

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA  
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR  
Casilla 10020, Valparaíso, Chile



PROYECTO FIPA N° 2016 - 68

"EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS NECESARIOS  
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO PARA  
LAS AGRUPACIONES DE CONCESIONES DE ACUICULTURA"

INFORME FINAL

Valparaíso, Noviembre de 2018

---



TÍTULO DEL PROYECTO : EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS  
REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE  
MONITOREO PARA LAS AGRUPACIONES DE  
CONCESIONES DE ACUICULTURA

REQUIRENTE : Subsecretaría de Pesca - Fondo de Investigación  
Pesquera

UNIDAD EJECUTORA : Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Escuela de Ciencias del Mar  
Facultad de Ciencias del Mar y Geografía  
Avda. Altamirano 1480, Valparaíso, Chile

JEFE DE PROYECTO : Samuel Ernesto Hormazábal Fritz  
Escuela de Ciencias del Mar  
Fono (56) (32) 2274257  
E-mail: sam.hormazabal@gmail.com

## **1. RESUMEN EJECUTIVO**

En un país como el nuestro, cuya economía depende fuertemente de la explotación de los recursos naturales, es de gran importancia entender los mecanismos asociados a la variabilidad y al cambio climático. Los ecosistemas acuáticos no están ajenos a las fluctuaciones que imponen estos escenarios climáticos, afectando significativamente al sector pesquero y acuícola, lo que impone fuertes desafíos científicos y tecnológicos. Esto le brinda una gran importancia al estudio del océano y sus ecosistemas, particularmente cuando debemos prepararnos para adaptar nuestra actividad pesquera y acuícola a los efectos que el cambio climático producirá sobre los ecosistemas.

A nivel mundial, los “Sistemas de Observación del Océano” han adquirido gran relevancia, ya que al permitir observar, monitorear y pronosticar en forma sostenida las condiciones del océano, entregan información esencial para la toma de decisiones oportunas, y para la planificación estratégica, particularmente sobre las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Dentro de este contexto, en el marco de la ley 20.434, la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura solicitó realizar un estudio orientado a determinar los requerimientos necesarios que permitan implementar una red de monitoreo en línea para las agrupaciones de concesiones de acuicultura de la X Región. Este estudio se materializó a través del Proyecto FIPA 2016-68: “Evaluación y Análisis de los Requerimientos Necesarios para la Implementación de una Red de Monitoreo para las Agrupaciones de Concesiones de Acuicultura”, desarrollado por la Escuela de Ciencias del Mar, de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, y cuyos resultados se encuentran en el presente informe.

Para dar cumplimiento a los objetivos del Proyecto, se evaluaron 23 Sistemas de Observación (6 nacionales y 17 internacionales), proporcionando una pauta sobre los principales métodos e instrumentos de medición de las variables de interés para el Proyecto. Basado en el análisis de los sistemas de observación se seleccionaron las “variables esenciales” a ser medidas/registradas por las estaciones de monitoreo (evaluando métodos de recolección, transmisión y almacenamiento de datos, etc.), las que posteriormente fueron expuestas en un Taller de Expertos realizado en dos etapas (enero y mayo de 2017). Al Taller se invitaron a 26 expertos (investigadores y profesionales del área), los que a partir de su experiencia en la Región de estudio, validaron una lista de 15 “variables esenciales” propuestas, y los criterios hidrodinámicos y estadísticos utilizados para la selección de los sitios de monitoreo. Así mismo, se ratificó el uso del análisis estadístico denominada "Funciones Ortogonales Empíricas" (EOF) como el método más apropiado para definir las características de la dinámica espacial de la zona de estudio, y determinar las profundidades que deben ser utilizadas en el monitoreo.

Respecto a las variables oceanográficas a medir, éstas fueron seleccionadas considerando las variables exigidas en la Ley, 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. Es así que se seleccionaron las siguientes variables: temperatura, conductividad /salinidad, presión, corrientes, fluorescencia, turbidez, nutrientes, oxígeno, pH y FAN. Para medir estas variables, basado en criterios internacionales, se definieron los requisitos mínimos que deben cumplir los sensores y equipos a utilizar, de manera de asegurar la calidad de los datos. Así

mismo, para las variables meteorológicas, se consideraron las indicaciones dadas por la OMM, que especifican las variables a medir y los requerimientos necesarios, de sensores y equipos, que se deben tener para lograr un dato válido.

En cuanto a la ubicación de los sitios de monitoreo, se utilizaron diversos criterios de selección: hidrodinámico, estadístico (EOF), cobertura comunicacional y facilidad de acceso. Esto fue complementado con un trabajo en conjunto con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, en donde se evaluaron las restricciones legales y administrativas que pudieran existir. En cuanto al análisis estadístico utilizado (EOF), es importante destacar que fue realizado con toda la información oceanográfica disponible para la región, la que proviene principalmente de las campañas CIMAR realizadas en la zona de estudio, sumado a observaciones satelitales. Los resultados obtenidos están fuertemente afectados por la cantidad de datos analizados (disponibles), por lo que al contar con una mayor cantidad de datos, con una mayor resolución espacial y temporal, se podrían obtener resultados más precisos, de tal forma que cuando se disponga de nuevas y mejores mediciones, se pueda realizar una nueva evaluación de la ubicación de los sitios, siguiendo la metodología propuesta.

En base al análisis de los datos e información de la región, utilizando los criterios indicados anteriormente, se generó un mapa proponiendo la ubicación más adecuada de las estaciones de monitoreo para la zona de estudio. Se seleccionaron 60 sitios, los cuales se distribuyen de forma relativamente uniforme entre las agrupaciones de concesiones acuícolas (considerando la complejidad geográfica del área abarcada), correspondiéndole a cada una de ellas instalar

un mínimo de dos estaciones de monitoreo oceanográficas además de una estación meteorológica. Para las estaciones oceanográficas, las profundidades de medición de las variables (0 m, 5 m, 10 m, 25 m y fondo) se determinaron mediante el análisis de EOF, método que permite capturar de buena manera la variabilidad ambiental.

Basado en las características técnica que debe tener un sistema de observación del océano, los lugares de medición definidos, y las condiciones establecidas para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema de observación, se diseñó, implementó y desplegó un prototipo simple de un sistema de medición de variables meteorológicas/oceanográficas. Para esto el diseño fue realizado en forma modular, de tal forma que permita el intercambio de elementos/sensores (independiente de las distintas tecnologías de los sensores que se puedan implementar/incorporar). Dentro de este contexto es importante considerar que un prototipo es una visión preliminar del producto final, es un modelo operable, fácilmente ampliable y modificable, que tiene todas las características propuestas/deseadas, pero realmente es un modelo básico, que no tiene que ser perfecto ni poseer alta fidelidad, pero debe permitir detectar problemas/fallas a ser mejoradas en desarrollos posteriores, las que permiten llegar al producto final. Los prototipos permiten evaluar productos, requisitos de usuarios y definir alternativas. Un producto final, a diferencia de un prototipo, es aquel producto que ha sido sometido a variadas pruebas de control, pasando por varios prototipos diferentes antes de ser comercializado y cuyos costos son muy diferentes. Por ejemplo, la boya oceanográfica instalada al este de la isla Guar, al centro del seno Reloncaví, es un producto comercial que contempla la gran mayoría de las variables consideradas en SOOAA, y cumple con los

requisitos de calidad de los sensores y transmisión de datos en tiempo real, pero tiene un costo superior a cien millones de pesos (136 millones para la compra e instalación de la boya y 27 millones para el mantenimiento anual).

El prototipo observacional, diseñado e implementado por la ECM, se instaló en las dependencias de la Empresa Salmones Multiexport, ubicada en la zona de Llaguepe, Región de los Lagos, durante periodo comprendido entre el 23 de marzo y 25 de mayo de 2018. Este prototipo consideró tres aspectos fundamentales a evaluar en su desarrollo:

1. Construir un dispositivo de integración de bajo costo, que integre distintos modelos y marcas de sensores oceanográficos, para medir las variables y comunicar dichas mediciones a una central.
2. Probar tecnología de punta orientada a IoT, (del inglés, Internet of Things).
3. Evaluar el efecto del biofouling sobre los sensores.

