duro	5.4 TB

Este servidor de almacenamiento y visualización de la información del sistema de monitoreo se encuentra instalado y operativo en un *Data Center* ubicado en Santiago, el cual cumple con altos estándares establecidos en las normas internacionales ANSI / TIA / EIA-942 con lo que asegura tanto la continuidad operacional de sus servicios, como los requerimientos de proceso y almacenamiento, mencionados anteriormente. Cabe destacar que los *Data Center* están protegidos en términos energéticos, lo que permite apagar los servidores de manera adecuada ante eventuales cortes de suministro, protegiéndolos para evitar daños o pérdidas de información.

En el servidor se ha instalado el sistema operativo Centos 7, el cual es de código abierto lo que reduce los costos asociados al software base. El sistema operativo fue configurado con un sistema de protocolo de transferencia de archivos (FTP), esto permite que desde un equipo cliente se pueda conectar al servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos, independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo (Fig. 3). Esta funcionalidad permite la recepción de los datos que convergen en una misma ubicación, reduciendo los tiempos de procesos y desarrollo. Además el equipo está configurado para conectarse de manera remota mediante el protocolo SSH (Secure Shell Protocol), lo cual permite administrar el servidor en sí bajo un mecanismo de autenticación segura, dado que toda la información se encuentra cifrada. Dado que el protocolo FTP es inseguro, considerando que su información no viaja cifrada, se migrará al protocolo FTPS durante el año 2022, el cual añade una capa SSH para transmitir información más segura y privada.

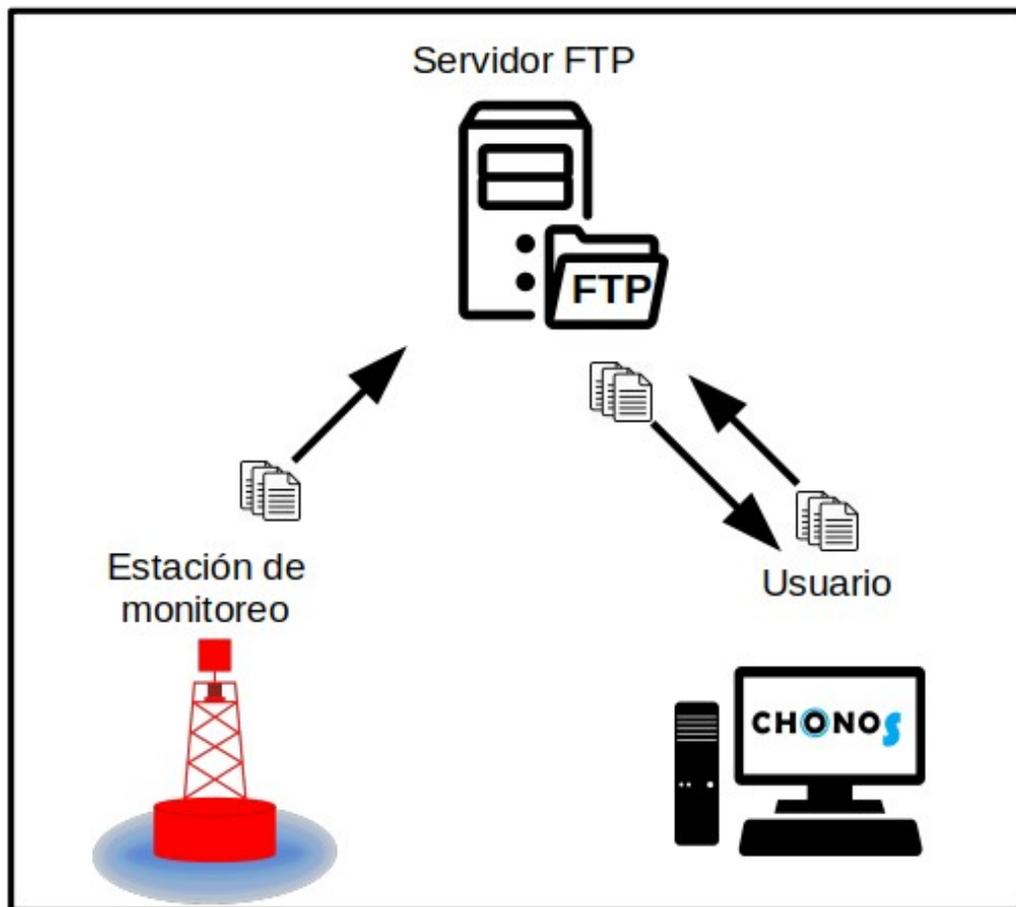


Figura 2: Esquema de comunicación entre una estación de monitoreo, el sistema de recepción y almacenamiento.

Por otra parte, el sistema de almacenamiento de los datos fue configurado recientemente como un sistema de almacenamiento de datos tipo RAID 5 o también

llamado “distribuido con paridad” (Fig. 3). Este sistema hace uso de varios discos duros agrupados (3 en nuestro caso) para formar una sola unidad lógica. Esta almacena la información de forma dividida en bloques que se reparten entre los discos duros que la conforman, pero además se genera un bloque de paridad para asegurar la redundancia y poder reconstruir la información en caso de que un disco duro se corrompa. Este bloque de paridad se almacena en una unidad distinta a los bloques de datos que están implicados en el bloque calculado. RAID 5 es un buen sistema integral que presenta baja redundancia, proporciona seguridad y rendimiento a un menor costo computacional.

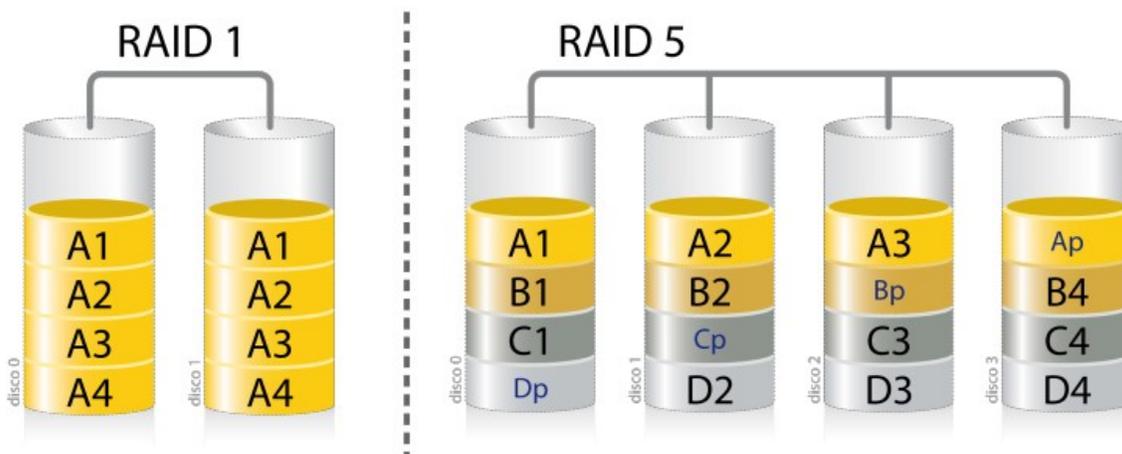


Figura 3: Esquema de los sistemas de almacenamiento tipo “RAID 1” y “RAID 5” que se implementarán en la configuración de la red de monitoreo.

Para brindar aún mayor seguridad y evitar pérdida de información valiosa en caso de fallas en el hardware o emergencias ambientales como incendios, terremotos, tsunamis, entre otros, se utilizará un segundo equipo de almacenamiento (storage) realizando la función de respaldo. Este equipo se encuentra ubicado en la sede de IFOP-Putemún. El sistema cuenta con una capacidad total de almacenamiento de 24 TB y cuenta con una configuración de discos RAID 1. Esta configuración también es llamada espejo y es una de las utilizadas con mayor frecuencia para proporcionar redundancia de datos y buena tolerancia a fallos. El sistema guarda la información duplicada en dos discos duros, o dos conjuntos de discos duros (Fig. 3). Cuando se almacena un dato, este se replica automáticamente en su unidad espejo para así tener dos veces el mismo dato almacenado. Desde el punto de vista del sistema operativo, solamente se tiene una unidad de almacenamiento, a la que accedemos para leer los datos de su interior. Pero en caso de que esta falle, automáticamente se buscará el dato en la unidad replicada. También es interesante para aumentar la velocidad de lectura de datos, y poder leer la información de forma simultánea de las dos unidades en espejo. Este respaldo de información será implementado una vez se comience a recibir la información desde cada una de las estaciones de monitoreo.

Por lo tanto, en términos de seguridad el sistema de monitoreo apunta a contar con un servidor que contemple un completo sistema de redundancia para la información con el fin de respaldar los datos en caso de fallas en el *hardware*. La Fig. 4 representa un esquema general del procedimiento de recepción y almacenamiento de la información obtenida de la red de monitoreo.

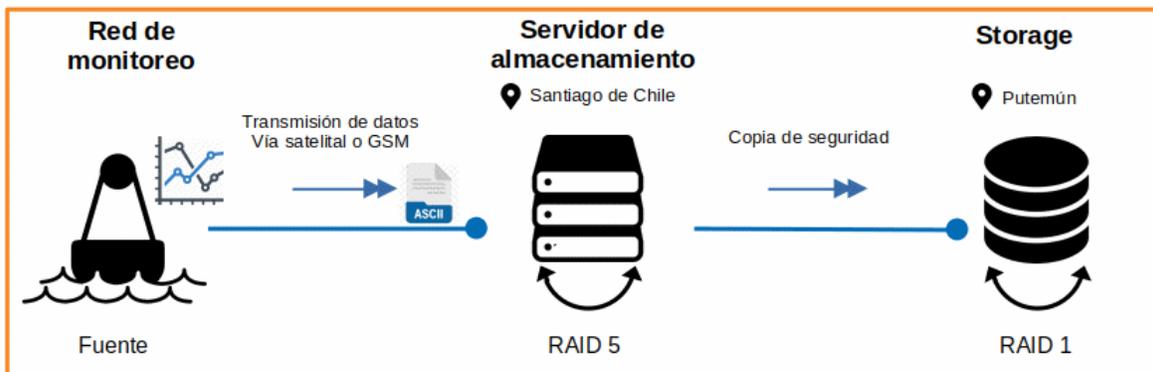


Figura 4: Esquema del sistema de recepción y almacenamiento de los datos adquiridos de la red de monitoreo de acuicultura.

Dado que el formato de la información de cada sensor puede cambiar dependiendo del proveedor de estos, así como el tipo de tecnología usada para la transmisión de dicha información debido a las características propias de la concesión o ACS es necesario calibrar y configurar este sistema de recepción y almacenamiento de datos de manera periódica. Cabe destacar que a la fecha no se encuentra ninguna estación de monitoreo operativa y en la primera etapa de este proyecto se contó con información de una boya administrada por el centro i-mar de la Universidad de Los Lagos ubicada en el seno del Reloncaví (más detalles de la boya en la sección 1.1). Sin embargo, esta información no se ha podido usar en esta etapa del proyecto debido a que dicha boya no ha transmitido información durante el 2021 debido a retrasos en su mantención y calibración de sensores. Los últimos datos disponibles tienen fecha del 2 de febrero de 2021.

Por la razón antes mencionada, en esta segunda etapa del proyecto ocupamos un sensor multiparámetro modelo WIMO (Anexo B) de *NKE Instrumentation* (<https://nke-instrumentation.com/>) con sensores de conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y clorofila, que permitió la transmisión de datos en tiempo real. Este equipo fue adquirido por el IFOP durante el 2020 y las pruebas de funcionamiento comenzaron en marzo del 2021, siendo instalado en el humedal de Putemun el día 11 de mayo del 2021. Se escogió este lugar como laboratorio natural de pruebas, debido a que en este lugar se encuentran las oficinas de los investigadores de IFOP de este proyecto.

Lamentablemente, el sensor presentó problemas de operación durante el primer mes de medición lo que conlleva a su envío a servicio técnico, retrasando las pruebas programadas con el instrumento. Específicamente, se detectó un problema con la antena transmisora de datos. Este problema no se pudo solucionar en el servicio técnico de NKE en Chile, por lo que el sensor WIMO tuvo que ser enviado a mantención a la casa matriz en Francia. De todos modos, el instrumento estuvo midiendo las condiciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila durante dos semanas, con una configuración de registro cada 10 minutos y un envío de datos cada 30 minutos. Durante este periodo el sistema de recepción no presentó inconvenientes y se mantuvo operando con normalidad. Estos datos serán usados como parte del control de calidad de la información transmitida.

Finalmente, con el objetivo de continuar con las pruebas de rendimiento y al no contar con información observacional en tiempo real se buscaron alternativas que emulen la operatividad y a su vez permitan evaluar la capacidad y desempeño del sistema de recepción y almacenamiento de información. Para esto, con ayuda del modelo de pronóstico operacional Sur-Austral MOSA (Ruiz et al., 2021) generamos una base de datos de estaciones de monitoreo virtuales, la cual consta de 137 estaciones puntuales repartidas a lo largo de la región de Los Lagos y Aysén, cuya información oceanográfica y meteorológica es enviada al servidor de almacenamiento cada 3 horas usando el pronóstico más reciente.

3.2 Metodología objetivo específico 2: Mejorar la plataforma web para la visualización de la información transmitida por la red de monitoreo.

En la etapa 1 de este proyecto, el asesor Meteodata diseñó una plataforma web (Fig. 5) para visualizar la información transmitida por el sistema de monitoreo de las ACS entre las regiones de Los Lagos y Magallanes. Esta plataforma cuenta con una serie de opciones de configuración que permiten al usuario interactuar de manera gráfica e intuitiva con toda la gama de variables oceanográficas y meteorológicas que contenga cada estación de monitoreo. El usuario también dispone de un mapa georeferenciado, con la opción de reducir o ampliar la región para mayor detalle. Así mismo, el portal web cuenta con un boletín resumen con los responsables de la estación de monitoreo, las últimas mediciones registradas por cada uno de los sensores que componen la estación, así como también, con algunas alarmas cuando se registran valores fuera de un rango establecido.

El sistema de visualización fue desarrollado e instalado en el mismo servidor de recepción y almacenamiento de información (Anexo C). Esta plataforma web está basada en códigos numéricos en lenguaje de programación html, javascript y python. A su vez, se utiliza un *framework* web Django (<https://www.djangoproject.com>), el cual está basado en

python. Este *framework* permite que el desarrollo y administración del sistema sea robusta, permitiendo la administración de base de datos, creación de usuarios de acceso, entre otras cosas. Este sistema utiliza un motor web *Nginx* (<https://www.nginx.com>). La aplicación *Nginx* está diseñada para ofrecer un bajo uso de memoria y una alta concurrencia. En lugar de crear nuevos procesos para cada solicitud web, *Nginx* usa un enfoque asíncrono basado en eventos donde las solicitudes se manejan en un solo hilo. Con *Nginx*, un proceso maestro puede controlar múltiples procesos de trabajo. El proceso maestro mantiene los procesos de trabajo, y son estos lo que hacen el procesamiento real. Para el manejo de datos utilizamos una base de datos *PostgreSQL* (<https://www.postgresql.org>) donde se almacena toda la información recibida. Para el despliegue de observaciones en mapas georeferenciados 2D utilizamos la librería abierta *Leaflet* (<https://leafletjs.com>). En resumen, el sistema comprende la integración de múltiples tecnologías web y computacionales de código abierto, las cuales se enumeran a continuación:

- PostgreSQL
- Nginx
- Highcharts 6
- Django
- Python
- Javascript
- HTML5
- Leaflet

La aplicación web desarrollada como herramienta de visualización de los datos de la red de monitoreo de las ACS se encuentra disponible en <http://chonos3.meteodata.cl/boyas>. Es importante destacar que el ambiente de desarrollo para este sistema es el mismo utilizado en el desarrollo del portal web CHONOS (Reche et al., 2021), lo cual ha demostrado ser un sistema estable, adaptable y escalable al uso de nueva información. Actualmente, considerando que la información que se está desplegando no pertenece a los titulares de concesiones o a las ACS, esta información se encuentra de libre acceso para todo público. Esto puede cambiar a futuro, si las mediciones son dentro de una concesión de acuicultura, debido a que el acceso a dicha información por parte de terceros será pública sólo en la medida que no contravenga la Ley N°20.825 sobre acceso a la información pública, o la normativa que la reemplace. De todas maneras, el acceso a la información estará disponible para los organismos del estado tomadores de decisiones mediante acceso a través de un usuario registrado.

En este objetivo se busca mantener, implementar, mejorar y corregir errores en la programación del portal web para visualización del sistema de monitoreo océano-atmósfera procedente de las ACS, que fue implementado en la fase anterior del proyecto. A su vez, se

incorporaron sugerencias de los usuarios tomadas en el taller de difusión del proyecto (4 Febrero 2021) para el despliegue de la información transmitida por la red de monitoreo o las estaciones de monitoreo disponibles.

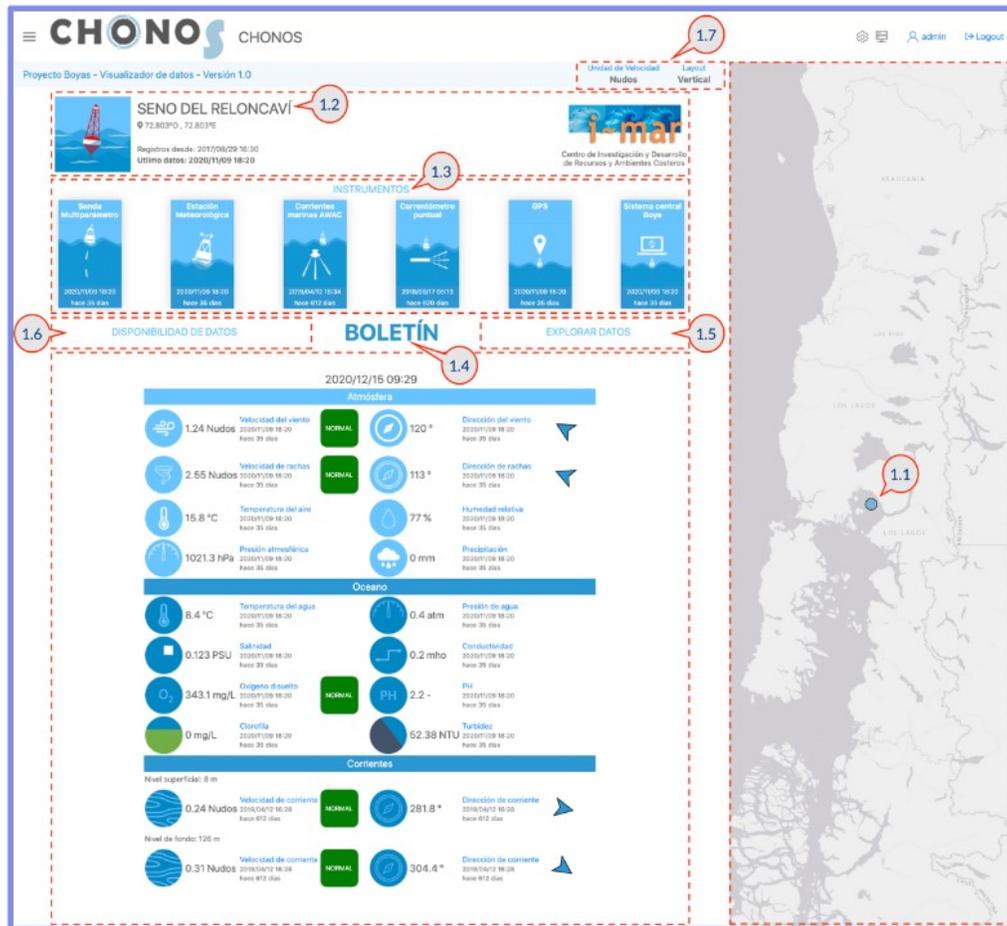


Figura 5: Página inicio aplicación web para la información recibida por la red de monitoreo de las Agrupación de Concesiones de la Salmonicultura.

3.3 Metodología objetivo específico 3: Diseñar algoritmos de control de calidad a la información transmitida por la red de monitoreo.

Las variables oceánicas y atmosféricas representan información valiosa para el desarrollo de la acuicultura, pues ayudan a monitorear las condiciones ambientales y a su vez, permiten tener un respaldo científico para la toma de decisiones ante eventos ambientales de todo tipo. Por esta razón, resulta de vital importancia la necesidad de aplicar algoritmos de control de calidad a los datos registrados por la red de monitoreo de las ACS para entregar un producto confiable y de calidad a los organismos tomadores de decisiones, tales como Subpesca, Sernapesca, SMA, Seremi de medioambiente, CDE, etc. El uso de datos erróneos puede provocar una conclusión no válida, un análisis incorrecto o una mala

interpretación de diferentes procesos ambientales. De igual manera, los cambios repentinos y/o cuando los valores superan (o están bajo) un cierto umbral son relevantes antes posibles fallas del equipo instrumental y/o algún sensor, o bien como una señal de interés ante un posible evento extremo. Reducir o eliminar estos últimos registros puede de igual manera llevar a una toma de decisión sesgada o incorrecta.

El objetivo del control de calidad es identificar mediciones erróneas o fuera del rango típico de observación de cualquier variable monitoreada. En este sentido, el sistema de visualización debe ser capaz de discriminar entre mediciones que se encuentran dentro de rangos razonables, pero que de todas maneras califican como incorrectas. El éxito de esta etapa es la base para contar con información robusta y de calidad, debido a que si los algoritmos fracasan o están mal configurados afectarían directamente al sistema de monitoreo y por ende en la toma de decisiones y/o en análisis posteriores.

El diseño de algoritmos de control de calidad es un proceso a largo plazo, el cual debe contar con actualizaciones periódicas, ejecutadas en base a la detección de nuevos fallos que se presentan a lo largo del periodo de monitoreo. La incorporación de nuevas fuentes de información, ya sea de boyas oceanográficas o nuevos sensores podría implicar modificaciones en la estructura del modelo, por lo que el diseño de los algoritmos debe ser orientado a objetos o pasos que permitan estas futuras modificaciones.

En esta etapa del proyecto, la metodología del control de calidad de los datos disponibles se basará en diseñar y probar algoritmos que permitan evaluar la información recibida y almacenada, y a su vez mejorar el sistema de alertas en la plataforma web. El proceso se pretende ejecutar siguiendo una serie de etapas con pasos automatizados, construidos con la ayuda de herramientas de programación numérica de libre acceso. La primera etapa consiste en la comprobación del estado de la estación de monitoreo, una serie de pruebas se ejecutan para corroborar la llegada de los archivos, determinar la legibilidad de la data, comprobar la metadata y remover información duplicada. La segunda etapa comprueba los rangos de medición de cada variable recibida. Las observaciones fuera de este rango se consideran erróneas, por lo que esta información no será visualizada, pero sí almacenada en la base de datos. En la segunda etapa, el sistema de control de calidad es más complejo, debido a que los registros no son catalogados directamente como errores, si no como información anómala. La decisión si el dato es anómalo queda en evaluación del personal técnico de IFOP en una tercera etapa. Una vez sean integradas nuevas fuentes de información, la evaluación se realizará de forma periódica, donde se analizarán las observaciones considerando los registros de medición de todo el periodo. Todos los datos, incluso erróneos y anómalos son respaldados en el centro de respaldo en IFOP-Putemun.

Debido a que la responsabilidad del mantenimiento, calibración y transmisión de la información de cada estación de monitoreo corresponde al personal asociado al titular de las concesión o a las ACS según corresponda, el diseño del sistema de alertas debe incluir la capacidad de notificar ante posibles fallos o eventos de interés a dicho personal responsable. Estas alertas pueden ser de una interacción directa con el personal (notificaciones por SMS, correo electrónico) o ser automáticamente asimiladas por el sistema, con el fin de realizar una acción específica. En la primera etapa de este proyecto se integró un sistema de alertas asociado a los parámetros transmitidos por la boya Reloncaví, y aunque el sistema sigue implementado, las pruebas han sido retrasadas debido a problemas de transmisión de ese equipo. Para esta etapa se ha integrado, adicionalmente una actualización al sistema de alerta, aportando nuevas funcionalidades que permitirán monitorear en tiempo real el estado de transmisión de cada boya. El software se construyó en base a una serie de estaciones virtuales que emulan los datos a transmitir por las boyas oceanográficas y los resultados se pueden visualizar en la plataforma web del proyecto. Dado que los datos transmitidos por la red de monitoreo de las ACS aún están en una etapa de implementación y no contamos con información nueva de la boya Reloncaví, utilizamos los datos transmitidos por el equipo multiparámetro WIMO para las pruebas de sensibilidad y calibración del sistema de control de calidad.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados objetivo específico 1: Calibración del sistema de recepción y almacenamiento de datos provenientes de monitoreos en línea.

Los instrumentos de observación del océano y atmósfera son la parte fundamental del sistema de monitoreo en línea, dado que estos miden y registran las condiciones ambientales en un instante determinado y transmiten dicha información de manera remota en tiempo real. La implementación de una red numerosa de estaciones de monitoreo, la gestión de los datos que acá se produzcan, así como la mantención en el tiempo, es un proyecto a largo plazo, que requiere un alto grado de trabajo logístico y de personal humano. Durante los próximos años, las estaciones de monitoreo se comenzarán a integrar de manera paulatina, buscando conformar una red de observaciones en tiempo real distribuidas sobre el sistema de canales y fiordos de la Patagonia Chilena, es decir, entre las regiones de Los Lagos y Magallanes.

Cada una de las estaciones de monitoreo estará transmitiendo periódicamente información de todos sus sensores ambientales. Esto implica que el sistema de recepción y almacenamiento debe estar preparado para recibir importantes volúmenes de información de manera simultánea. Por esta razón, uno de los principales requisitos de este sistema es contar con un equipo computacional capaz de cumplir con los requerimientos de un sistema de alta disponibilidad, con capacidad de almacenamiento, robusto y escalable en el tiempo. Este equipo fue adquirido en la etapa 1 de este proyecto y las principales características técnicas se encuentran en el anexo C. Por otra parte, toda la información generada y almacenada en este servidor se encontrará respaldada en un *storage* para evitar pérdida de datos.

Por otra parte, tanto las boyas oceanográficas como las estaciones meteorológicas para este proyecto deben registrar y transmitir en tiempo real (o casi real) una gran cantidad de parámetros ambientales. Sin embargo, a la fecha no existe un formato estándar para la transmisión de dichas observaciones al sistema de recepción. Además, el gran número de fabricantes e instrumentos implica una alta variabilidad en la forma en que se ordena la información y se transmite, situación que puede conllevar al sistema a una lectura errónea de las variables y a aumentar los tiempos de desarrollo de los algoritmos de lectura y procesamiento. Con el afán de evitar o disminuir estos inconvenientes se establece el siguiente protocolo sobre el formato que deben llevar los datos transmitidos de cada una de las estaciones de monitoreo. La información debe ser procesada y configurada siguiendo los estándares a continuación:

- Las estaciones de monitoreo deben adaptarse de acuerdo a las necesidades y requerimientos técnicos de cada sitio de monitoreo. Por lo que la frecuencia en que se registran los datos debe ser lo suficientemente alta para describir la variabilidad de las condiciones en el sitio. Por esta razón se sugiere configurar los equipos para una toma instantánea de los parámetros cada 10 minutos. Situación que queda condicionada a evaluación debido a la capacidad de almacenamiento y transmisión de cada estación de monitoreo.
- El proveedor de la estación de monitoreo debe configurar los sensores para una transmisión periódica hacia el servidor de almacenamiento mediante un protocolo FTP o FTPS. Este servidor es el encargado de respaldar los datos brutos de cada una de las estaciones de monitoreo para su posterior control de calidad y visualización web.
- La transmisión de los datos se debe realizar con una frecuencia cercana a la toma de cada registro, con el afán de cubrir el requerimiento de un sistema de transmisión en tiempo real. Sin embargo las capacidades de transmisión pueden ser limitadas en algunas estaciones y por lo general la capacidad de envío de información incluye sólo pequeños paquetes de datos, por esta razón se recomienda que los datos sean transmitidos al menos cada 1 hora.
- La información debe ser transmitida en archivos con formato de texto plano (txt, csv, dat, etc) y puede ser enviada de manera separada en archivos que contengan los parámetros oceanográficos y meteorológicos. Estos deben incluir de manera autocontenida información de metadata, GPS, y estado de los sensores.
- La información de cada archivo se ordena de manera tabulada asignando cada columna a una variable separadas por espacios o comas.
- Cada uno de los archivos debe ser auto-contenido, es decir contar con información de referencia para cada dato. Se debe asignar la cabecera o primera fila para los nombres de las variables y su unidad de medida.
- Las variables oceanográficas y meteorológicas que al menos deben estar incluidas en los paquetes de datos son las siguientes: temperatura del agua, conductividad/salinidad, presión, corrientes, fluorescencia, turbidez, oxígeno disuelto, temperatura del aire, presión atmosférica, viento, precipitación y radiación solar. La tabla 4 muestra las unidades de medida que debe tener cada variable en los archivos.