El diseño del prototipo oceanográfico, consideró un sistema modular, que tiene la facultad de cambiar los diferentes dispositivos (sensores), el cual fue probado con sensores de dos fabricantes diferentes. El sistema general toma la información de 2 grupos de sensores, ubicados a 5 m y 10 m de profundidad, que transmite a través de un enlace RF, a un Gateway, que los decodifica y envía por internet vía 3G. Para las mediciones meteorológicas, se instaló en tierra una estación meteorológica marca Davis modelo Vantage Pro2 con conexión IP. Este tipo de estación fue seleccionada para realizar las pruebas en terreno, considerando el bajo costo de los sensores y la facilidad de la instalación y mantención.

Las pruebas realizadas con el prototipo, durante los dos meses de funcionamiento, permitieron definir los siguientes requisitos fundamentales para su integración a SOOAA:

1.- Asegurar una alimentación de energía eléctrica continua y estable, que permita una correcta comunicación entre las tarjetas controladoras y entre los sensores y las tarjetas controladoras. En algunos lugares se realizan sistemáticamente cortes de energía que afectan el adecuado funcionamiento de los sensores.

2.- El tiempo requerido para realizar el mantenimiento parcial o completo de una estación de monitoreo/boya depende de la accesibilidad al lugar de emplazamiento, la disponibilidad de embarcación y de las condiciones de apertura y cierre de puerto. Estas últimas no necesariamente dependen de las condiciones atmosféricas/oceanográficas locales.

3.- Es deseable que las estaciones de monitoreo cuenten con indicadores de alimentación de los sensores, dispongan de un alcance adecuado de la red WiFi que permita navegar dentro de los dispositivos de la boya a mayor distancia sin necesidad de conexión por cable, idealmente utilizando el enlace LoRa.

4.- Realizar pruebas para chequear la reacción de las diferentes partes del prototipo, verificar el efecto de la presión del agua sobre los sensores y sistemas estancos, dejando un margen de seguridad de un 20% sobre lo que indica en fabricante.

5.- Seleccionar dispositivos robustos, idealmente resistentes a golpes.

6.- Debido a la gran agresividad del biofouling, se sugiere realizar una mantención/limpieza mensual de los sensores, reduciendo este tiempo a la mitad durante los periodos de máxima productividad biológica, principalmente en los sensores más superficiales.

7.- Respecto al diseño del sistema de transmisión de datos, se consideraron tres soluciones: celular, LPWAN y satelital. Se propone como primera alternativa el uso de red 3G/LTE, y en zonas donde esta no se encuentra disponible usar la tecnología LPWAN, dejando como última alternativa la comunicación satelital, debido a su alto costo. Una parte importante de los criterios de selección del sistema de comunicación corresponde a la obligatoriedad de contemplar a lo menos un 90% de datos recuperados.

En cuanto a los posibles escenarios administrativos, se presentan dos opciones: la primera, dejar el sistema a cargo de las Concesiones de Acuicultura, según lo dictado por la Ley, teniendo como encargado de los datos a la SUBPESCA o una organismo similar, y como fiscalizador a SERNAPESCA. La segunda opción considera la creación de una organización que puede ser pública, privada o mixta, que se encargue en forma exclusiva de todo el sistema de observación, desde la implementación hasta la distribución de los datos, debiendo estos ser entregados íntegramente y en tiempo real a SUBPESCA y SERNAPESCA. En ambas opciones se sugiere un financiamiento compartido entre las Agrupaciones de Concesiones de Acuicultura y el Estado. Para seleccionar el sistema de administración a utilizar, SUBPESCA deberá evaluar la factibilidad y mecanismo de funcionamiento.

Para la instalación, mantención, validación y calibración de las estaciones y sensores de monitoreo, se presentan protocolos tanto oceanográficos como meteorológicos, los que deben

---

ser seguidos rigurosamente por los encargados de estos procesos, para asegurar la calidad de la información obtenida y el correcto funcionamiento de SOOAA. Estos protocolos están definidos de acuerdo a estándares tanto nacionales como internacionales, que deben ser complementados por los protocolos sugeridos por los fabricantes de los sensores y equipos a utilizar. En relación a los sensores, éstos pueden provenir de diferentes fabricantes, pero se debe considerar que cumplan con las características mínimas propuestas para poder formar parte del sistema SOOAA. Para esto además de los requisitos mínimos presentados en la definición de las variables, se presenta una lista que contiene algunos ejemplos y/o sugerencias de sensores que cumplen con los parámetros mencionados. Cabe destacar que los requisitos presentados corresponden a lo mínimo que se debe cumplir, por lo que cualquier sensor o equipo que cumpla o supere estas características puede ser utilizado. Además se realizó una evaluación económica que permite tener una idea de cuánto costaría implementar SOOAA, tanto desde la perspectiva del costo de los equipos y toma de muestras, como desde el aspecto de las H/H necesarias para la instalación, funcionamiento y procedimientos de mantenimiento, calibración y validación que debe realizarse durante un año.

Finalmente se presentan algunos de los elementos técnicos a regular para el correcto funcionamiento del sistema SOOAA, incluyendo una lista de las funciones que se deben definir para un buen desempeño del sistema. También se consideran y señalan las capacidades que deben tener tanto el equipo técnico como el personal a cargo del procesamiento, análisis e interpretación de los datos. En cuanto al instrumental a utilizar se aclara que tanto los sensores como equipos deben ser cambiados una vez que termine su vida

útil, y que se hace necesario tener en el país laboratorios de calibración que certifiquen la calidad de los datos. Además se entregan las indicaciones para definir nuevas ubicaciones de monitoreo y los responsables de ella en caso de que se deban integrar o quitar estaciones del sistema de monitoreo propuesto.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

In a country like ours, whose economy depends fundamentally on the exploitation of natural resources, it is very important to understand the mechanisms associated with variability and climate change. Aquatic ecosystems are not immune to fluctuations imposed by these climate scenarios, significantly affecting the fishing and aquaculture sector, which imposes strong scientific and technological challenges. This gives great importance to the study of the ocean and its ecosystems, particularly when we must prepare to adapt our fishing and aquaculture activities to the effects that climate change will produce on our ecosystems.

At the global level, the "Ocean Observing Systems" have acquired great relevance, allowing us to observe, monitor and forecast in a sustained way the conditions of the ocean, providing us essential information for taking timely decisions, and for strategic planning, particularly on mitigation measures and adaptation to climate change. In this context, within the framework of Law 20,434, the Subsecretaria de Pesca y Acuicultura requested a study aimed to establish the necessary requirements to implement an online monitoring network for aquaculture concession groups of the X Region. This study was carried out through the FIPA Project 2016-68: "Evaluación y Análisis de los Requerimientos Necesarios para la Implementación de una Red de Monitoreo para las Agrupaciones de Concesiones de Acuicultura", developed by Escuela de Ciencias del Mar, of Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, whose results are found in this report.

To accomplish the goals of this Project, 23 Observation Systems (6 national and 17 international) were evaluated, providing a guideline on the main methods and instruments for

---

measuring the variables of interest for the Project. Based on the analysis of the observation systems, the "essential variables" to be measured / recorded by the monitoring stations were selected (evaluating data collection, transmission and storage methods, etc.), which were exposed later in an experts workshop carried out in two stages (January and May 2017). The workshop invited 26 experts (researchers and professionals from the area), who, based on their experience in the study region, validated a list of 15 proposed "essential variables" alongside with the hydrodynamic and statistical criteria used for the selection of the monitoring sites. In the same way, the use of statistical analysis "Empirical Orthogonal Functions" (EOF) was ratified as the most appropriate method to define the characteristics of the spatial dynamics of the study area, and to determine the depths that should be used in monitoring.

Regarding the oceanographic variables to be measured, they were selected considering the law requirements, added to others that could be affected by aquaculture activities or that could explain some of the effects that those activities could have on the environment. Thus, the selected variables were: temperature, conductivity / salinity, pressure, currents, fluorescence, turbidity, nutrients, oxygen, pH and HAB. To measure these variables, based on international criteria, the minimum requirements that the sensors and equipment to use were established, in order to ensure the quality of the data. Likewise, for the meteorological variables, the indications given by the WMO were considered, which specify the variables to be measured and the necessary requirements of sensors and equipment, which must be taken to obtain a valid data.