- Cada registro debe tener asignada la fecha en que se tomó el dato y esta debe estar configurada en el formato de tiempo universal coordinado (UTC).
- El proveedor deberá completar en un formulario en línea habilitado la información de la fecha de instalación de la estación de monitoreo, así como las fechas de mantenimiento y calibración de cada uno de los sensores.

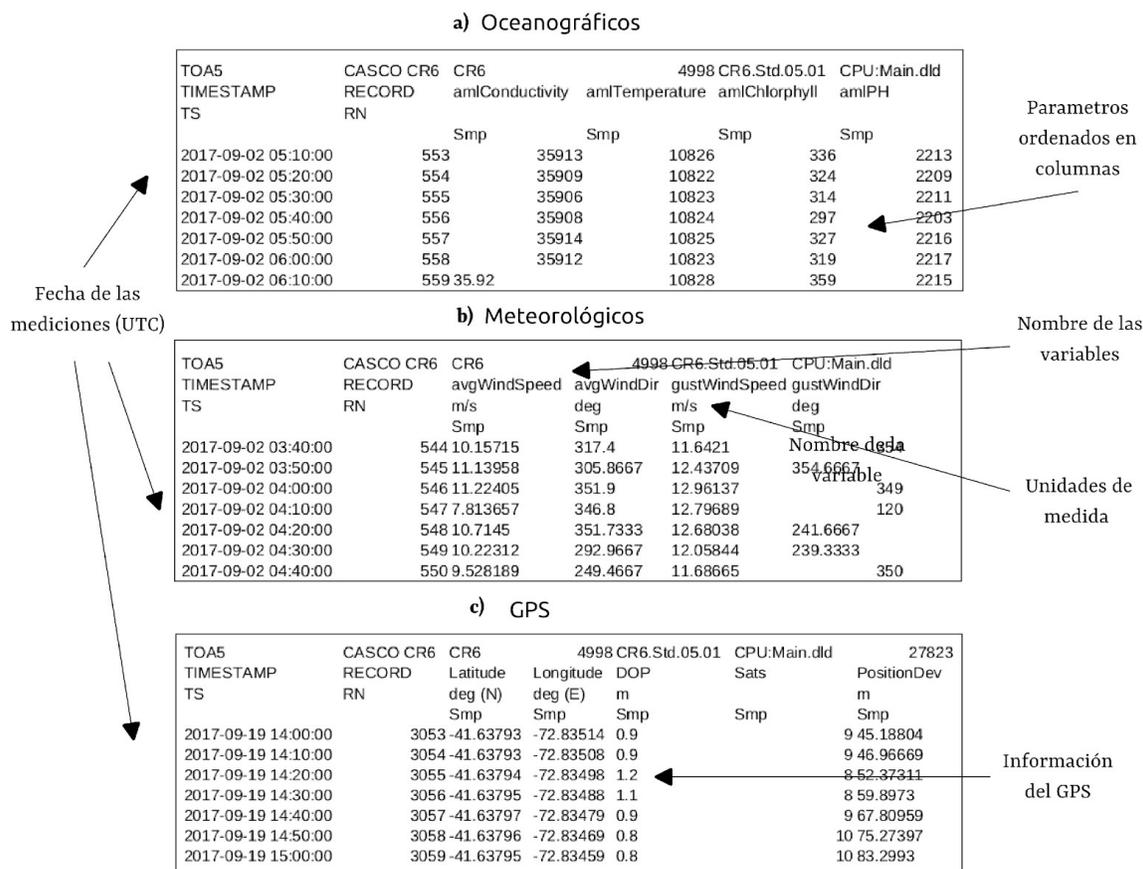


Figura 6: Paquete de datos transmitidos por la boya oceanográfica operada por el centro I-Mar. a) Datos oceanográficos, b) Datos Meteorológicos, c) Metadata de la estación (Datos del GPS).

A modo de ejemplo, la Figura 6 muestra una colección de datos que son transmitidos por la boya oceanográfica operada por el centro I-Mar. El paquete de datos incluye los archivos de parámetros oceanográficos, meteorológicas e información GPS de la estación. Este instrumento registra información cada 10 minutos y está configurado de acuerdo a las condiciones sugeridas anteriormente. Finalmente, de nuevo se sugiere que aunque los formatos pueden diferir bastante de un instrumento a otro, resulta de gran importancia considerar las condiciones planteadas a la hora de configurar nuevas estaciones de monitoreo.

Tabla 4: Unidad de medida de cada variable que debe ser incluida en el paquete de datos transmitido por las estaciones de monitoreo.

Variable	Unidad
Temperatura	°C
Salinidad	g Kg-1 /PSU
(Conductividad)	(mS cm-1)
Presión	Bar
Rapidez corriente	ms ⁻¹
Dirección corriente	Grados
Fluorescencia	mg m-3 / μ L-1
Turbidez	NTU
Oxígeno disuelto	ml l-1
Temperatura del aire	°C
Presión atmosférica	hPa
Rapidez del viento	ms ⁻¹
Dirección del viento	Grados
Precipitación en 10 minutos	mm
Radiación solar global	Wm ⁻²

Durante el año 2021 se han mantenido operativas las rutinas implementadas para la recepción de los datos desde las estaciones de monitoreo ahora integradas en el sistema de recepción y almacenamiento. Cabe señalar que durante este periodo de proyecto no se integraron nuevas fuentes de información. De este modo, a la fecha la única estación de monitoreo real disponible en la plataforma es la boya ubicada en el Seno de Reloncaví, la cual se ha encontrado en estado de mantención durante prácticamente todo el año 2021, siendo los últimos datos disponibles hasta la fecha del 2 de febrero de 2021.

Para este año 2021 consideramos usar datos del sensor multiparámetro WIMO de NKE. Este equipo solo cuenta inicialmente con sensores oceanográficos, su opción de transmisión en tiempo real (o casi real) hace posible probar el sistema de recepción y almacenamiento con un equipo de diferentes características en comparación a la boya Reloncaví. La transmisión de información desde este equipo fue posible sólo mediante el protocolo FTP, dado que la opción de transmitir a través del protocolo SFTP (incluido también en el equipo) no logró funcionar. El equipo fue configurado para medir cada 10 minutos, enviar los datos cada 30 minutos en un archivo comprimido en formato zip, y enviar un archivo con información de alarmas en los sensores y otro con la información del GPS del equipo cada 3 horas. Esta información se envía mediante un usuario restringido a una carpeta exclusiva para este equipo. Lamentablemente, este equipo funcionó menos de 1 mes, y no fue posible evaluar el sistema en mayor profundidad.

Debido a la ausencia de datos reales para avanzar en la calibración del sistema de recepción y almacenamiento se implementó un conjunto de rutinas para generar datos de

una red ficticia de “estaciones de monitoreo virtuales” utilizando las salidas de los pronósticos oceanográficos y meteorológicos del sistema MOSA (Ruiz et al., 2021). Esta actividad se realizó principalmente para probar el rendimiento del sistema para el caso de una red de más de 100 boyas transmitiendo de forma simultánea (que se espera que sea una realidad dentro de los próximos años). Además, la inclusión de una red extensa de estaciones de monitoreo también permite desarrollar nuevas funciones de visualización, como por ejemplo la visualización de variables en un mapa interactivo.

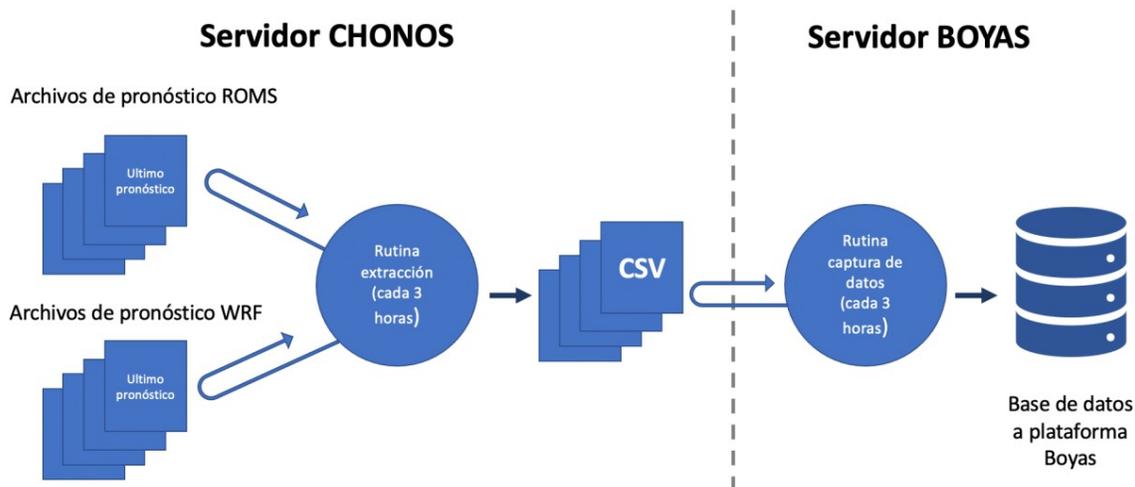


Figura 7: Diagrama esquemático del proceso de extracción de datos de las boyas virtuales provenientes del sistema de pronóstico operacional MOSA.

El módulo de estaciones de monitoreo virtuales fue implementado de la manera representada esquemáticamente en la figura 7. Se implementó una rutina para extraer datos de los pronósticos numéricos de los modelos ROMS y WRF, que forman parte del sistema MOSA en el servidor de visualización CHONOS (Reche et al., 2021). La rutina se ejecuta en el sistema cada 3 horas, y extrae los datos para el periodo $[t-3 \text{ horas}, t]$ donde t es la hora actual en el momento de correr la rutina. Los datos se toman del archivo de pronóstico más reciente.

La extracción se realiza para un conjunto de emplazamientos dentro del dominio de los modelos numéricos. La información que se extrae de MOSA se basa en las variables y en el formato de los archivos de la boya Reloncaví utilizadas en la etapa anterior del proyecto (Tabla 5). El intervalo de datos de ambos modelos es de 1 hora.

Los datos se escriben al disco en formato CSV cada 3 horas, generando un conjunto de archivos para cada estación de monitoreo, con un formato similar a lo que generan los *data logger* de las boyas reales. Análogamente, también en el servidor de este proyecto, se implementó otra rutina que corre cada 3 horas, la cual copia los archivos CSV del servidor

CHONOS mediante el uso del programa *rsync* (Fig. 7). Luego, los archivos CSV se procesan y los datos quedan agregados a la base de datos de la plataforma (postgres). Entonces, el resultado final del sistema de estaciones de monitoreo virtuales es la actualización cada 3 horas de datos horarios de un conjunto de estaciones virtuales que se ubican dentro del dominio computacional del sistema MOSA, es decir, entre las regiones de Los Lagos y Aysén.

Tabla 5: Datos virtuales generados a partir de los pronósticos numéricos de CROCO y WRF del sistema MOSA.

Instrumento	Variables	Profundidad	Fuente
SONDE	Salinidad Temperatura del agua Altura del mar	Nivel superior del modelo	CROCO
AQUADOPP	Velocidad de corriente Dirección de corriente Temperatura	Nivel superior del modelo	CROCO
AWAC	Velocidad de corriente Dirección de corriente	Entre 8 y 128 metros en intervalos de 2 metros	CROCO
MET	Temperatura del aire Humedad relativa Precipitación Presión atmosférica Velocidad de viento Dirección de viento	2 o 10 metros de altura	WRF

4.2 Resultados objetivo específico 2: Mejorar la plataforma web para la visualización de la información transmitida por la red de monitoreo.

La plataforma web para la visualización de la información transmitida por los titulares de concesiones de la acuicultura o por las ACS fue desarrollada e implementada por Meteodata (<https://www.meteodata.cl>) durante el año 2020. Dado que no se contaba con información de las estaciones de monitoreo de la acuicultura, este portal web fue configurado inicialmente solo con datos oceanográficos y atmosféricos de boya Reloncaví. Sin embargo, cabe destacar que la aplicación web fue diseñada con plena capacidad de escalamiento y así soportar un amplio número de estaciones transmitiendo de manera simultánea.

Los datos oceanográficos y atmosféricos de la boya Reloncaví utilizados como objeto de prueba para este sistema de visualización en la primera etapa de este proyecto pueden ser resumidos en los siguientes cuatro tipos de observaciones:

- **Observaciones meteorológicas:** Observaciones de viento (velocidad y dirección) promedio y de ráfagas, temperatura, presión, y humedad relativa y precipitación.
- **Sonda multi-parámetro:** Observaciones de conductividad, temperatura, clorofila, pH, presión, turbidez, oxígeno disuelto y salinidad.
- **Correntómetro puntual:** Observaciones puntuales de corriente (velocidad y dirección).
- **Perfilador de corriente:** Observaciones de perfiles de corriente en 60 niveles entre 8 y 126 m de profundidad (con celdas cada 2 m).

Para el año 2021 se consideraba usar datos oceanográficos del sensor multiparámetro WIMO de NKE, pero debido a problemas del equipo no fue posible agregar esta información al sistema de visualización. Solo fue posible configurar la transmisión de estos datos y generar algoritmos de control de calidad con los pocos datos recolectados. Debido a la falta de datos reales de estaciones de monitoreo, implementamos un sistema de estaciones de monitoreo virtuales como se mencionó en el objetivo específico anterior.

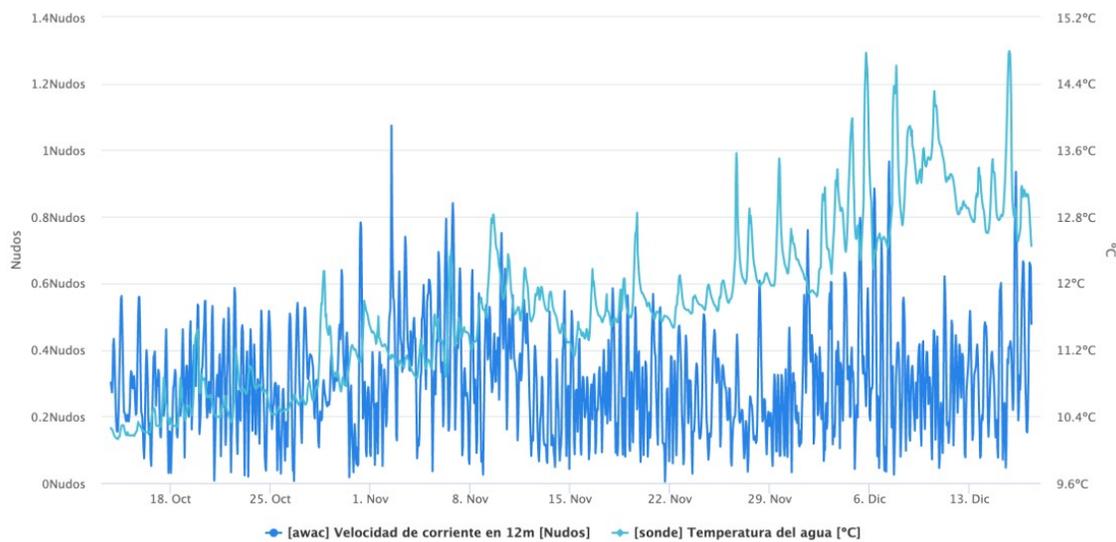


Figura 8: Serie de tiempo de datos de una estación de monitoreo virtual, generado en la página web del proyecto. Datos comienzan el 13 de octubre 2021.

Se definieron un total de 137 estaciones de monitoreo provenientes del sistema de pronósticos MOSA. La ubicación de cada estación de monitoreo corresponde a la “Propuesta de las posiciones geográficas para las boyas de la red de monitoreo de

acuicultura en la región de Los Lagos y Aysén” elaborada por IFOP para la Subpesca en Febrero del 2021. Esta propuesta buscaba determinar la distribución óptima para cada estación de monitoreo, para lograr que estas sean lo suficientemente representativas y otorguen garantía de la calidad de los datos para una adecuada toma de decisión. Para esto, se consideró la variabilidad oceanográfica, la dinámica general de la circulación y las propiedades hidrográficas de las masas de agua en estas regiones. En la figura 9 se muestra la red completa de boyas virtuales. Las rutinas de captura de datos se activaron el 13 de octubre del 2021, así que hay un poco más de 2 meses de datos disponibles a la fecha (Fig. 8).

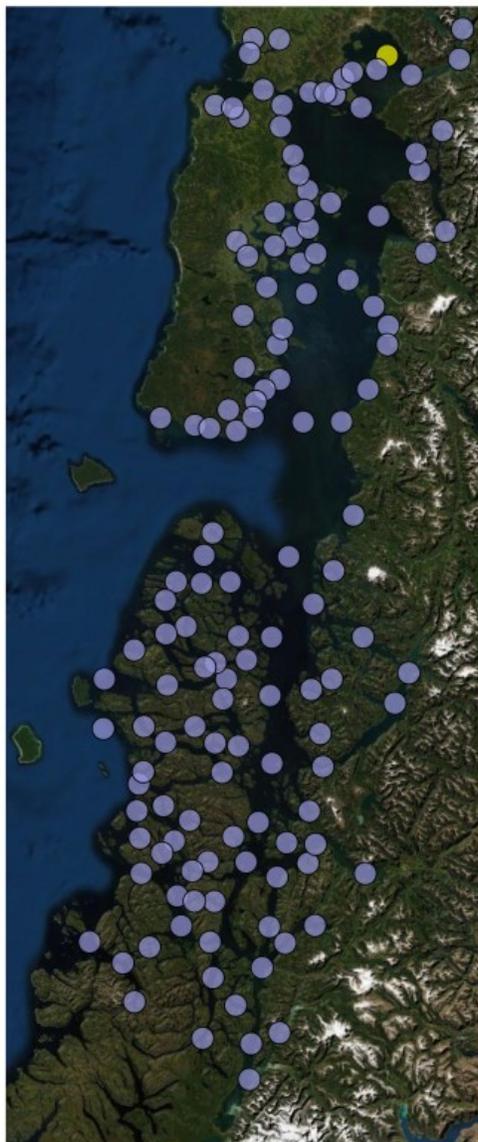


Figura 9: Boyas virtuales (círculos azules) incluidas en la plataforma de visualización del sistema de monitoreo de la acuicultura. El círculo amarillo es la boya real en el Seno del Reloncaví.

Cabe señalar que algunos de los puntos quedaron fuera del dominio computacional oceanográfico del modelo CROCO, es decir, corresponden a sitios sobre tierra en el dominio del modelo numérico. Por lo tanto, en estos puntos no es posible extraer datos de las variables oceanográficas. De todas maneras, se decidió no mover la ubicación de estos puntos, considerando que sirven para probar el sistema de alertas en el caso de ausencia de datos (sección 5.3).

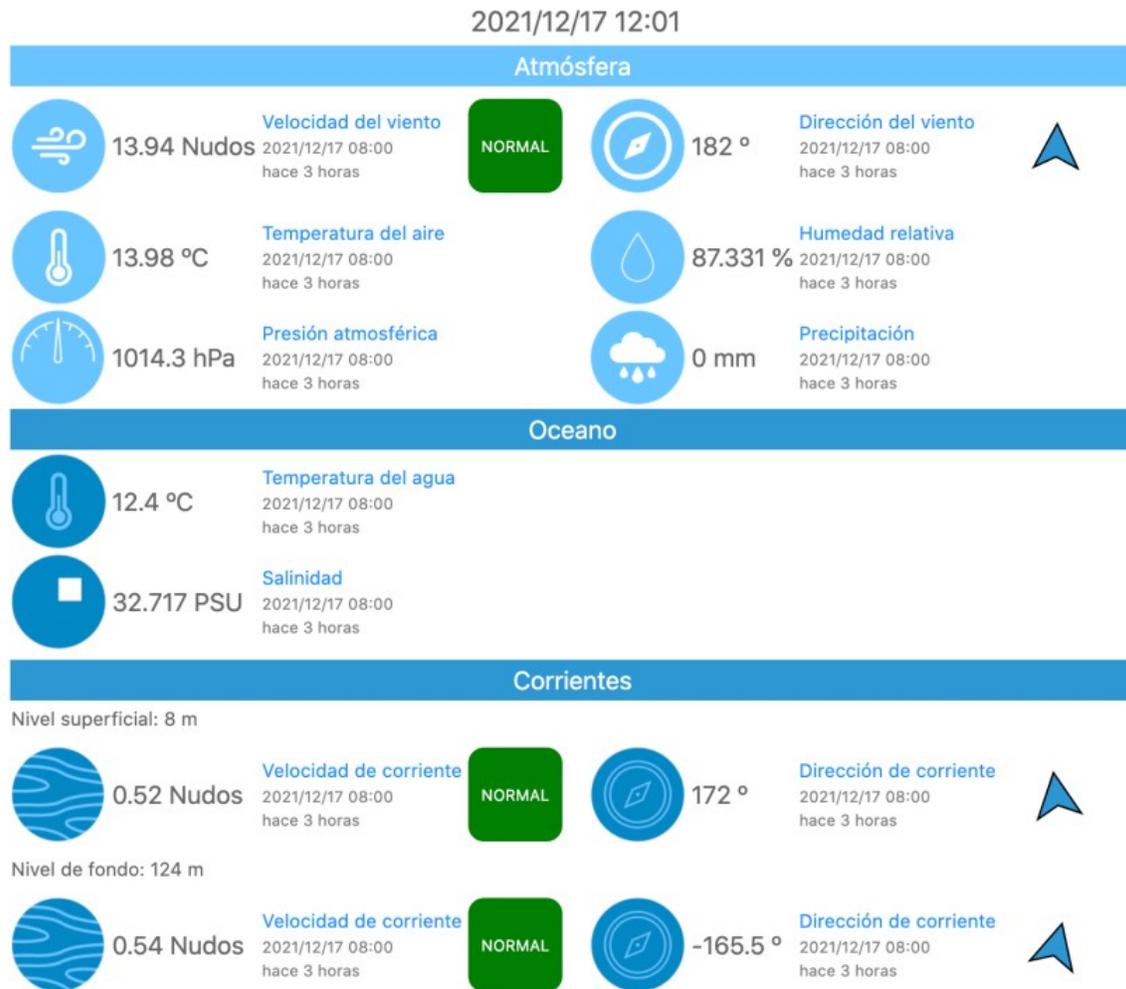


Figura 10: Ejemplo del boletín para una estación de monitoreo virtual.

Los datos de las estaciones de monitoreo virtuales están disponibles en la plataforma de visualización del proyecto en el sitio web <http://chonos3.meteodata.cl/boyas/>. Al igual que en la etapa anterior, los datos son de libre acceso y en la plataforma se pueden generar series de tiempo y gráficos con la información de cada una de estas estaciones, pero con la desventaja que no cuentan con todos los instrumentos de la boya real en Reloncaví (GPS o el sistema central) y el conjunto de variables de las estaciones virtuales es menor que la

boya real (clorofila, PH, turbidez, oxígeno disuelto). Por lo tanto, el boletín para las boyas virtuales es menos extenso que el boletín de una boya real completa (Fig. 10).

Por otra parte, las mejoras de la plataforma web fueron pensadas para soportar más de 100 estaciones transmitiendo simultáneamente, y por lo tanto optimizar la visualización en el portal web. Con la incorporación de los datos de esta red de estaciones de monitoreo virtuales, fue posible realizar pruebas de desempeño para asegurar que la extracción de datos es eficiente y escalable. En particular, se realizaron pruebas y se implementaron ciertas optimizaciones en las rutinas de extracción para poder obtener datos de múltiples estaciones de una manera suficiente rápida para visualización en la plataforma web. En la tabla 6 se presentan algunas estadísticas de las consultas típicas que se realizan sobre la red completa de 137 boyas. En esta etapa, no hubo necesidad de corregir fallas en el portal web.

Tabla 6: Tiempo de ejecución de consultas optimizadas para extraer datos de la red de 138 boyas (virtuales). El tiempo de ejecución no incluye el tiempo para transferir los datos desde el servidor al usuario, ya que esto depende de la calidad de conexión de cada usuario.

Consulta	Tiempo ejecución	Aceptable para portal web
Detección de estaciones que registran alertas	Menos de 0.1 segundos	Sí
Extracción de metadatos de cada estación	Menos de 0.5 segundos	Sí
Extracción de la última observación de una variable para todas las estaciones en el sistema	Menos de 0.5 segundos	Sí
Extracción de datos de las últimas 72 horas de una variable para todas las estaciones en el sistema	Menos de 1.0 segundos	Sí

4.3 Resultados objetivo específico 3: Diseñar algoritmos de control de calidad a la información transmitida por la red de monitoreo.

La base del sistema de monitoreo en línea de la acuicultura se construye a partir de la instalación de instrumentos de medición oceanográficos y meteorológicos, distribuidos en los principales fiordos y canales de la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes. La instalación, calibración y mantención de estos instrumentos son responsabilidad del personal asociado al titular de una concesión o a las ACS, lo que implica un alto desarrollo logístico y de coordinación entre los proveedores de los instrumentos, la industria salmonera, IFOP y las instituciones tomadoras de decisiones como Subpesca, Sernapesca, SMA entre otros, para el acceso y visualización de dicha información.

Las estaciones de monitoreo registran y transmiten una gran cantidad de parámetros ambientales en tiempo real o casi real. El gran número de fabricantes e instrumentos implica una alta variabilidad en la forma en que se ordena la información y se transmite, situación que condiciona la construcción del sistema de control de calidad, de tal manera que su estructura debe ser lo más estándar posible.

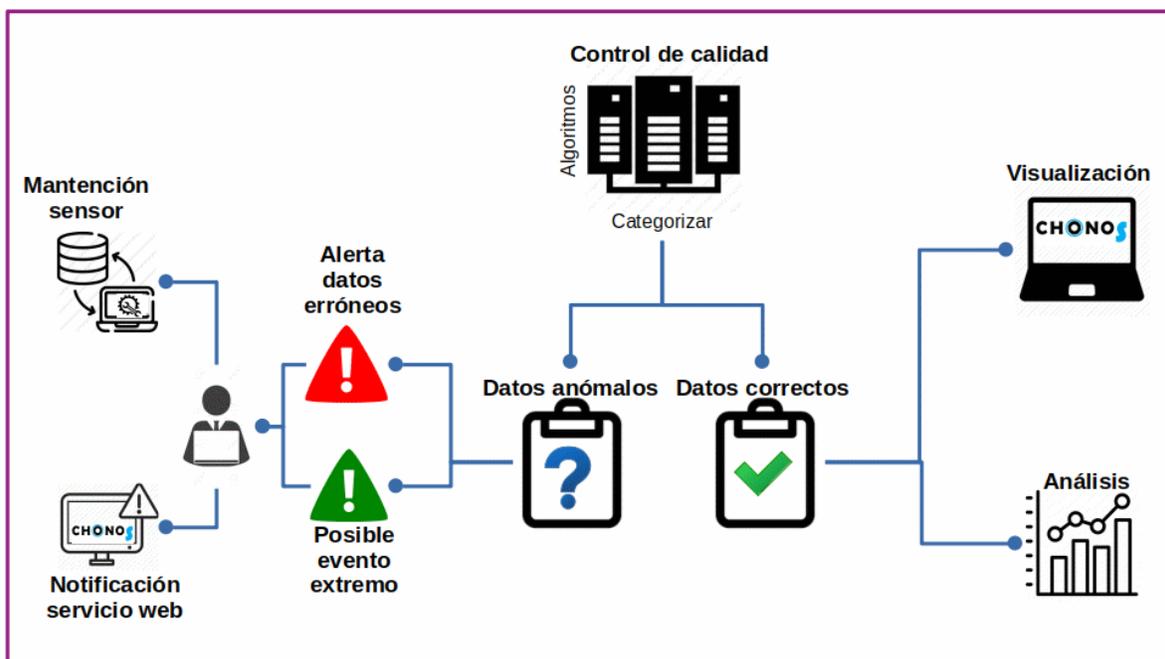


Figura 11: Esquema del sistema de control de calidad de los datos adquiridos de la red de monitoreo de acuicultura.

El esquema de control de calidad comienza una vez los datos lleguen al sistema de recepción y almacenamiento. Por motivos de seguridad y para no modificar, dañar o perder información, los datos se extraen desde el servidor de almacenamiento y se someten a evaluación en el mismo servidor pero en otro directorio de trabajo o bien en otro servidor o

equipo computacional. El diagrama de flujo de la Fig. 11 muestra cada una de las etapas del modelo diseñado, esta estructura representa la primera versión a desarrollar. Su implementación implica modificaciones estructurales a futuro en su diseño, en base a posibles introducciones de nuevas fuentes de información, solicitudes técnicas o la optimización del rendimiento del sistema de monitoreo.