Regarding the location of the monitoring sites, various selection criteria were used: hydrodynamic, statistical (EOF), communication coverage and ease of access. This was complemented by a joint work with Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, where the legal and administrative restrictions that may exist were evaluated. Regarding the statistical analysis used (EOF), it is important to note that it was made with all the oceanographic information available for the region, which comes mainly from CIMAR campaigns carried out in the study area, alongside satellite observations. The results obtained are strongly affected by the amount of data analyzed (available), so by having a greater amount of data, with a higher spatial and temporal resolution, more precise results could be obtained, so when new and better measurements be available, a new evaluation of the location of the sites will be made, following the proposed methodology.

Based on the analysis of the data and information of the region, using the criteria indicated above, a map was generated proposing the most appropriate location of the monitoring stations for the study area. Sixty sites were selected, which are distributed relatively uniformly among the groups of aquaculture concessions (considering the geographical complexity of the area covered), corresponding to each of them to install a minimum of two oceanographic monitoring stations in addition to a weather station. For the oceanographic stations, the depths for measurement of the variables (0 m, 5 m, 10 m, 25 m and bottom) were determined using EOF analysis, a method that allows to capture in a good way the environmental variability.

Based on the technical characteristics that an ocean observation system should have, the measurement sites defined, and the conditions established to ensure an optimal functioning of the observation system, a simple prototype of a measurement system to measure meteorological / oceanographic variables was designed, implemented and deployed. In order to do that, the design was made in a modular way, in such a way that it allows the exchange of elements / sensors (independent of the different technologies of the sensors that can be implemented / incorporated). Within this context it is important to consider that a prototype is a preliminary vision of the final product, it is an operable model, easily expandable and modifiable, that has all the proposed / desired characteristics, but it really is a basic model, which does not have to be perfect nor have high fidelity, but must allow to detect problems / failures to be improved in later developments, which allow to reach the final product. The prototypes allow to evaluate products, user requirements and define alternatives. A final product, unlike a prototype, is a product that has been subjected to various control tests, passing through several different prototypes before being marketed and whose costs are very different. For example, the oceanographic buoy installed east of Guar Island, at the center of the Reloncaví sine, is a commercial product that covers the vast majority of the variables considered in SOOAA, and meets the quality requirements of sensors and data transmission. in real time, but has a cost over one hundred million chilean pesos (136 million for the purchase is deployment of the buoy and 27 million for annual maintenance).

The observational prototype, designed and implemented by the ECM, was installed in the dependences of Salmenes Multiexport Company, located in the Llaguape area of the Lakes

Region, during the period between March 23 and May 25, 2018. Prototype considered three fundamental aspects to evaluate in its development:

1. Build a low-cost integration device that integrates different models and brands of oceanographic sensors to measure the variables and communicate these measurements to a power plant.
2. Test cutting-edge technology oriented to IoT (from English, Internet of Things).
3. Evaluate the effect of biofouling on sensors.

The design of the oceanographic prototype, considered a modular system, which has the ability to change the different devices (sensors), which was tested with sensors from two different manufacturers. The general system takes the information from 2 groups of sensors, located 5 m and 10 m deep, which transmits through an RF link, to a Gateway, which decodes them and sends them over the Internet via 3G. For meteorological measurements, a Davis brand weather station model Vantage Pro2 with IP connection was installed on the ground. This type of station was selected to perform the tests in the field, considering the low cost of the sensors and the ease of installation and maintenance.

The tests carried out with the prototype, during the two months of operation, allowed us to define the following fundamental requirements for its integration into SOOAA:

1. - Ensure a continuous and stable electrical power supply, which allows a correct communication between the controller cards and between the sensors and the controller

cards. In some places power cuts are systematically made that affect the proper functioning of the sensors.

2. - The time required to carry out the partial or complete maintenance of a monitoring station / buoy depends on the accessibility to the place of location, the availability of the vessel and the conditions of opening and closing of the port. The latter do not necessarily depend on local atmospheric / oceanographic conditions.

3. - It is desirable that monitoring stations have sensor power indicators, have an adequate range of WiFi network that allows to navigate within the buoy devices at greater distances without the need of a cable connection, ideally using the LoRa link.

4. - To carry out tests and check the reaction of different parts of the prototype, verify the effect of water pressure on the sensors and sealed systems, leaving a margin of safety of 20% over indicated by manufacturer .

5. - Select robust devices, ideally shock resistant.

6.- Due to biofouling great aggressiveness, it is suggested to carry out a monthly maintenance / cleaning of the sensors, reducing this time by half during the periods of maximum biological productivity, mainly in the most superficial sensors.

7. - Regarding the design of the data transmission system, three solutions were considered: cellular, LPWAN and satellite. The use of the 3G / LTE network is proposed as a first alternative, and in areas where it is not available to use LPWAN technology, leaving satellite communication as the last alternative, due to its high cost. An important part of the selection

---

criteria of the communication system corresponds to the obligation to contemplate at least 90% of recovered data.

Regarding the possible administrative scenarios, two options are presented: the first one, leaving the system in charge of the Aquaculture Concessions, as dictated by the Law, having as data manager the SUBPESCA or a similar organization, and as inspector to SERNAPESCA. The second option considers the creation of an organization that can be public, private or mixed, that is exclusively in charge of the entire observation system, from the implementation to the distribution of the data, these must be delivered in full and in real time to SUBPESCA and SERNAPESCA. In both options, a shared financing between the Aquaculture Concession Groups and the State is suggested. To select the administration system to be used, SUBPESCA must evaluate the feasibility and functioning mechanism.

For the installation, maintenance, validation and calibration of monitoring stations and sensors, both oceanographic and meteorological protocols are presented, which must be followed rigorously by those in charge of these processes, to ensure the quality of the information obtained and the correct operation of SOOAA. These protocols are defined according to both national and international standards, which must be complemented by the protocols suggested by the manufacturers of the sensors and equipment to be used. In relation to the sensors, these may come from different manufacturers, but they must be considered to comply with the minimum characteristics proposed to be part of the SOOAA system. For this, in addition to the minimum requirements presented in the definition of the variables, a list is presented that contains some examples and / or suggestions from sensors that comply

with the aforementioned parameters. It should be noted that the requirements presented correspond to the minimum that must be met, so any sensor or equipment that meets or exceeds these characteristics can be used. In addition, an economic evaluation was carried out to obtain an idea of how much it would cost to implement SOOAA, both from the perspective of the cost of the equipment and sampling, and from the aspect of the H / H necessary for the installation, operation and maintenance procedures. , calibration and validation that must be done during a year.

Finally, some of the technical elements to be regulated are presented for the correct functioning of the SOOAA system, including a list of the functions that must be defined for a good performance of the system. The capacities that both the technical team and the personnel in charge of the processing, analysis and interpretation of the data must have are also considered and indicated. Regarding the instruments to be used, it is clarified that both the sensors and equipment must be changed once their useful life has ended, and that it is necessary to have calibration laboratories in the country that certify the quality of the data. In addition, instructions are given to define new monitoring locations and those responsible for it should they be integrated or removed from the proposed monitoring system.

## 2. ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	3
3. ÍNDICE DE FIGURAS .....	24
4. ÍNDICE DE TABLAS.....	34
5. ÍNDICE DE ANEXOS .....	37
6. OBJETIVO GENERAL .....	39
7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	39
8. ANTECEDENTES .....	41
9. METODOLOGÍA POR OBJETIVO.....	44
9.1. Realizar una recopilación de la información disponible, tanto nacional como internacional, sobre sistemas de monitoreo continuo y en línea de las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes, analizando las ventajas y desventajas de las metodologías e instrumental descritos. ....	44
9.2. Proponer un sistema de monitoreo, que permita la determinación de al menos las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes.....	46
9.3. Proponer la ubicación geográfica más adecuada para la instalación de una red de monitoreo en línea cuyo objetivo es monitorear las agrupaciones de concesiones de salmones.....	51

9.4. Diseñar un prototipo simple que permita la medición de variables oceanográficas, e instalar dicho prototipo en algún punto geográfico indicado en el punto 9.3.....	55
9.5. Diseñar e implementar un sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos obtenidos del sistema de monitoreo en línea.....	70
9.6. Elaborar un protocolo de instalación, mantención y calibración del sistema de monitoreo propuesto, así como también evaluar los distintos escenarios desde el punto de vista administrativo y operativo de los sistemas, incluyendo la valorización económica. .	75
9.7. Elaborar una propuesta de los diferentes elementos técnicos que deberían ser regulados para la implementación y funcionamiento de un sistema de monitoreo en línea.	
77	
10. RESULTADOS POR OBJETIVO .....	84
10.1. Realizar una recopilación de la información disponible, tanto nacional como internacional, sobre sistemas de monitoreo continuo y en línea de las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes, analizando ventajas y desventajas de las metodologías e instrumental descritos. ....	84
10.1.1. Sistemas de Monitoreo Internacional .....	95
10.1.2. Sistemas de Observación Nacional .....	111
10.1.3. Comparación entre los Sistemas de Observación .....	117

10.2.	Proponer un sistema de monitoreo, que permita la determinación de al menos las variables señalizadas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes.....	125
10.2.1.	Módulo de toma de datos .....	126
10.2.2.	Sistema de Transmisión, Recepción y Almacenamiento de Datos .....	163
10.3.	Proponer la ubicación geográfica más adecuada para la instalación de una red de monitoreo en línea, cuyo objetivo es monitorear las agrupaciones de concesiones de salmones.....	207
10.3.1.	Dinámica de Circulación en la X Región de Los Lagos .....	207
10.3.2.	Estructura Vertical de las Propiedades hidrográficas en la X Región.....	212
10.3.3.	Variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar y la clorofila-a satelital en la X Región .....	233
10.3.4.	Selección de los Sitios de instalación de las estaciones de monitoreo .....	253
10.4.	Diseñar un prototipo simple que permita la medición de variables oceanográficas, e instalar dicho prototipo en algún punto geográfico indicado en el punto 10.3.....	263
10.4.1.	Definición del Funcionamiento Modular del Sistema SOOAA.....	264
10.4.2.	Funcionamiento prototipo .....	305
10.5.	Diseñar e implementar un sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos obtenidos del sistema de monitoreo en línea.....	321
10.5.1.	Transmisión de datos.....	321

---

10.5.2.	Componentes eléctricos y electrónicos .....	323
10.5.3.	Recepción, almacenamiento y despliegue de datos .....	326
10.5.4.	Implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos prototipo. ....	337
10.6.	Elaborar un protocolo de instalación, mantención y calibración del sistema de monitoreo propuesto, así como también evaluar los distintos escenarios desde el punto de vista administrativo y operativo de los sistemas, incluyendo la valorización económica. ....	343
10.6.2.	Protocolo de instalación, mantención, verificación y calibración del sistema de monitoreo SOOAA.....	354
10.6.3.	Evaluación económica.....	424
10.7.	Elaborar una propuesta de los diferentes elementos técnicos que deberían ser regulados para la implementación y funcionamiento de un sistema de monitoreo en línea. ....	434
10.7.1.	Equipo técnico.....	435
10.7.2.	Procesamiento y análisis de datos .....	438
10.7.3.	Monitoreo .....	439
11.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	445
12.	CONCLUSIONES.....	454
13.	REFERENCIAS .....	461

---

14. ANEXOS .....	471
14.1. Acta Primera Reunión de Coordinación con Subsecretaría de Pesca.....	472
14.2. Informe 1° Taller de Expertos .....	475
14.3. Informe 2° Taller de Expertos .....	482
14.4. Personal Participante por Actividad .....	489
14.5. Mapas de cobertura de señal celular en la X región. ....	491
14.6. Ejemplos Registros para mantención, validación y calibración del sistema SOOAA	492
14.7. Manual de Usuario Portal Web .....	498
14.7.1. Portal de Configuración .....	499
14.7.2. Portal de Visualización de Datos .....	509
14.8. Alternativa presente en el mercado para sistemas integrados de monitoreo .....	514
14.9. Taller de difusión de resultados.....	522
14.10. Registro fotográfico del taller de resultados finales. ....	528

### **3. ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Esquema general de SOOAA. ....	47
Figura 2. Modelo de estación de monitoreo propuesta y capsulas para los diferentes módulos. .....	57
Figura 3. Diagrama de conectividad en sistema Acui-ThAS.....	59

---

Figura 4. Esquema módulo ThAS.....	61
Figura 5. Esquema del diseño preliminar del software del servidor para SOOAA. ....	66
Figura 6. Antena satelital. Modelo Hughes 9450-C11. Utilizada en proyecto Acui-ThAS (CORFO, 15COTE-46280).....	70
Figura 7. Esquema de conexión entre los diferentes módulos y el módulo de conexión satelital. ....	71
Figura 8. Esquema de conexión entre los diferentes módulos y el módulo de conexión celular.....	72
Figura 9. Ilustración de algunos de los sistemas de observación utilizados en el mundo para el monitoreo de variables meteorológicas, climáticas, hidrológicas y medioambientales conexas.	
Fuente:( <a href="https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/Principal_Docs/WIGOS_flyer_es.pdf">https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/Principal_Docs/WIGOS_flyer_es.pdf</a> ). ....	86
Figura 10. Esquema simplificado de un sistema básico de observación. En la comunidad de observación del océano muchos han alineado en forma natural sus actividades de acuerdo a este principio de organización y coordinación. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO. ....	89
Figura 11. Diagrama general del Marco de Observación de los Océanos de GOOS. Fuente: .....	90
Figura 12. Superposición conceptual de las Variables Climáticas Esenciales (ECVs) en un diagrama de Venn. Las variables esenciales (EVs) definidas por la OMM para la predicción	

meteorológica inspiraron las variables climáticas esenciales definidas posteriormente por el SMOC. El concepto ha sido adoptado para definir las Variables Esenciales de Biodiversidad (EBVs) en tierra por GEOBON. El Marco de Observación de los Océanos de GOOS definió las Variables Oceánicas Esenciales (EOVs) para los océanos. La superposición entre estos grupos justifica la necesidad de adoptar un enfoque multidisciplinario coherente. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO..... 91

Figura 13. Etapas y Niveles de Maduración dispuestos en el Marco de Referencia de Observación del Océano. Bajo esta metodología, cada componente experimenta una rigurosa revisión y aprobación por parte de la comunidad antes de alcanzar el nivel más alto de maduración. Este proceso permite la innovación, al mismo tiempo que protege al sistema de soluciones inadecuadas o duplicadas. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNE UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO. .... 93

Figura 14. Numero de Sistemas de Observación (nacional e internacional) que registran variables oceanográficas y meteorológicas en tiempo real..... 119

Figura 15. Métodos de monitoreo oceanográfico/meteorológico y número de Sistemas de Observación nacional e internacional que los utilizan..... 119

Figura 16. Esquema general de las estaciones de monitoreo oceanográfica y costera. En naranjo se muestran las variables meteorológicas (1: temperatura, 2: presión atmosférica, 3: viento (magnitud, dirección), 4: radiación solar, 5: precipitación), y en celeste se muestran las

variables oceanográficas (1: temperatura, 2: conductividad/salinidad, 3: presión/profundidad, 4: corrientes, 5: fluorescencia, 6: turbidez, 7: oxígeno disuelto, 8: pH). Además se presentan las profundidades/alturas, en metros, a las que debe ser medida cada variable señalada. .... 162

Figura 17. Esquema general del sistema de transmisión de SOOAA..... 168

Figura 18. Esquema de la configuración de un sistema de transmisión serial basado en una comunicación LoRa. .... 175

Figura 19. Esquema de servidores propuestos para SOOAA ..... 204

Figura 20. Propuesta del esquema general de Transmisión, Recepción y Almacenamiento de SOOAA..... 206

Figura 21. Mapa de la X Región de Los Lagos. Dentro de los cuadros de color azul, rojo y verde, se indica la ubicación geográfica de cada estación YO-YO utilizada en el análisis de la estructura vertical de la columna de agua. .... 215

Figura 22. Perfiles de invierno 2005, en la boca del fiordo Reloncaví. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar. .... 219

Figura 23. Perfiles de invierno 2006 (color negro) y 2013 (color gris), en las cercanías a la desembocadura del Río Puelo, en el fiordo Reloncaví. Las líneas continuas representan el promedio estacional, mientras que las líneas segmentadas representan su desviación estándar. .... 220