La primera etapa del control de calidad se basa en ejecutar una serie de comprobaciones preliminares sobre los datos, las cuales se describen a continuación:

- **Estado de monitoreo:** A medida que la información es transferida se identifica automáticamente el estado de monitoreo. El algoritmo se ejecuta con un periodo similar al de transferencia de datos, en caso de no identificar el correspondiente al último archivo envía una señal de alerta al administrador para la posterior identificación del fallo. Cabe mencionar que se puede dar la posibilidad de retrasos por problemas de transmisión de los archivos por lo que una alerta no significa la pérdida de información. Sin embargo si la información no es posible recuperar está se puede completar con alguna técnica estadística en un producto procesado.
- **Datos corruptos:** Muchas veces la información no se transmite, pero también se da la ocasión de transferencia de información incompleta. Los datos deben ser legibles por el software de análisis de datos, si los datos presentan algún indicio de corrupción o cambios drásticos en su tamaño, se categoriza como información de carácter “sospechosa”.
- **Comprobaciones en la metadata:** La información contenida en los archivos transmitidos es un requisito fundamental de las variables monitoreadas. Por esta razón, se requieren comprobaciones sobre los sistemas de referencia asociados a los datos. La ubicación, fecha, hora, estado de la batería, entre otros deben presentar valores coherentes para cada estación de monitoreo. De igual manera, el sistema debe notificar mediante una alerta si existen cambios o pérdida de información.
- **Datos duplicados:** La detección de información duplicada en las observaciones es un problema recurrente de los instrumentos, por diversas situaciones como fallas en los sensores o en la transmisión, la información se duplica automáticamente, lo que resulta difícil de detectar si no se está constantemente monitoreando los datos de cada variable. En estos términos, se desarrollará una metodología para comprobar estas fallas y que el algoritmos tenga la capacidad de notificarlas.

Los datos que no pasan con éxito cualquiera de estas pruebas son catalogados como “sospechosos” y se deberá discernir si el dato es válido o no. Un proceso automático se

ejecuta para dejar el dato invalido o se analiza visualmente por el personal para la toma de decisión.

La segunda etapa del control de calidad se ejecuta sobre los datos que superan la primera prueba. Esta evaluación se basa en una prueba de umbrales, la cual identifica si los datos de un sensor en particular se encuentran dentro de los rangos válidos, entre el límite superior e inferior, definidos rígidos y flexibles, respectivamente (Hormazábal et al. 2018). Los límites rígidos son más restrictivos, y categoriza a cualquier dato que esté fuera de estos límites como un dato no válido. En la tabla 7 se indican los límites rígidos que fueron aplicados en la primera versión del sistema. Por otro lado, los límites flexibles, se basan en los valores extremos tomados por las distintas variables a lo largo del periodo de monitoreo o de la información histórica que se tenga del sitio a observar. El dato que no supera este test es calificado como sospechoso y se deberá hacer una inspección visual para considerarlo válido o no. Una vez la estación se encuentre operativa se incorporará una metodología para comparar cada registro en tiempo real con los valores extremos históricos de las variables que cuenten con información disponible en la región. Si el registro que se está validando supera el valor extremo prefijado, el sistema generará una alerta.

Tabla 7: Límites rígidos de diferentes variables meteorológicas (UNE 500540, 2004) y oceanográficas.

Variable	Unidad	Rango
Temperatura del aire	°C	-35/55
Velocidad del viento	ms ⁻¹	0/75
Dirección del viento	grados	0/360
Presión	hPa	700/1080
Radiación solar global	Wm ⁻²	-1/1400
Precipitación en 10 minutos	mm	0/50
Temperatura del mar	°C	-2.5/42
Salinidad	PSU	0/42

Actualmente el control de calidad se encuentra en su etapa inicial de desarrollo, por lo cual es necesario establecer las metodologías a implantar y escoger de manera correcta los intervalos para discernir entre un dato válido o no, esto conlleva todo un proceso de ensayos que pueden ser modificados eventualmente en el tiempo. Siguiendo la metodología planteada se desarrolló un sistema capaz de ejecutarse de forma periódica sobre los datos extraídos del servidor de almacenamiento.

Las primeras pruebas del control de calidad se efectuaron sobre la base de datos recolectada del sensor multiparámetro WIMO de NKE durante todo el registro de calibración y operación. El diagrama de flujo en la Fig. 12, resume de manera general el proceso. La primera etapa del control de calidad verifica el estado de monitoreo, enviando

una señal de alerta, notificando los archivos faltantes. A los archivos que son detectados se les aplica una segunda prueba para discriminar si el dato es válido o corrupto. Para esto se tienen 2 métodos, el primero consiste en verificar el tamaño de los archivos, logrando discriminar si contienen información o se encuentran vacíos mientras que el segundo consiste en comprobar si los datos son legibles, considerando que en muchas ocasiones se puede presentar inconsistencia entre el formato en que son transmitidos y el configurado por el software de lectura. Por otra parte, se determina la existencia de datos duplicados en la serie de tiempo, y posteriormente estos datos son eliminados.

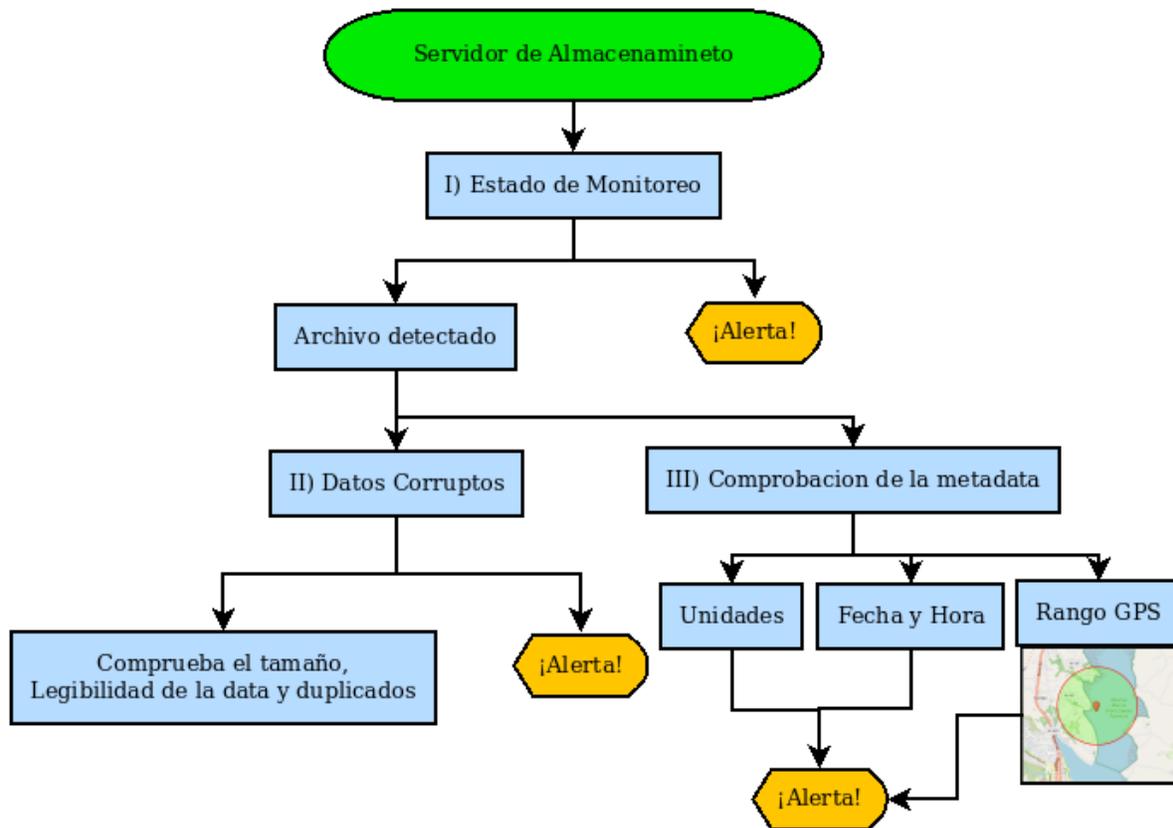


Figura 12: Diagrama de flujo para el proceso de control de calidad aplicado a los datos provenientes del multiparámetro WIMO de NKE.

En el caso particular del sensor WIMO, el equipo transmite información adicional a las variables ambientales tales como hora, fecha, unidades de medida y ubicación geográfica. Esta información es útil para configurar alertas que permitan comprobar el estado de operación del instrumento. Por ejemplo, se puede usar la información del gps para configurar una alerta en caso que el equipo derive fuera de un radio determinado, corroborando que la información recibida corresponde al lugar de medición establecido.

La segunda etapa del control de calidad comprende la prueba de intervalos o umbrales de los diferentes sensores. Los intervalos r3gidos presentes en la tabla 7 determinan los valores inv3lidos y se descartan autom3ticamente de la base de datos. Los l3mites flexibles se definen a partir de observaciones hist3ricas. En este caso, se cuenta con registros de temperatura y salinidad medidos con perfiles CTD realizados por IFOP entre el 30 de marzo y el 6 junio del 2021 y los datos del mismo multipar3metro WIMO para la concentraci3n de ox3geno en el humedal de Putem3n. Los l3mites registrados se describen en la Tabla 8.

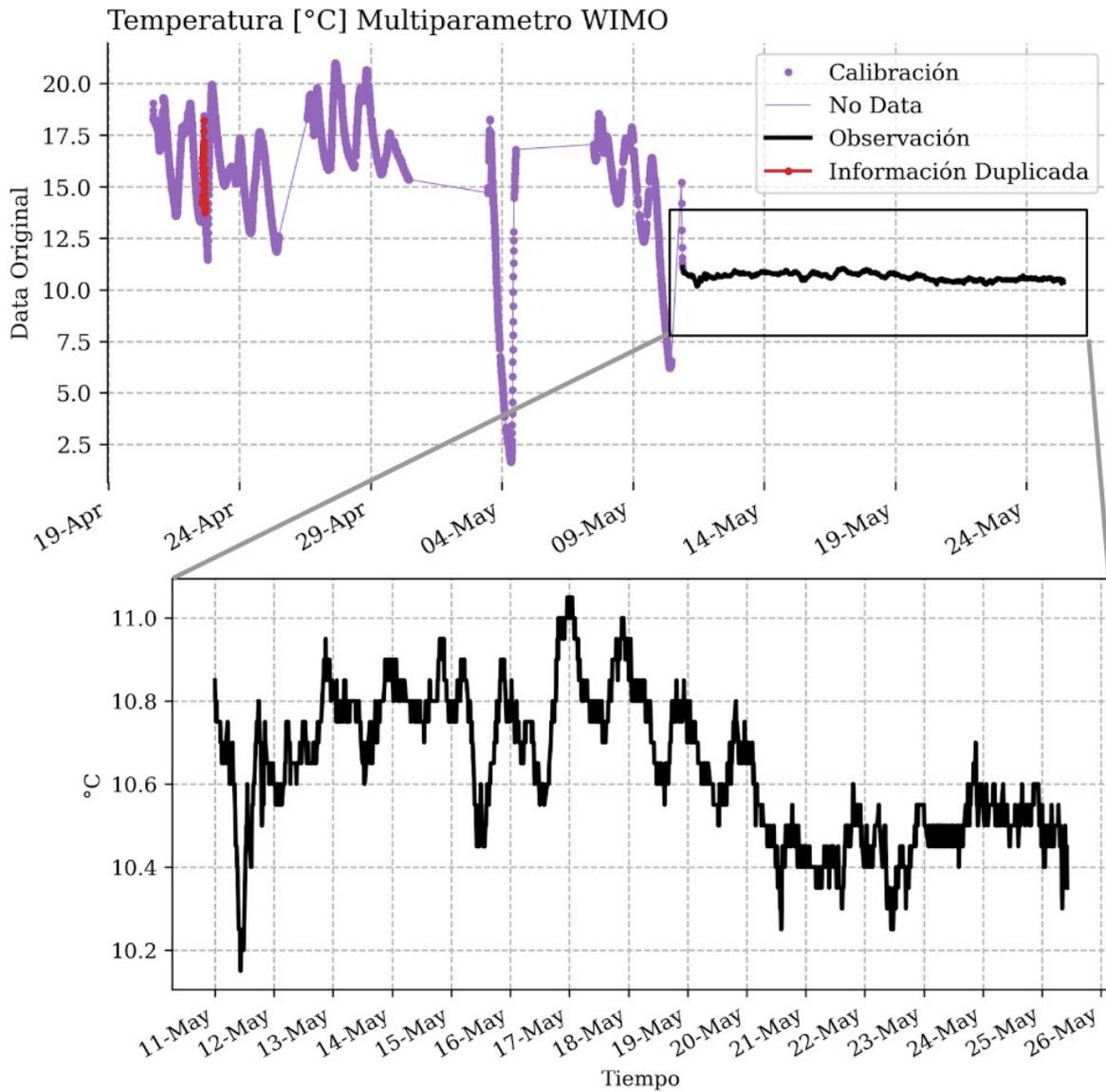


Figura 13: Temperatura superficial del mar registrada por el equipo multipar3metro WIMO. Data original registrada entre 20 de abril y el 25 de mayo del 2021.

Tabla 8: Intervalos flexibles definidos para el multiparámetro WIMO, utilizando su información histórica.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Temperatura (CTD)	9.8	14.4	11.82	0.89
Salinidad (CTD)	30.45	33.3	32.8	0.55
Oxígeno (WIMO)	6.25	8.81	7.58	0.52

La Figura 13 muestra la temperatura superficial del mar registrada por el equipo multiparámetro WIMO. Se observa que la base de datos original presenta una marcada diferencia entre el periodo de calibración, tiempo utilizado para probar el equipo previo a la instalación (Fig. 8 Panel superior) y el periodo de observación, correspondiente a las mediciones realizadas en la reserva Putemún (Fig. 8 Panel inferior). Durante el primer periodo la información presenta una serie de baches y datos duplicados identificados por el algoritmo de control de calidad. Este tipo de registros anómalos, aunque en este caso se encuentran asociados a la calibración del equipo, también se pueden presentar de manera frecuente en las mediciones *in situ* de equipos oceanográficos y meteorológicos, y pueden representar fallas en el instrumento, problemas de la señal de transmisión o falta de mantención o calibración del sensor correspondiente. Por este motivo, resulta de gran importancia poder identificar este tipo de información y separarla de la base de datos que se muestre en el sistema de visualización para la toma de decisiones.

Al aplicar la metodología del control de calidad sobre la base de datos del sensor multiparámetro WIMO se obtiene el producto de la Figura 14. Los datos se presentan de manera continua, no contienen valores escapados y se reproduce una variabilidad concordante con la región monitoreada. A su vez, se observa una baja resolución en el sensor de temperatura, posiblemente asociado a la precisión del sensor.