Figura 24. Perfiles de primavera 2006(color negro) y 2011 (color gris) en las cercanías a la desembocadura del Río Puelo en el fiordo Reloncaví. Las líneas continuas indican el promedio estacional, mientras que las líneas segmentadas su desviación estándar. .... 221

Figura 25. Perfiles de invierno 2013, correspondiente al sector noroeste del golfo Ancud. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar. ....	223
Figura 26. Perfiles de primavera 2011 al noroeste del golfo Ancud. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar. ....	223
Figura 27. Perfiles de primavera 2005 en el canal Lemuy. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar. ....	224
Figura 28. Perfiles de primavera 2011 en el canal Apiao. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar. ....	225
Figura 29. Perfiles de primavera 2011 en el golfo Corcovado, al sur del canal Desertores. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar. ....	226
Figura 30. Anomalías respecto al perfil estacional de densidad. ....	228
Figura 31. Primeros cuatro modos (EOFs) verticales de las anomalías del perfil estacional de densidad. Las líneas azules, verdes, rojas y cían representan al primer, segundo, tercer y cuarto modo, respectivamente. ....	231
Figura 32. Campo promedio (2003-2016) de clorofila-a satelital durante para la X Región. ....	236

Figura 33. Campo de desviación estándar de clorofila-a satelital durante el periodo 2003-2016 para la X Región. ....	237
Figura 34. Campo promedio (2003-2016) de la temperatura superficial del mar para la X Región. ....	238
Figura 35. Campo de desviación estándar de temperatura superficial del mar satelital durante el periodo 2003-2016 para la X Región. ....	239
Figura 36. Espectro de varianza local fraccional del campo de clorofila-a satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia. ....	240
Figura 37. Espectro de varianza local fraccional del campo de temperatura superficial del mar satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia. ..	241
Figura 38. Espectro de varianza local fraccional del campo conjunto entre clorofila-a y temperatura superficial del mar en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia. ....	241
Figura 39. Patrón espacial de la oscilación anual en los campos de clorofila-a satelital (panel izquierdo) y temperatura superficial del mar satelital (panel derecho) en la X Región. ....	243
Figura 40. Ciclo canónico de la oscilación anual de la clorofila-a satelital en la X Región. ..	244
Figura 41. Ciclo canónico de la oscilación anual la de temperatura superficial del mar satelital en la X Región. ....	245
Figura 42. Espectro de varianza local fraccional del campo de anomalías de clorofila-a satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia. ..	247

Figura 43. Espectro de varianza local fraccional del campo de anomalías de temperatura superficial del mar satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia. ....	247
Figura 44. Espectro de varianza local fraccional del campo conjunto de anomalías entre la clorofila-a y la temperatura superficial del mar satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia. ....	248
Figura 45. Patrón espacial de la oscilación de 30 días de los campos de clorofila-a (panel izquierdo) y temperatura superficial del mar (panel derecho) satelital en la X Región. ....	250
Figura 46. Ciclo canónico de la oscilación de 30 días del campo de clorofila-a satelital en la X Región. ....	251
Figura 47. Ciclo canónico de la oscilación de 30 días del campo de temperatura superficial del mar satelital en la X Región. ....	252
Figura 48. Esquema de las diferentes acciones realizadas en la selección de los sitios de monitoreo. ....	253
Figura 49. Representación gráfica de los principales procesos que se presentan al interior de un fiordo (modificado de Inall & Gillibrand, 2010). ....	257
Figura 50. Distribución y numeración de las estaciones de monitoreo oceanográficas necesarias para un eficiente SOOAA. En blanco se observa la división administrativa de las concesiones de acuicultura utilizada para la distribución de las estaciones (mínimo 2 en cada división). ....	262
Figura 51. Diagrama simplificado de SOOAA. ....	265
Figura 52. Módulos del subsistema Estación de monitoreo prototipo. ....	266

---

Figura 53. Cúpula de comunicaciones prototipo .....	270
Figura 54. Boya prototipo .....	270
Figura 55. Caja de estanco genérica y sus componentes .....	271
Figura 56. Integración de sensores relacionado del proveedor Atlas Scientific .....	272
Figura 57. Integración de sensor de oxígeno disuelto del proveedor AANDERAA .....	274
Figura 58. Diagrama de interacción entre las diferentes capas del sistema SOOAA. ....	277
Figura 59. Esquema propuesto para contar con una plataforma de alta demanda y tolerante a fallos.....	280
Figura 60. Esquema de los módulos que conforman el sistema SOOAA. ....	282
Figura 61. Modelo relacional para datos estructurados. ....	285
Figura 62. Ventana de creación de una nueva estación en portal configuración de SOOAA. .....	288
Figura 63. Página de inicio del Portal de Administración. ....	297
Figura 64. Datos de una estación y forma de ingresarlas al portal .....	299
Figura 65. Asociación de variables a una estación .....	300
Figura 66. Registro de datos de una variable .....	301
Figura 67. Página de inicio del Portal de Consultas. ....	302
Figura 68 Serie de Tiempo de una estación y tabla de datos desplegados. ....	303
Figura 69. Gráfico y tabla comparativa de una misma variable en varias estaciones .....	304
Figura 70. Estado de sensores y equipos de la estación ubicada a 5m de profundidad en el momento de ser retirada.....	317

Figura 71. Estado de sensores y equipos de la estación ubicada a 10 m de profundidad en el momento de ser retirada.....	317
Figura 72. Diagrama del conector de comunicaciones (LAN) .....	323
Figura 73. Diagrama de solución satelital para sistema de comunicación. ....	324
Figura 74. Diagrama de solución 3G/LTE para sistema de comunicación.....	325
Figura 75. Diagrama de solución LoRa para sistema de comunicación .....	325
Figura 76. Arquitectura de Software de Backend.....	327
Figura 77. Diseño de Capa de Servicios .....	331
Figura 78. Múltiples Protocolos de Captura. ....	332
Figura 79. Diseño Capa de Presentación .....	336
Figura 80. Esquema de configuración alternativa de comunicaciones de la estación meteorológica.....	339
Figura 81. Esquema de la configuración básica de los componentes al interior de la boya:	340
Figura 82. Esquema de las comunicaciones entre la boya y el servidor central SOOAA, pasando a través del Gateway LoRa. ....	341
Figura 83. Esquema de alternativa administrativa N° 1 propuesto para SOOAA.....	349
Figura 84. Esquema de alternativa administrativa N° 2 propuesto para SOOAA.....	352
Figura 85. Diagrama de Procedimientos.....	367
Figura 86. Esquema de conexión de los dispositivos a nodos del bus de datos Ethernet. ....	421
Figura 87. Elementos Técnicos que deben ser regulados para la implementación y funcionamiento de SOOAA.....	434

Figura 88. Gráfico comparativo entre el número total de variables medidas por los 23 Sistemas de Observación evaluados (azul) y el número de “variables esenciales” propuestas por SOOAA(rojo). .....	446
Figura 89. Mapa de la Región de Aysén. Las estrellas marcan los lugares estratégicos para la medición de corrientes. ....	486
Figura 90. Mapa de disponibilidad de red 3G/4G/LTE en la X región de Los Lagos. Se sobreponen las divisiones administrativas consideradas en este proyecto y las estaciones de monitoreo sugeridas. ....	491
Figura 91. Vista inicial del portal de configuración. Se pueden observar las estaciones de monitoreo del sistema, con su respectiva ubicación. ....	500
Figura 92. Ventana de edición de las estaciones de monitoreo. ....	501
Figura 93. Ventana de confirmación para la eliminación de una estación de monitoreo. En esta se muestra la estación a eliminar y se advierte que es un proceso irreversible. ....	503
Figura 94. Visualización de la lista de variables configuradas en el sistema con su respectiva unidad de medida. ....	504
Figura 95. Ventana de creación de nuevas variables. ....	505
Figura 96. Ventana de administración de unidades de medida. ....	506
Figura 97. Ventana de creación de unidades de medida. ....	506
Figura 98. Ventana de creación de nueva variable. En esta ocasión podemos observar que se puede crear la variable “velocidad_viento” con la unidad de medida “nudos” recién creada. ....	507

Figura 99. Ventana que muestra las variables monitoreadas por el sistema. Las variables que presentan el “check” en la primera columna, son las variables medidas por la estación de monitoreo seleccionada.....	508
Figura 100. Página principal del Portal de Visualización. Se observan las 3 áreas que la componen, lista de estaciones (arriba a la izquierda), mapa de estaciones (arriba a la derecha) y visualizador de datos (abajo). .....	510
Figura 101. Datos mostrados al seleccionar una estación. Inicialmente sólo se muestra la variable y período de tiempo definido por defecto. ....	511
Figura 102. Visualización de datos de una estación de monitoreo para una variable y un periodo seleccionado por el usuario. A la derecha se puede observar la vista tabular de los datos.....	512
Figura 103. Visualización de los datos de 3 estaciones de monitoreo de manera simultánea. Para este ejemplo, se observa la Temperatura del Aire en las boyas 1 y 2 y la estación 1. A la izquierda se observan los datos tabulados correspondientes a las tres estaciones.....	513

#### **4. ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Visión detallada de los procesos del Marco de Referencia para los diferentes niveles de maduración. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNE UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO. ....	94
Tabla 2. Variables registradas y Tipo de estación de monitoreo utilizada por los diferentes Sistemas de Observación mundial. ....	120

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las metodologías de medición utilizadas en el mundo.	121
Tabla 4. Variables Esenciales a medir por el sistema de monitoreo SOOAA.....	129
Tabla 5. Requisitos mínimos a cumplir por los sensores y equipos para pertenecer a SOOAA. .....	159
Tabla 6. Variables oceanográficas a monitorear y profundidad de las mediciones.....	161
Tabla 7. Comparación de los diferentes tipos de tecnología de comunicación y sus requerimientos de backhaul. ....	172
Tabla 8. Comparación de las diferentes tecnologías de comunicación considerando la velocidad de transmisión de datos. ....	173
Tabla 9. Comparación de las diferentes tecnologías de comunicación considerando el espectro de frecuencia de transmisión.....	174
Tabla 10. Comparación de los diferentes protocolos de acuerdo a los requerimientos necesarios para la recepción de datos de SOOAA.....	184
Tabla 11. Resumen del nivel de satisfacción de las tres plataformas Big Data para los requerimientos genéricos y particulares de SOOAA.....	195
Tabla 12. Resumen del nivel de satisfacción de las bases de datos no relacional para los requerimientos genéricos y particulares de SOOAA.....	199
Tabla 13. Campañas CIMAR que realizaron estaciones de monitoreo dentro de la X región. .....	214
Tabla 14. Cruceros CIMAR y número de estación YO-YO utilizada en el análisis de la estructura vertical de la columna de agua. ....	215

Tabla 15. Porcentaje de varianza explicada por los primeros cuatro modos verticales (EOFs) de las anomalías del perfil estacional de densidad.....	230
Tabla 16. Variables a medir en cada estación de monitoreo oceanográfica. ....	261
Tabla 17. Punto de interés.....	268
Tabla 18. Comparación de las propuestas de administración presentadas. ....	354
Tabla 19. Límites físicos de diferentes variables meteorológicas (UNE 500540, 2004) .....	376
Tabla 20. Requisitos de calibración de Termotransmisores, sensores temperatura.....	382
Tabla 21. Requisitos de calibración de pluviómetros .....	383
Tabla 22. Requisitos de calibración de barómetros .....	384
Tabla 23. Requisitos de calibración de anemómetros y veletas.....	386
Tabla 24. Requisitos de calibración de sensores de radiación solar .....	387
Tabla 25. Lista de puntos a chequear luego de la calibración de los instrumentos. ....	388
Tabla 26. Lista de puntos a chequear luego de la calibración de los instrumentos. ....	410
Tabla 27. Lista de sensores meteorológicos sugeridos que cumplen con las características básicas para ser utilizados en SOOAA. ....	425
Tabla 28. Lista de sensores oceanográficos sugeridos que cumplen con las características básicas para ser utilizados en SOOAA. ....	426
Tabla 29. Valorización económica estación de monitoreo completa. ....	432
Tabla 30. Costos de instalación y funcionamiento general, durante 1 año, basado en Horas Hombre (H/H) y equipamiento. ....	433
Tabla 31. Variables esenciales a medir en SOOAA. ....	454

Tabla 32. Requisitos mínimos a cumplir por los sensores y equipos para pertenecer a SOOAA.....	455
Tabla 33. Listado de asistentes al Taller de Expertos con la participación de Investigadores Responsables y Gestores de acuicultura de la Región de los Lagos.....	481
Tabla 34. Variables oceanográficas y meteorológicas más relevantes seleccionadas para monitorear en SOOAA. ....	484
Tabla 35. Listado de asistentes al 2° Taller de Expertos, con la participación de Investigadores profesionales del área de la oceanografía y la acuicultura del país. ....	488
Tabla 36. Ejemplo REG-001 Hoja de vida (verificación, calibración y mantenimiento).....	492
Tabla 37. Ejemplo REG-003 Lista Maestra de instrumentos de medición.....	493
Tabla 38 Ejemplo REG-004, Plan anual de control de instrumentos .....	494
Tabla 39. Ejemplo REG-005, Registro control interno de instrumentos.....	495
Tabla 40. Ejemplo REG-005-B Certificados de verificación o calibración de instrumentos de medición.....	496
Tabla 41. Ejemplo REG-006, Informa anual de control de sensores.....	497
Tabla 42. Lista de asistencia al Taller de Difusión de Resultados FIPA 2016-68. ....	526

## **5. ÍNDICE DE ANEXOS**

14. ANEXOS.....	471
14.1. Acta Primera Reunión de Coordinación con Subsecretaría de Pesca.....	472
14.2. Informe 1° Taller de Expertos .....	475
14.3. Informe 2° Taller de Expertos .....	482

14.4.	Personal Participante por Actividad .....	489
14.5.	Mapas de cobertura de señal celular en la X región. ....	491
14.6.	Ejemplos Registros para mantención, validación y calibración del sistema SOOAA	492
14.7.	Manual de Usuario Portal Web .....	498
14.7.1.	Portal de Configuración .....	499
14.7.2.	Portal de Visualización de Datos .....	509
14.8.	Alternativa presente en el mercado para sistemas integrados de monitoreo .....	514
14.9.	Taller de difusión de resultados.....	522
14.10.	Registro fotográfico del taller de resultados finales. ....	528

## **6. OBJETIVO GENERAL**

Determinar los requerimientos necesarios que permitan implementar una red de monitoreo en línea para las agrupaciones de concesiones de acuicultura.

## **7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 7.1. Realizar una recopilación de la información disponible, tanto nacional como internacional, sobre sistemas de monitoreo continuo y en línea de las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes, analizando las ventajas y desventajas de las metodologías e instrumental descritos.
- 7.2. Proponer un sistema de monitoreo, que permita la determinación de las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes.
- 7.3. Proponer la ubicación geográfica más adecuada para la instalación de una red de monitoreo en línea, cuyo objetivo es monitorear las agrupaciones de concesiones de salmones.
- 7.4. Diseñar un prototipo simple que permita la medición de variables oceanográficas, e instalar dicho prototipo en algún punto geográfico indicado en el punto 7.3.
- 7.5. Diseñar e implementar un sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos obtenidos del sistema de monitoreo en línea.
- 7.6. Elaborar un protocolo de instalación, mantención y calibración del sistema de monitoreo propuesto, así como también evaluar los distintos escenarios desde el

punto de vista administrativo y operativo de los sistemas, incluyendo la valorización económica.

- 7.7. Elaborar una propuesta de los diferentes elementos técnicos que deberían ser regulados para la implementación y funcionamiento de un sistema de monitoreo en línea.

## 8. ANTECEDENTES

El Océano Pacífico Oriental es la clave para el crecimiento y la prosperidad económica pesquera y acuícola de nuestro país. Es la ruta que mueve el 90% del comercio nacional, conectando personas, mercados y medios de subsistencia. También es una importante fuente de producción de alimentos marinos y una gran fuente de empleo.