En una segunda etapa de desarrollo se implementó un sistema de notificaciones sobre condiciones ambientales regionales que pueden ser de interés y que puedan distorsionar o afectar la calidad de las mediciones. De esta forma, será posible comunicar a los operarios de las estaciones si una eventual falla es producto de un evento meteorológico (tormentas, trombas, etc) y/o oceanográfico (marejadas, oleaje extremo, etc) o es producto de una falla o falta de mantención de un sensor en particular o de la estación de monitoreo misma. En cualquier caso, se emitirá un tipo de alerta al personal encargado según el tipo de anomalía registrada. Si el dato adquirido se encuentra dentro de parámetros erróneos y dependiendo del tipo de problema se buscará restablecer el sistema cuanto antes. En el caso de que los datos estén fuera de ciertos parámetros, pero estos no sean identificados como erróneos estarán disponibles en el servidor web donde se emitirán notificaciones que alerten a los usuarios sobre un posible evento extremo.

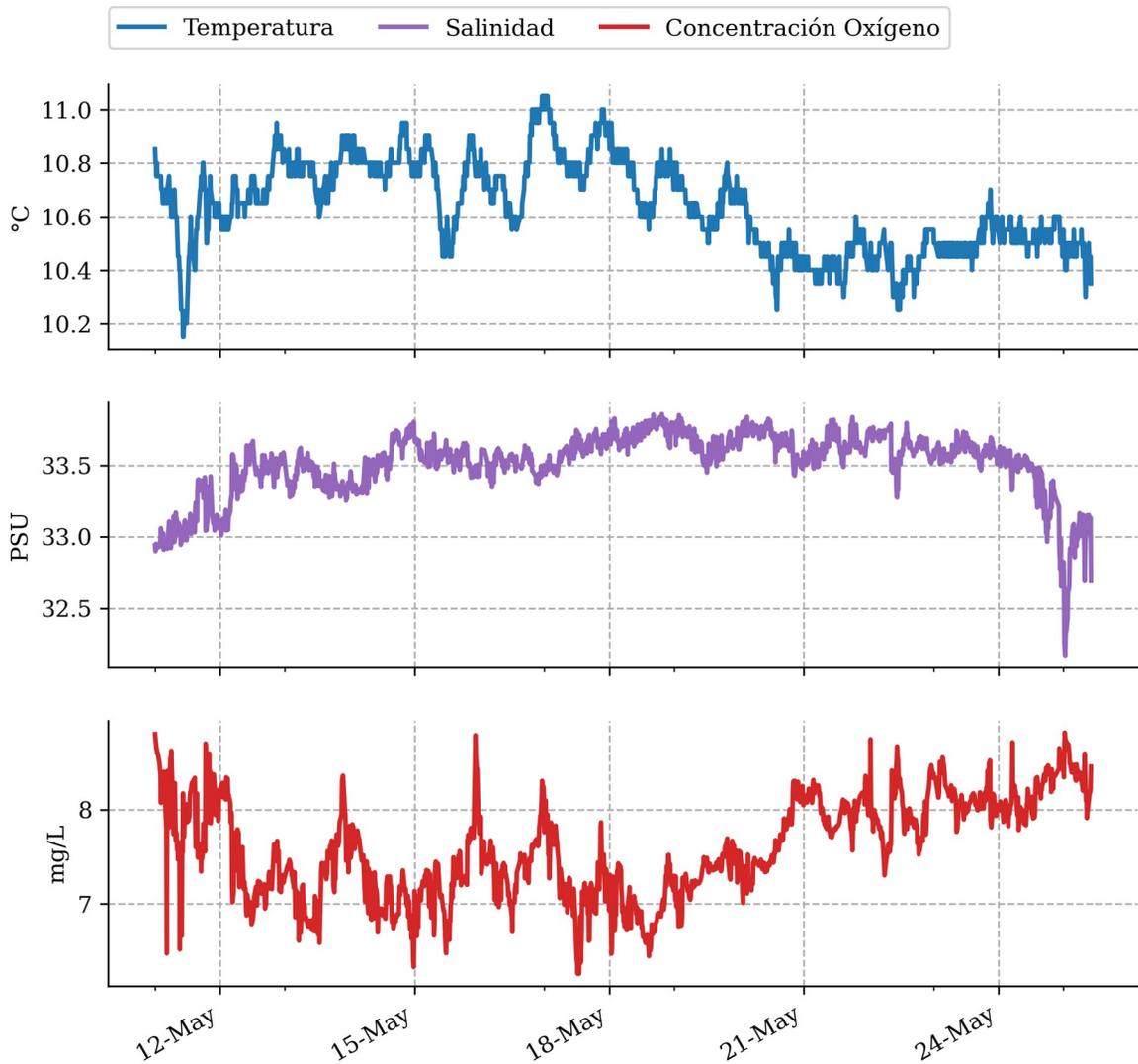


Figura 14: Variables monitoreados por multipar3metro WIMO. Base de datos resultante al aplicar la metodolog3a de control de calidad.

Una versi3n de prueba fue implementada en la primera etapa de este proyecto (año 2020), donde utilizamos como fuente de informaci3n la boya Reloncav3. En esa ocasi3n se configur3 el sistema cuando las variables de viento, corrientes y ox3geno disuelto se encuentren bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Si la velocidad del viento supera los 50 km/h.
- Si la velocidad de corriente supera los 2 nudos.
- Si existe la presencia de aguas de bajo ox3geno.

Al cumplir alguna de estas condiciones el sistema genera automáticamente una alerta que puede ser visualizada en la plataforma web de forma inmediata e intuitiva, cambiando el estado de la variable de “normal” a un cuadro rojo de “alerta”. Esto permite poner en aviso al usuario ante una posible contingencia ambiental. Problemas técnicos asociados a la estación han impedido que el sistema funcione actualmente, sin embargo su desarrollo fue construido con la finalidad de poder ser implementado relativamente rápido a la hora de disponer de nuevas fuentes de información.

Al no contar con información de boyas reales instaladas durante el periodo del proyecto, fue difícil incorporar nuevos algoritmos de alerta que respondan a fallas reales de los instrumentos o eventos extremos de interés. Esencialmente, lo que se hizo en esta actividad fue implementar una sistema de alerta gráfico en la plataforma web de visualización con la información de las estaciones de monitoreo virtuales provenientes de MOSA y la boya Reloncaví, dado que esta información ya se encuentra asimilada por el sistema. Este sistema de alerta identifica en tiempo real todas aquellas estaciones de monitoreo que muestran un atraso en la disponibilidad de datos. Este atraso se calcula para cada sensor (de cada estación de monitoreo) por separado, considerando que las fallas en las estaciones reales pueden afectar sensores individuales y no necesariamente la estación de monitoreo completa. En este sistema se definen tres niveles de alerta:

Alerta Verde: No existe atraso en la disponibilidad de datos.

Alerta Naranja: Atraso de más de 6 horas en uno o más sensores de una estación de monitoreo. Este tipo de alerta puede indicar problema puntual con alguno de los sensores.

Alerta Roja: Atraso de más de 6 horas en todos los sensores de la estación de monitoreo. Indica una falla de comunicación o evento grave que afecta a la estación de monitoreo completa.

Las alertas se muestran en dos lugares diferentes de la plataforma de visualización del sistema de monitoreo en tiempo real de la acuicultura.

1. En el mapa de estaciones de monitoreo (<http://chonos3.meteodata.cl/boyas>), donde cada boya tiene un color que representa el estado de alerta (Fig. 15).
2. En la sección de alertas (<http://chonos3.meteodata.cl/boyas/alertas>) dentro de la plataforma web, donde se presenta una lista de las estaciones con alertas (Fig. 16).

Actualmente, la plataforma de boyas muestra varias boyas virtuales con alerta naranja, las cuales corresponden a las que quedaron fuera del dominio computacional de CROCO. En este caso, los datos oceanográficos se marcan como no actualizados, y la alerta no es

roja, porque están disponibles datos meteorológicos para estas estaciones de monitoreo. La boya real de Reloncaví está en alerta roja, debido a que sus datos no se actualizan desde febrero de 2021.

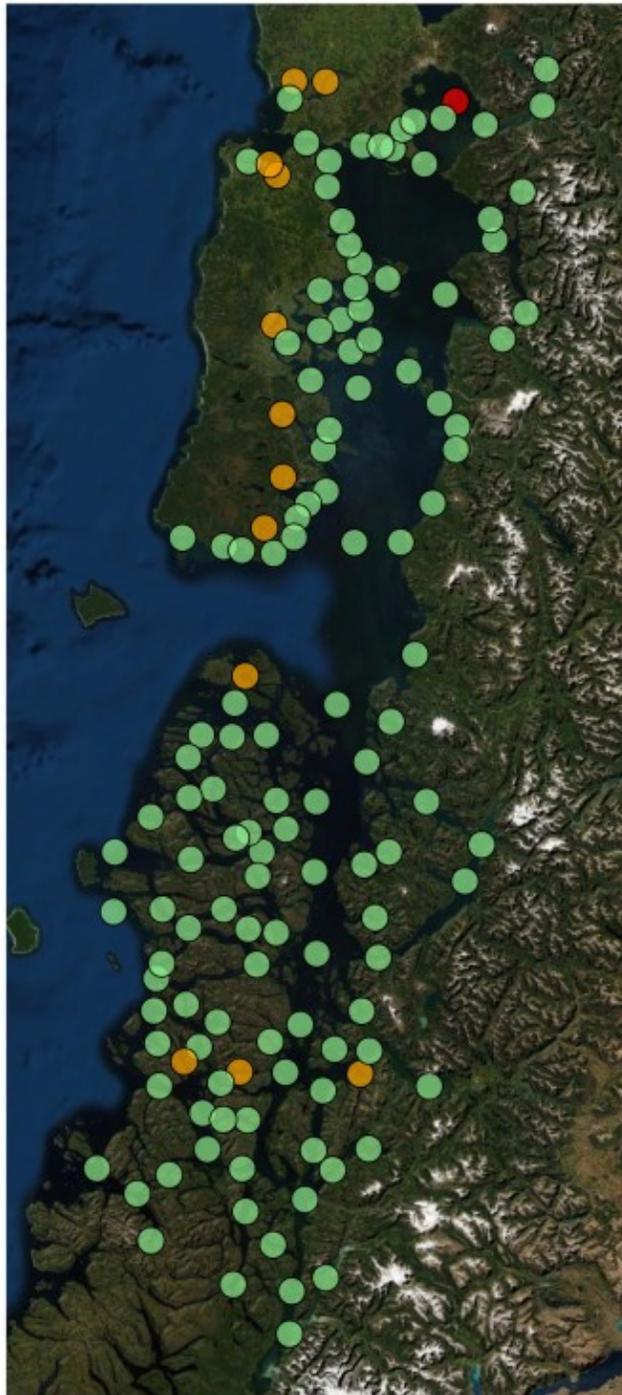


Figura 15: Vista geográfica de alertas en el mapa principal de la página de estaciones de monitoreo.

Portal Boyas: Alertas Vigentes

ALERTA	BOYA	AQUADOPP	AWAC	GPS	MET	SONDE	SYS
ROJA	SENO DEL RELONCAVÍ : [imar]	1187 days 09:30	979 days 22:10	308 days 22:24	308 days 22:24	308 days 22:24	308 days 22:24
NARANJA	aysen_1 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	aysen_38 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	aysen_42 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	aysen_65 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_17 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_18 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_2 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_3 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_33 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_43 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_48 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-
NARANJA	lagos_53 : [mosa]	Sin datos	Sin datos	-	0 days 00:44	Sin datos	-

Figura 16: Visualización de las alertas vigentes en el sistema de visualización.

5. DISCUSIÓN

La evaluación de la calidad del agua mediante mediciones en terreno es limitada debido a sus altos costos operacionales y el intensivo uso de tiempo y recursos humanos. Aunque los esfuerzos de investigación y monitoreo se han ido intensificando en los últimos años, en términos de escalas temporales y espaciales son insuficientes para abordar y estudiar adecuadamente factores que influyen en el desarrollo de los acontecimientos como las floraciones de algas nocivas (FANs), zonas con aguas con bajas concentraciones de oxígeno, impactos de la industria acuícola (escapes de salmones, mortandad de salmones, dispersión de virus ISA o de caligus, etc), y la contaminación de bancos naturales (Grez et al., 2020). Además, la calidad de los datos puede verse comprometida debido a protocolos de control de calidad inadecuados y/o al uso de metodologías no estandarizadas (Teillet et al., 2002). Los programas de vigilancia más recientes han mostrado una tendencia hacia la obtención de datos de manera continua a través de observaciones *in situ*, a los cuales se puede acceder a través de la descarga *in situ* o de forma remota. Siendo las observaciones de forma remota, las que permiten detectar rápidamente cambios y tendencias de indicadores críticos, proporcionando alertas tempranas para los organismos tomadores de decisiones (Glasgow et al., 2004).

El programa de investigación con más años en ejecución para la zona de fiordos y canales de Chile es el Crucero de Investigación Marina en Áreas Remotas (CIMAR; Silva & Palma, 2008). CIMAR fue diseñado en 1994 por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA). Entre 1995 y el 2021 se han realizado 25 cruceros oceanográficos CIMAR, permitiendo describir características físicas y químicas de las principales masas de agua y proponer esquemas de circulación desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes. En el caso específico de monitoreo en tiempo real o casi real, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) mantiene operativo una red de 45 mareógrafos desplegados a lo largo de la costa de Chile (<http://shoa.cl/php/nivel-del-mar.php?idioma=es>) e intermitentemente ha desplegado boyas de oleaje, pero que lamentablemente sus registros son cortos y no se han mantenido en el tiempo.

La importancia de implementar sistemas de monitoreo para el desarrollo sustentable de la acuicultura se refleja en una de las últimas modificaciones a la Ley General de Pesca y Acuicultura. El Artículo 87 TER vigente con últimas modificaciones el 10 Diciembre del 2020 establece: “A fin de tener un control en línea de los parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones acuícolas, deberán éstas disponer de una tecnología que registre y transmita al menos indicadores de conductividad, salinidad, temperatura, profundidad, corrientes, densidad, fluorescencia y turbidez, según lo establezca el reglamento”. El 5 de enero de 2021 se publicó en el Diario Oficial el D.S. No 1, de 2020, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo el reglamento aprobado.