Nuestra costa forma parte de un sistema de circulación altamente complejo, que ofrece una amplia gama de ventajas para el bienestar humano y la prosperidad del país, entre las que se encuentran, la modulación del clima local de Chile (e.g. agricultura asociada a zonas costeras), su rol en el secuestro del carbono, ciclo de los nutrientes, diversidad de hábitats, y la alta biomasa y diversidad biológica, además de poseer un fuerte potencial turístico y para otras actividades acuícolas (e.g. pesquerías, acuicultura) y ser una importante fuente de energía.

Debido a que Chile abarca una gran franja de tierra ubicada en el cono Sur de América (~18° - 56°S), se plantea como desafío país la responsabilidad de liderar la observación del océano adyacente. Bajo esta perspectiva **la realidad actual del sistema de observación marino en Chile aún es deficiente. Por lo tanto, es imprescindible contar a lo largo del país con sistemas de monitoreo (vigilancia) en tiempo real y continuo de nuestro océano adyacente.**

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 calificado, 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 la comunidad científica y al público en general.

En este sentido, se está llevando a cabo el desarrollo e implementación de una serie de medidas y normativas, las cuales están dirigidas a resolver los principales temas sanitarios y ambientales que afectan a la acuicultura de nuestro país. Es así que, en los últimos años, se observa una importante evolución del conocimiento de la oceanografía de la zona austral de Chile, motivada por la necesidad de gestionar en forma sustentable el desarrollo de la industria acuicultora y apoyada por diversas iniciativas con financiamiento público (e.g. proyectos CIMAR fiordos) y privado. De esta forma, la investigación océano-atmósferas se ha convertido en un instrumento fundamental para la conservación-sustentabilidad ambiental para el óptimo desarrollo de la pesca y la acuicultura, así como también para otras actividades, como el turismo y la navegación segura, permitiendo tomar decisiones en busca del crecimiento sustentable de la región. 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. De esta forma, se pretende lograr una oportuna reacción ante eventos de riesgo, como las ocurrentes emergencias sanitarias provocadas por el afloramiento de algas nocivas (e.g. verano de 2016).

El presente Proyecto consiste en diseñar un Sistema de Observación en tiempo real, continuo y en línea para la X Región de Los Lagos, denominado SOOAA (Sistema de Observación del Océano de Apoyo a la Acuicultura), el cual debe considerar la modelación y análisis de variables esenciales (oceanográficas/meteorológicas). La implementación de un Sistema de Observación, permitirá realizar descripciones en tiempo real de la situación ambiental de los canales, fiordos y el océano adyacente a la X Región, centrándose principalmente en el pronóstico, lo que permitirá a mediano y largo plazo tomar oportunas y mejores decisiones, frente a los efectos de la actividad acuícola, con el fin de resguardar y proteger el medioambiente. Además, a través de la instalación de estaciones de monitoreo distribuidas en la X Región, se permitirá generar una base de datos apropiada para realizar estudios orientados a evaluar el impacto de fenómenos de baja frecuencia, como los vinculados al Fenómeno de El Niño o al Cambio Climático.

## **9. METODOLOGÍA POR OBJETIVO**

### **9.1. Realizar una recopilación de la información disponible, tanto nacional como internacional, sobre sistemas de monitoreo continuo y en línea de las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes, analizando las ventajas y desventajas de las metodologías e instrumental descritos.**

Se realizó una rigurosa recopilación de información nacional e internacional, sobre Sistemas de Observación oceanográfico/meteorológico continuos y en línea, enfocados a medir las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley 20.434 (conductividad, salinidad, temperatura, profundidad, corrientes, densidad, fluorescencia y turbidez), además de las variables de oxígeno y nutrientes, y las variables meteorológicas de magnitud y dirección del viento, presión atmosférica, radiación solar y temperatura, utilizando como ejemplo internacional los Sistemas Satelitales de Monitoreo Oceánico desarrollados en México (COMAPS- Coastal Ocean Monitoring and Prediction System), India (INCOIS- Indian National Centre for Ocean Information Services)”, Estados Unidos (NOAA, HAB-OFS- Harmful Algal Bloom Operational Forecast System), entre otros. Dentro de la experiencia nacional, se incluyeron como ejemplos, la Plataforma de Observación del Sistema Acoplado Océano Atmósfera (POSAR), el Sistema de Información Oceanográfica para la Sostenibilidad de la Acuicultura en la Región de Aysén (Proyecto Innova Chile CORFO, Scheneider et al., 2014), así como la experiencia adquirida en la implementación de un sistema de seguimiento y vigilancia de marea roja al sistema de información geográfica de la

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, y el proyecto POMeO (Portal Oceanográfico Meteorológico Operacional (POMeO): Portal Web y Aplicación Móvil Cod 15BP-45408, Concurso Bienes Públicos para la Competitividad de CORFO), diseñado para facilitar y promover el acceso a información pública de Meteorología y Oceanografía Operativa de la Región de Valparaíso. Dentro de este contexto, se consideraron principalmente aquellas iniciativas que contemplen el uso de una base de datos consultable a través de Internet.

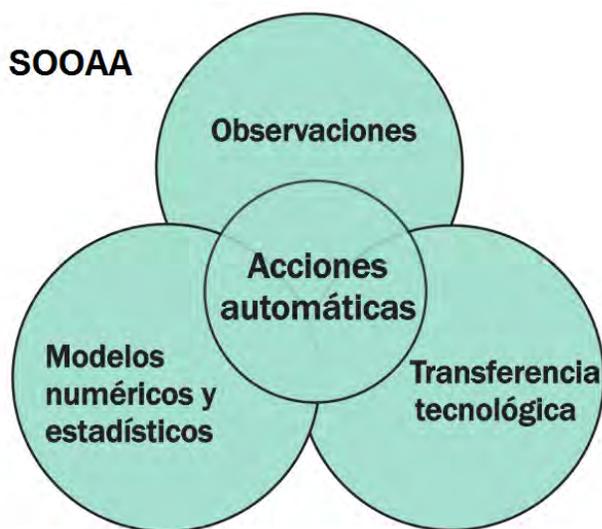
Para evaluar el instrumental a utilizar en la medición de las variables meteorológicas/oceanográficas, se compararon los diferentes equipos/sensores utilizados por los actuales Sistemas de Observación, analizando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, contrastándola con la información otorgada por los distintos proveedores. Se consideró el instrumental que ha sido utilizado durante los últimos años, y con los que se han obtenido los mejores resultados (e.g. fiabilidad y eficiencia operacional).

**9.2. Proponer un sistema de monitoreo, que permita la determinación de al menos las variables señalizadas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes.**

Se propone un Sistema de Observación del Océano de Apoyo a la Acuicultura (SOOAA), que utilice instrumental de alta calidad, estratégicamente distribuido en la X Región de Los Lagos. La ubicación geográfica de los sitios de monitoreo (y estaciones de monitoreo), fue seleccionada a partir de los resultados obtenidos aplicando un criterio asociado a la dinámica de la región, y otro de carácter estadístico basado en la aplicación de Funciones Ortogonales Empíricas (EOF ver detalles en el punto 9.3).

El Sistema de Observación propuesto consiste en un sistema modular de varias etapas (Figura 1), que incluye: un módulo de observación y adquisición de datos *in situ* mediante el uso de estaciones de monitoreo oceanográficas/meteorológicas, un módulo de recepción de la información proveniente de telemetría satelital y de modelos numéricos y estadísticos disponibles para la Región de influencia del Proyecto. Estos modelos deben incluir la información satelital disponibles en la Web (e.g., AVISO, MODIS, NCEP, etc.), datos provenientes de las observaciones directas (boyas, estaciones oceanográficas y meteorológicas), además, de información proveniente de los proyectos CIMAR fiordos, SUBPESCA, y otros realizados previamente en la Región. Este módulo de observación y adquisición de datos, permite construir la base de datos “final”, la cual será almacenada y transmitida mediante un tercer módulo definido para “Transferencia Tecnológica” (ver detalles en punto 9.5). Este último módulo deberá estar montado sobre un servidor conectado

a la red de internet de uso público, por lo que los usuarios del sistema (previamente registrados), podrán tener acceso completo a la base de datos mediante un portal Web creado especialmente para este propósito, utilizando como referencia la experiencia y conocimiento adquirido en el desarrollo del proyecto POMeO. Adicionalmente, SOOAA tendrá la capacidad de realizar “Acciones Automáticas”, para la actualización permanente de la información, y generar un sistema de “alerta inteligente” que avise oportunamente a los interesados sobre anomalías bio-oceanográficas que se originen en la actividad acuícola y que puedan poner en riesgo al medio ambiente. Estas acciones contemplan avisos tanto a los usuarios interesados, como comunicación M2M (“Machine to Machine”, ver detalles en el punto 9.5) entre las estaciones de monitoreo y los sistemas propios de las concesiones de acuicultura.