Con el reglamento vigente podemos proyectar el desarrollo de un sistema de monitoreo a largo plazo con una gran cobertura geográfica a lo largo de la Patagonia chilena. Se espera que las primeras estaciones de monitoreo de las ACS comiencen a transmitir información durante el año 2022, considerando que su puesta en marcha tiene relación con el inicio del ciclo productivo. Por esta razón, se espera contar con al menos 3 estaciones de monitoreo durante el segundo semestre del 2021, una en cada región entre Los Lagos y Magallanes. En la medida que dispongamos de series de tiempo lo suficientemente extensas con esta información, podremos conocer tendencias, elaborar modelos, establecer escenarios y eventualmente predecir situaciones indeseadas. Además, conocer relaciones causa–efecto nos permitirá disminuir la incertidumbre tanto en decisiones privadas (productivas, económicas) como públicas (sustentabilidad, condiciones ambientales, bien común). Otro aspecto a destacar es que a medida que se conforme un sistema de observación y monitoreo más extenso y estable en el tiempo, los modelos de pronósticos operacionales serán más robustos y precisos. Además, esto nos permitirá avanzar en el desarrollo de modelos de cambio climático.

Durante el presente proyecto, el objetivo principal recae en el desarrollo de un sistema de recepción, almacenamiento y visualización de la información transmitida por el sistema de monitoreo de las ACS que se pretende comience a funcionar durante este año 2022. De este modo, en la primera etapa de este proyecto (año 2020), IFOP adquirió un servidor con el objetivo de recibir y almacenar la información generada en cada estación de monitoreo, procesar los algoritmos de desarrollo que permiten la visualización web de las mediciones, proporcionar alertas y notificar ante posibles fallos en el sistema de transmisión de la información. Durante el año 2021 el sistema se ha mantenido operativo y funcionando sin inconvenientes a la espera de integrar nuevas fuentes de información. Estas fuentes, estaciones de monitoreo o sistema acoplado boyas oceanográficas - estación meteorológicas que se irán incorporando a la red de monitoreo de la acuicultura deberán transmitir una gran cantidad de parámetros ambientales en tiempo real (o casi real), por lo que en esta etapa se estableció un protocolo sobre el formato que deben llevar dichos datos transmitidos de cada una de las estaciones y de esta manera evitar o disminuir los inconvenientes de incompatibilidad y así optimizar la capacidad de procesamiento de la información.

Debido a que a la fecha aún no se han incorporado estaciones de monitoreo desde los titulares de concesiones o ACS, consideramos usar datos del sensor multiparámetro WIMO de NKE. Si bien, este equipo solo cuenta inicialmente con sensores oceanográficos, su opción de transmisión en tiempo real (o casi real) nos permitió probar el sistema de recepción y almacenamiento. Configurado el equipo para la transmisión mediante el protocolo de comunicación FTP, que operó sin inconvenientes durante aproximadamente un mes, presentando problemas en su antena de transmisión lo que derivó a su posterior envío a servicio técnico. Se espera que este equipo se encuentre nuevamente funcionando a

principios de enero del 2022 y en los meses siguientes debería incorporarse al sistema de visualización.

El sistema de control de calidad diseñado en la primera etapa de este proyecto, se aplicó sobre la base de datos registrada por el sensor multiparámetro WIMO, logrando probar el estado de operación de dicha estación, la presencia de datos corruptos, comprobar la metadata y retirar información duplicada. Con ayuda de perfiles CTD realizados en la reserva Putemún se establecieron límites flexibles para las variables monitoreadas por el sensor, aplicados al control de calidad.

Debido a la ausencia de datos reales para avanzar en la calibración del sistema de recepción y almacenamiento se implementó un conjunto de rutinas para generar datos de una red ficticia de “estaciones de monitoreo virtuales” utilizando las salidas de los pronósticos oceanográficos y meteorológicos del sistema MOSA (Ruiz et al., 2021). Esta actividad se realizó principalmente para probar el rendimiento del sistema para el caso de una red de más de 100 boyas transmitiendo de forma simultánea.

A su vez, se sofisticó el sistema de alerta el cual en su primera etapa notificaba al usuario sobre el potencial desarrollo de un evento extremo, mediante la definición de umbrales sobre las condiciones monitoreadas. Esta actualización incorporó a la plataforma un reporte que permite ver en tiempo real el estado de monitoreo de cada estación (disponible en <http://chonos3.meteodata.cl/boyas/alertas>). Una alerta naranja describe si la estación presenta un atraso de transmisión de más de 6 horas en algún sensor, una alerta roja si lo es en todos los sensores y verde si no se presentan inconvenientes. El sistema también se incorporó en la plataforma web, permitiendo visualizar en tiempo real el estado de monitoreo con marcadores para cada estación, que reflejan un color dependiendo del tipo de alerta.

Finalmente todas las mejoras y actualizaciones del centro de datos oceanográficos y ambientales se encuentran disponibles en la plataforma web del proyecto (<http://chonos3.meteodata.cl/boyas>). Es de esperar que a la brevedad se incorporen nuevas boyas oceanográficas que permitan sustituir las estaciones virtuales. De momento la herramienta opera sin problemas, soportando los volúmenes de información demandados por aquellas estaciones.

6. CONCLUSIONES

El presente informe entrega los resultados del proyecto “Programa de centro de datos oceanográficos y ambientales en la zona sur-austral de Chile, 2021” del convenio de desempeño 2021 entre IFOP y la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño. Este proyecto se inició el 2020 manteniéndose operativo hasta la actualidad. A continuación se presentan las principales conclusiones y desarrollos a la fecha en base a los resultados esperados especificados en los términos técnicos de referencia.

El sistema computacional de recepción y almacenamiento de datos del sistema de monitoreo se ha mantenido estable y funcionando sin problemas. A la fecha no presenta fallas en su operación. Las principales mantenciones han sido externas al sistema en sí, principalmente actualizaciones de seguridad del sistema operativo, Centos en este caso.

Debido a la ausencia de información proveniente de los titulares de concesiones o de las ACS, se desarrolló un sistema de monitoreo virtual en base al modelo de pronósticos MOSA. Este sistema virtual permitió realizar pruebas al sistema con un alto flujo de información y calibrar el sistema de recepción y almacenamiento de información. Así mismo, permitió generar mejoras en la visualización de las diferentes variables ambientales en la plataforma web (sistema de visualización).

Utilizando información de una sonda multiparámetro WIMO instalada en el humedal Putemún (Castro) se logró desarrollar un algoritmo para realizar un control de calidad a datos transmitidos por una estación real de monitoreo. Además se diseñó un sistema de alerta en base al sistema de monitoreo virtual, el cual puede accederse mediante el sitio web <http://chonos3.meteodata.cl/boyas/alertas>. Durante este año 2022, se espera contar con información desde las ACS por lo que estos posiblemente serán actualizados y adaptados a los nuevos sensores (o equipos). Estos algoritmos serán compartidos a la comunidad a través de la plataforma Github.

Finalmente, cabe destacar que el sistema de visualización web de información se ha mantenido estable y que se puede acceder libremente en el siguiente enlace: <http://chonos3.meteodata.cl/boyas/>. La principal mejora en este punto corresponde a optimizaciones en las rutinas de extracción para poder obtener datos de múltiples boyas de una manera suficientemente rápida para la visualización en la plataforma web.

ANEXO A: GESTIÓN DEL PROYECTO

Reuniones de coordinación con SUBPESCA

Estas reuniones entre el ejecutor del proyecto (División Investigación en Acuicultura, IFOP) y la contraparte técnica (Departamento de Acuicultura, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura) tienen como propósito reforzar y conducir el desarrollo del proyecto hacia los temas más relevantes que dieron origen a este estudio, es decir, metodologías y grado de avance de las principales actividades asociadas al proyecto. Por otra parte, para un mejor desarrollo de las actividades comprometidas y para lograr una mayor cobertura participativa, se utilizaron distintos medios como correo electrónico, telefonía y teleconferencias. La aplicación de esta modalidad de trabajo facilita la posterior colaboración ante requerimientos específicos que se generen en el desarrollo del proyecto.

Reuniones técnico-académicas

El proyecto contempla una serie de asesorías científicas, talleres cerrados y visitas entre IFOP y diferentes asesores académicos. Estas reuniones son de carácter científico y están enfocadas a resolver problemas técnicos y de operación del sistema.

Reunión 1

Se realizó una reunión técnica con el asesor técnico Dr. Mark Falvey y Andrés Arriagada de forma telemática el día 23 de Marzo del 2021. En esta reunión se discutieron aspectos técnicos del portal web y sobre las posibles mejoras a incorporar.

Fecha: 23 Marzo, 2021.

Lugar: Google-Meet.

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Pedro Valdebenito (IFOP)
3. Elias Pinilla (IFOP)
4. Pablo Reche (IFOP)
5. Andres Arriagada (Meteodata)
6. Mark Falvey (Meteodata)

Reunión 2

Se realizó una reunión técnica con el asesor técnico Dr. Mark Falvey y Andrés Arriagada de forma telemática el día 22 de Abril del 2021. En esta reunión se discutieron aspectos técnicos del portal web.

Fecha: 22 Abril, 2021.

Lugar: Google-Meet

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Pedro Valdebenito (IFOP)
3. Elias Pinilla (IFOP)
4. Andres Arriagada (Meteodata)
5. Mark Falvey (Meteodata)

Reunión 3

Se realizó una reunión técnica con proveedor de boya de oleaje de la empresa Sofar Ocean (<https://www.sofaroccean.com>) de forma telemática el día 6 de Mayo del 2021. Esta boya inteligente transmite información de oleaje en tiempo real. En esta reunión se discutieron aspectos técnicos, instalación y mantención de la boya

Fecha: 6 Mayo, 2021.

Lugar: Zoom

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Sebastien Boulay (Sofar Ocean)

Reunión 4

Se realizó una reunión técnica con asesor Meteodata de forma telemática el día 2 de Julio del 2021. En esta reunión se discutieron aspectos técnicos del sistema de visualización de la red de monitoreo.

Fecha: 2 Julio, 2021.

Lugar: Google Meet

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Andres Arriagada (Meteodata)

Reunión 5

Se asistió a una reunión de presentación de la propuesta de estándares y requisitos técnicos que deberán cumplir las estaciones de monitoreo con ocasión de la implementación del D.S. (MINECON) N° 1, de 2020, reglamento de control en línea de parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones de acuicultura. La reunión se efectuó el día viernes 27 de agosto del 2021 a las 9:30 horas a través de la plataforma Zoom.

Fecha: 27 Agosto, 2021.

Lugar: Zoom

1. Eugenio Zamarano (Subpesca)
2. Susana Giglio (Subpesca)

3. Personal Subpesca
4. Industria Salmonera
5. Osvaldo Artal (IFOP)
6. Pedro Valdebenito (IFOP)

Reunión 6

Se realizó una reunión técnica con proveedor Casco Antiguo de forma telemática el día 1 de Septiembre del 2021. En esta reunión se discutió sobre el estado y diagnóstico del funcionamiento del sensor multiparámetro WIMO. En esta reunión se acordó enviar el equipo a soporte técnico en la casa matriz de NKE en Francia.

Fecha: 1 Septiembre, 2021.

Lugar: Google Meet

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Elias Pinilla (IFOP)
3. Patricio Salas (IFOP)
4. Gustavo Rivas (Casco Antiguo)

Reunión 7

Se realizó una reunión técnica con empresa Innovasea de forma telemática el día 2 de Septiembre del 2021. En esta reunión, la empresa se presenta y consulta sobre detalles técnicos del sistema de recepción y almacenamiento de IFOP, debido a la reunión de Subpesca del día 27 de agosto.

Fecha: 2 Septiembre, 2021.

Lugar: Google Meet

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Juan Pablo Barrales (Innovasea)
3. Jorge Bravo (Innovasea)

Reunión 8

Se realizó otra reunión técnica con empresa Innovasea de forma telemática el día 21 de Octubre del 2021. En esta reunión, la empresa presenta detalles de los equipos y propone facilitar una estación de monitoreo de prueba en el humedal de Putemún.

Fecha: 21 Octubre, 2021.

Lugar: Google Meet

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Juan Pablo Barrales (Innovasea)
3. Jorge Bravo (Innovasea)

Reunión 9

Se realizó una reunión técnica con asesor Meteodata de forma telemática el día 22 de Octubre del 2021. En esta reunión se discutieron las mejoras a incorporar en el portal web del proyecto.

Fecha: 22 Octubre, 2021.

Lugar: Google Meet

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Pedro Valdebenito (IFOP)
3. Mark Falvey (Meteodata)

Reunión 10

Se realizó una reunión técnica con empresa Danaher de forma telemática el día 11 de Noviembre del 2021. En esta reunión, la empresa se presenta y consulta sobre detalles técnicos del sistema de recepción y almacenamiento de IFOP, debido a la reunión de Subpesca del día 27 de agosto.

Fecha: 11 Noviembre, 2021.

Lugar: Zoom

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Cristian Sepulveda (Danaher)
3. Fabrizio Venturini (Danaher)

Reunión 11

Se realizó una reunión técnica presencial con asesor Meteodata el día 2 de Diciembre del 2021 en la instalaciones de IFOP en la ciudad de Castro. En esta reunión, el asesor mostró las nuevas características del sistema de visualización de la red de monitoreo de las ACS. A su vez, se discutieron las nuevas mejoras a implementar durante la próxima etapa del proyecto.

Fecha: 2 Diciembre, 2021.

Lugar: CTPA-Putemún

1. Osvaldo Artal (IFOP)
2. Pedro Valdebenito (IFOP)
3. Elias Pinilla (IFOP)
4. Pablo Reche (IFOP)
5. Mark Falvey (Meteodata)
6. Andres Arriagada (Meteodata)

Talleres de difusión

El proyecto contempla la realización de talleres de difusión sobre el estado de avance del sistema de monitoreo en línea de la acuicultura en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Estos talleres pueden ser abiertos a la comunidad o cerrados a la discusión académica exclusivamente con diversos especialistas en oceanografía en Chile.

Taller difusión 1

El jueves 4 de febrero del 2021 se realizó un taller de difusión con los principales resultados de los proyectos de oceanografía de la División de Acuicultura. El taller se efectuó de manera telemática a través de la plataforma Google-Meet con el nombre “Oceanografía y Modelación Numérica en Fiordos y Canales de la Patagonia”. En el taller se presentaron las perspectivas de los modelos operacionales en la zona Sur-Austral de Chile, así como los avances en modelación biogeoquímica y en sistemas de monitoreo en línea. Cabe destacar que este taller corresponde a los resultados del proyecto etapa 2020. Los resultados obtenidos en esta etapa serán presentados en un taller durante marzo del 2022.

Fecha: 4 de febrero, 2021.