**Figura 1. Esquema general de SOOAA.**

De esta forma, SOOAA, a través del monitoreo remoto, permitirá inicialmente dar seguimiento directo y continuo (frecuencia horaria) a las variables oceanográficas de salinidad (conductividad), temperatura, presión (profundidad), corrientes, densidad, fluorescencia, turbidez, nutrientes, oxígeno disuelto, pH y FAN, además de las variables meteorológicas de magnitud y dirección del viento, presión atmosférica, radiación solar, precipitación y temperatura. Cada estación de monitoreo está pensada como un prototipo de conexión, comunicación y almacenamiento independiente del dispositivo de medición utilizado, diseñada para facilitar la incorporación de otros sensores que puedan ser relevantes para tomar decisiones de carácter operativo en el área, y cuya necesidad de ser incorporadas pueda surgir más adelante.

El sistema propuesto está diseñado para captar y transmitir cualquier tipo de señal, ya sean señales ambientales (corrientes, densidad, fluorescencia, turbidez, presión atmosférica, etc.), señales de estados (Entrada/Salida de un lugar), señales eléctricas (voltaje, amperio, potencia), entre otras. Utilizando tecnologías “Open Source” (ver detalles en el punto 9.5), el sistema permite un rápido acceso a la información evaluando un gran número de señales de manera frecuente y simultánea. Estas señales serán procesadas por el módulo de medición de datos, para luego transmitir las vía radiofrecuencia, red celular, satelital o conexión Ethernet (ver detalles en el punto 9.5), permitiendo que el sistema funcione en lugares remotos, y así garantizar la información en cualquier lugar y de manera confiable.

En el módulo de Transferencia Tecnológica, el usuario puede consultar datos específicos de la zona (una o más variables), los que se evalúan en forma automática utilizando la base de

---

datos histórica, para luego informar al usuario sobre la situación actual de la variable consultada. Además, se ofrece un mecanismo de configuración de alerta automática, de tal forma que el interesado podrá configurar la alerta respecto a la variable de interés, permitiendo tomar las acciones correctivas o preventivas que se estime necesarias, como por ejemplo, el usuario podrá establecer en la configuración de alertas, que cuando el nivel de oxígeno disuelto baje cierto umbral en un punto de medición, el sistema automáticamente le envíe una notificación para que pueda tomar la decisión de inyectar o no oxígeno suplementario al agua. Además, el sistema cuenta con un módulo encargado de liberación de la información, el cual, de forma automática, genera informes diarios de los eventos ocurridos durante el día, los que pueden ser enviados vía correo electrónico, facilitando la extracción de la información al momento de tomar una decisión. A su vez, SOOAA debe estar relacionado con el Plan de respuestas que disponga la autoridad responsable, y contempla la realización de módulos “on-line” relacionados con la capacitación sobre el uso de la información, para finalmente evaluar la capacidad de respuesta ante eventos ambientales críticos.

Por otro lado, se consideraron a lo menos dos opciones de instrumentos de medición para cada una de las variables monitoreadas, señalando claramente las ventajas y desventajas de esas opciones. Se incluyeron las opciones para el sistema de comunicación (satelitales, celular) basados en los siguientes criterios:

- Calidad de los dispositivos de medición y comunicación (precisión, exactitud, vida útil, etc.).

- Experiencia nacional e internacional con el uso de ese instrumento.
- Servicio post venta en el país del representante.
- Calibración (requerimientos, periodicidad, disponibilidad).
- Disponibilidad de los equipos.
- Costos (adquisición, instalación, operación y mantenimiento).

Finalmente, se elaboraron los protocolos de instalación, mantención y calibración del instrumental a utilizar, así como la descripción de las restricciones y consideraciones para realizar la instalación, las revisiones periódicas, y la asistencia técnica de las estaciones de monitoreo (e.g. boyas oceanográficas/meteorológicas, “glider”, estaciones costeras, etc.), dedicándole especial atención a los elementos de comunicación de los equipos, para asegurar su continuo y correcto funcionamiento.

**9.3. Proponer la ubicación geográfica más adecuada para la instalación de una red de monitoreo en línea cuyo objetivo es monitorear las agrupaciones de concesiones de salmones.**

En la X Región de Los Lagos, especialmente en sus canales interiores, co-existen varios fenómenos naturales (e.g. puntos de alta productividad (surgencia), estratificación estacional, alta variabilidad en la salinidad (estacional), capa mínima de oxígeno, eventos de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS), oleaje, mareas etc.), que afectan en distinto grado a la productividad y la seguridad ambiental de la zona, por lo que contar con un monitoreo oceanográfico/meteorológico adecuado y oportuno es imprescindible. Los productos y aplicaciones de un Sistema de Observación en esta Región, deben tener como propósito apoyar la toma de decisiones mayormente “preventivas” de los diversos usuarios acuícolas (e.g. acuicultura, pesquería y salud ambiental), lo que requiere contar con mediciones oceanográficas/meteorológicas en sectores altamente representativos, y de fácil acceso para la instalación, mantención y conectividad de las estaciones.

En este caso, para seleccionar la mejor ubicación para la instalación de las estaciones de monitoreo, se utilizó Imágenes Georreferenciadas (IG), como herramienta para la integración de las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC). En este sentido, se desarrolló una metodología apropiada para la Región asociada al del Proyecto, que permitió determinar el emplazamiento óptimo de las estaciones de monitoreo oceanográficas/meteorológicas.

La metodología consistió en determinar las regiones donde existe un mayor aporte a la varianza (contribución de las series a los principales modos de variabilidad), mediante el

---

análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (EOF, por sus siglas en inglés), aplicando a los datos recopilados durante los cruceros oceanográficos de los proyectos CIMAR fiordos, los datos oceanográficos históricos de distintos proyectos de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, y datos de percepción remota (siempre y cuando las condiciones atmosféricas permitieran una buena cobertura del área, baja nubosidad), entre otros. Como resultado se determinaron los principales modos de oscilación en el área de estudio e identificaron aquellas zonas que presentan una mayor variabilidad o una mejor representación de las fluctuaciones del campo total.

El análisis de EOF, al ser aplicado a los campos de las variables más relevantes del monitoreo, previamente consensuadas con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, entrega un criterio estadístico para definir los lugares más apropiados para realizar las mediciones. Este criterio permite, en base a la naturaleza de la variabilidad de los datos recopilados (su distribución espacial y temporal), descomponer el campo de variabilidad (matriz de covarianza) en  $k$  valores y vectores propios (varianza explicada y patrón espacial de la  $k$ -ésima EOF, respectivamente) (Björsonsson y Venegas, 1999; Venegas, 2001; Hannachi, 2004). La contribución de cada serie de tiempo a los primeros modos de las EOF, permiten determinar las zonas más idóneas para instalar las estaciones de monitoreo, optimizando así la captura de la variabilidad del campo y minimizando los costos operacionales, al permitir una distribución estratégica de las estaciones de monitoreo (boyas oceanográficas/meteorológicas, estaciones de muestreo *in situ*, sistemas de anclajes o fondeos de instrumental oceanográfico, etc.).

La distribución espacial de los distintos modos de las EOF, permiten visualizar estratégicamente los lugares de emplazamiento potenciales, que, sumado a las condiciones externas (e.g., cercanía a la concesión, factibilidad de emplazamiento, acceso, conectividad, etc.), proporcionaron los elementos necesarios para decidir el mejor emplazamiento, privilegiando aquella ubicación que se encuentre en la zona de mayor varianza, dentro de cada fiordo.

Esta metodología persigue determinar las necesidades de monitoreo y distribución espacial de las estaciones que se requieren para responder las siguientes 3 preguntas:

- 1.- ¿Cuál es la distribución óptima (cantidad de puntos de observación *versus* aporte efectivo a la variabilidad espacial de los parámetros) de las estaciones de