Lugar: Google-Meet

Expositores:

1. Leonardo Guzman (IFOP)
2. Susana Giglio (Subpesca)
3. Heraldo Contreras (IFOP)
4. Cristian Ruiz (IFOP)
5. Valentina Besoain (IFOP)
6. Osvaldo Artal (IFOP)

Programa: Oceanografía y Modelación Numérica en Fiordos y Canales de la Patagonia

- | | |
|----------------|--|
| 10:00 – 10:05: | Palabras de bienvenida.
Leonardo Guzmán Méndez , Jefe de División de Investigación en Acuicultura, IFOP. |
| 10:05 – 10:10: | Apertura.
Susana Giglio , Subsecretaría de Pesca y Acuicultura |
| 10:10 - 10:30 | Investigación en oceanografía y ecosistemas marinos en IFOP-Putemún: Desafíos y Avances.
Heraldo Contreras , IFOP. |
| 10:30 - 10:50 | Modelos operacionales en la Patagonia. Desarrollo y perspectivas.
Cristian Ruíz , IFOP |
| 10:50 - 11:00 | Pausa |
| 11:00 - 11:20 | Modelación biogeoquímica en la patagonia norte: Aproximaciones y resultados.
Valentina Besoain , IFOP |

11:20 - 11:40 Sistema de monitoreo de la acuicultura: Diseño e Implementación.

Oswaldo Artal, IFOP

11:40 - 12:10. Mesa Redonda.

Compra y mantenimiento de equipo:

1. Se adquirió un servidor dedicado exclusivamente a este proyecto para el sistema de recepción, almacenamiento y visualización de la información transmitida por el sistema de monitoreo de la acuicultura. Las principales características de este servidor se encuentran detalladas en el Anexo C.
2. Se adquirió una sensor multiparámetro WIMO de la empresa NKE con sensor de presión para ser instalado en el humedal de Putemún en la comuna de Castro. El uso principal de este sensor es servir para la calibración del sistema de recepción, almacenamiento y visualización. La ventaja de esta adquisición es que la mantención de este sensor y transmisión de esta información se realizará por personal técnico de IFOP del centro Putemún en Castro. Las características de este sensor se encuentran detalladas en el Anexo B. Este sensor fue instalado y desplegado en el humedal de Putemún en Castro (Chiloé) el 10 de Mayo del 2021. Lamentablemente fue retirado debido a problemas en el funcionamiento de la antena transmisora y enviado a NKE en Francia. Actualmente se está esperando la llegada del equipo para su vuelta a la operación.
3. Se adquirió una boya de oleaje de Sofar Ocean, la cual cuenta con transmisión satelital de parámetros de oleaje y temperatura del mar. Esta boya se encuentra operativa desde el 13 de Julio del 2021.

Convenios

1. **Convenio I-Mar – IFOP:** Un trabajo de cooperación actualmente se desarrolla entre el centro I-Mar de la Universidad de Los Lagos y el IFOP. Una boya oceanográfica actualmente operativa se encuentra instalada en el Seno del Reloncaví y administrada por I-Mar. Dada la contingencia del Covid-19 y que hasta la fecha no se han implementado boyas por las ACS, esta boya servirá de ejemplo para probar el sistema de recepción, almacenamiento y visualización de la información oceanográfica y atmosférica de este proyecto.

Carta Gantt del proyecto

El proyecto tiene una duración total de 12 meses entre enero y diciembre del 2021,

Actividades	E21	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1. Mantenimiento de sistemas computacionales de recepción y almacenamiento de datos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Calibración de los sistemas computacionales de recepción y almacenamiento de datos									x	x		
3. Diseñar algoritmos de control de calidad			x	x	x	x	x	x	x	x	x	
5. Documento de Avance					x							
6. Mejora sistema de visualización de datos						x	x	x	x	x	x	
7. Seminario presentación de resultados											x	
8. Reuniones de coordinación			x						x			
9. Informe final												x

ANEXO B: SENSOR MULTIPARÁMETRO

El multiparámetro Wimo de NKE permite la transmisión de datos vía GPRS o MODBUS. La sonda WiMo es un producto modular que permite la expansión de sensores solamente conectando los que se adquieran, logrando medir hasta 20 parámetros de agua (directa o indirectamente), ya que puede conectar hasta siete sensores a la vez (Fig. 17). La sonda WiMo se beneficia de su conjunto de sensores digitales inteligentes que incluye el limpiaparabrisas para mantener un correcto funcionamiento de los sensores. A su vez, permite conectar, desconectar y calibrar los sensores, incluso con la sonda en funcionamiento. La sonda es multifuncional y operativa, ya que es adecuada para cualquier tipo de soporte, entre ellos una boya, escalera, estaca o pontón. El equipo puede ser sumergido hasta los 250 m. Las principales características son las siguientes:

- Los sensores inteligentes digitales se conectan y desconectan a voluntad.
- Sistema de limpieza de eficacia probada.
- Pilas alcalinas autónomas de larga duración.
- Conectividad wifi compatible con todas las plataformas.
- Fácil de integrar en boya / USV / ROV, AUV.
- Hasta 20 parámetros de agua medidos por una sonda.
- Ligera y robusta.
- Interfaz fácil de usar interfaz fácil de usar integrada en la web.
- Precisión de datos estándares de alta calidad.
- Solución 3G / 4G y otra comunicación remota.



Figura 17: Sensor multiparámetro WiMO de NKE.

Los rangos de medición, precisión y resolución de cada sensor es resumido en la Tabla 9:

Tabla 9: Resumen de los rangos de medición, precisión y resolución de los sensores del multiparámetro WiMO.

	Rango	Precisión	Resolución
Profundidad	0-25 db	0.15%	0.001 bar
Temperatura	-2 a +35°C	±0.05°C	0.001°C
Conductividad	0 a 100 mS/cm	±0.5% de leer	0.0001 ms/cm
Salinidad	0.1 PSU	< 0,1 PSU	< 0,001
Oxígeno Disuelto	0 a 20 mg/l 0 a 250%	±1% de leer en 20% O2	0.025 at 20% O2
Turbidez	0 a 4000 FNU	0.4FNU o ±5% de leer	0.01 FNU
Fluorescencia	0 ta 500 µg/L	Lineal: 0.99 r2	0.3 µg/L
pH	0-14 pH units	±0.1 pH unidades	0.01 pH unidades

El equipo adquirido por IFOP para este proyecto es un multi-parámetro WiMO + plus NKE con sensor de presión incluido. Cuenta con sensor de oxígeno, conductividad y temperatura, y clorofila. A su vez incluye una antena GPR Y GPS, para transmisión de datos con cable de 1 m. Posee un sistema antifouling (Wiper) que permite mantener limpios los sensores para los despliegues a largo plazo. Finalmente, otra característica relevante es que estos sensores podrán calibrarse en un laboratorio en Chile.

ANEXO C: RECURSOS COMPUTACIONALES

El sistema de recepción y almacenamiento de las ACS se basa principalmente en un servidor, instalado y configurado en un *Data Center* en la ciudad de Santiago con los estándares establecidos en las normas internacionales ANSI / TIA / EIA-942. Este equipo está configurado como un sistema RAID 5 para proteger la información recibida y a su vez para mantener estable el servidor web donde se visualizan los principales resultados. Las especificaciones técnicas de este equipo son resumidos en la Tabla 10:

Tabla 10: Especificaciones técnicas del servidor web para sistema de monitoreo de las ACS, ubicado en Data Center en Santiago.

SO: CentOS Linux release 7.8.2003
 CPU: 64 cores 2.5 Ghz (4 procesadores AMD Opteron(tm) Processor 6380).
 RAM: 64GB
 DISCO: 5.4TB (HDD)
 Interfaz de red: 4 x 1Gbit
 Fuente de poder: Redundante (2)

Además de este servidor, se cuenta con un servidor de almacenamiento de gran capacidad (*storage*) en IFOP-Putemún, ciudad de Castro. Este servidor se encuentra configurado como sistema RAID 1, lo que permite mantener toda la información doblemente respaldada. De esta manera los datos enviados son almacenados en 2 servidores diferentes, ubicados en 2 ciudades distintas, con lo cual la información estará doblemente protegida. Las características principales de este servidor de almacenamiento se encuentran resumidas en la Tabla 11:

Tabla 11: Especificaciones técnicas del servidor de almacenamiento de respaldo de información de las ACS ubicado en IFOP-Putemún, Castro.

SuperStorage Supermicro Server 6029P-E1CR16T - 64GB ECC/REG - 48 TB SAS 1
1 x SuperStorage Supermicro Server 6029P-E1CR16T
2 x Procesador Intel Xeon Bronze 3106 1.70GHZ 11MB CACHE
4 x Memoria Ram Samsung DDR4-2666 16GB/2Gx4 ECC/REG CL19
1 x Supermicro BTR-TFM8G-LSICVM02 SuperCap Module for 3108 Controller
1 x Supermicro PCI LSI BKT-BBU-BRACKET-05 Remote Mounting Board
2 x Samsung SSD PM863A Series 480GB 2.5 inch SATA3
2 x Supermicro MCP-220-84606-0N Rear Side Dual 2.5
10 x Seagate 8TB Enterprise Capacity 7200 rpm SAS III 3.5"

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo, R., León-Muñoz, J., Vargas-Baecheler, J., Montecinos, A., Garreaud, R., Urbina, M., ... & Iriarte, J. L. (2019). The glass half-empty: climate change drives lower freshwater input in the coastal system of the Chilean Northern Patagonia. *Climatic Change*, 155(3), 417-435.
- Alarcón, E., Valdés, N., and Torres, R. (2015). Calcium carbonate saturation state in an area of mussels culture in the reloncaví sound, northern patagonia, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(2):277–281.
- Barruffa, A. S., Sposito, V., & Faggian, R. (2021). Climate change and cyanobacteria harmful algae blooms: adaptation practices for developing countries. *Marine and Freshwater Research*.
- Buschmann, A. H., Cabello, F., Young, K., Carvajal, J., Varela, D. A., & Henríquez, L. (2009). Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Ocean & Coastal Management*, 52(5), 243-249.
- Collins, M., An, S. I., Cai, W., Ganachaud, A., Guilyardi, E., Jin, F. F., ... & Vecchi, G. (2010). The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. *Nature Geoscience*, 3(6), 391-397.
- Giesecke, R., Höfer, J., Vallejos, T., and González, H. E. (2019). Death in southern Patagonian fjords: Copepod community structure and mortality in land- and marine-terminating glacier-fjord systems. *Progress in Oceanography*, 174:162–172.
- Glasgow, H. B., Burkholder, J. M., Reed, R. E., Lewitus, A. J., & Kleinman, J. E. (2004). Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 300(1-2), 409-448.
- Grez, P. W., Aguirre, C., Farías, L., Contreras-López, M., & Masotti, Í. (2020). Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological, and oceanographic variables along the Chilean coastal zone. *Climatic Change*, 163(2), 633-652.
- González, H. E., Nimptsch, J., Giesecke, R., and Silva, N. (2019). Organic matter distribution, composition and its possible fate in the Chilean north-patagonian estuarine system. *Science of the Total Environment*, 657:1419–1431.
- Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328(5985), 1523-1528.
- Iriarte, J. L. (2018). Natural and human influences on marine processes in Patagonian subantarctic coastal waters. *Frontiers in Marine Science*, 5:360.

Hormazábal, S. 2018. Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para la implementación de una red de monitoreo para las agrupaciones de concesiones de acuicultura. Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola, Subsecretaría de Pesca, Informe final FIPA 2016-68, 530.

Malone, T., Davidson, M., DiGiacomo, P., Gonçalves, E., Knap, T., Muelbert, J., ... & Yap, H. (2010). Climate change, sustainable development and coastal ocean information needs. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 324-341.

Mardones, J. I., Paredes, J., Godoy, M., Suarez, R., Norambuena, L., Vargas, V., ... & Hallegraeff, G. M. (2021). Disentangling the environmental processes responsible for the world's largest farmed fish-killing harmful algal bloom: Chile, 2016. *Science of the Total Environment*, 766, 144383.

Pérez-Santos, I., Díaz, P. A., Silva, N., Garreaud, R., Montero, P., Henríquez-Castillo, C., ... & Maulen, J. (2021). Oceanography time series reveals annual asynchrony input between oceanic and estuarine waters in Patagonian fjords. *Science of the Total Environment*, 798, 149241.

Quinones, R. A., Fuentes, M., Montes, R. M., Soto, D., & León-Muñoz, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 375-402.

Reche, P., Artal, O., Pinilla, E., Ruiz, C., Venegas, O., Arriagada, A., & Falvey, M. (2021). CHONOS: Oceanographic information website for Chilean Patagonia. *Ocean & Coastal Management*, 208, 105634.

Ruiz, C., Artal, O., Pinilla, E., & Sepúlveda, H. H. (2021). Stratification and mixing in the Chilean Inland Sea using an operational model. *Ocean Modelling*, 158, 101750.

Sandoval, M., Parada, C., & Torres, R. (2018). Proposal of an integrated system for forecasting Harmful Algal Blooms (HAB) in Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 46(2), 424-451.

Sarmiento, J. L., Slater, R., Barber, R., Bopp, L., Doney, S. C., Hirst, A. C., ... & Soldatov, V. (2004). Response of ocean ecosystems to climate warming. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(3).

Schneider, W., Pérez-Santos, I., Ross, L., Bravo, L., Seguel, R., & Hernández, F. (2014). On the hydrography of Puyuhuapi Channel, Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, 129, 8-18.

Silva, N., & Palma, S. (2008). Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. *Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*, Valparaíso, pp. 11-15, 2006

Teillet, P. M., Gauthier, R. P., Chichagov, A., & Fedosejevs, G. (2002). Towards integrated Earth sensing: Advanced technologies for in situ sensing in the context of Earth observation. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28(6), 713-718.

Torres, R., Pantoja, S., Harada, N., González, H. E., Daneri, G., Frangopulos, M., Rutllant, J. A., Duarte, C. M., Rúa-Halpern, S., Mayol, E., et al. (2011). Air-sea CO₂ fluxes along the coast of Chile: From CO₂ outgassing in central northern upwelling waters to CO₂ uptake in southern Patagonian fjords. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C9).

Torres, R., Silva, N., Reid, B., and Frangopulos, M. (2014). Silicic acid enrichment of subantarctic surface water from continental inputs along the Patagonian Archipelago Interior Sea (41–56°S). *Progress in Oceanography*, 129:50–61.

Vergara-Jara, M. J., DeGrandpre, M. D., Torres, R., Beatty, C. M., Cuevas, L. A., Alarcón, E., and Iriarte, J. L. (2019). Seasonal changes in carbonate saturation state and air-sea CO₂ fluxes during an annual cycle in a stratified-temperate fjord (Reloncaví fjord, Chilean Patagonia). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(9):2851–2865.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl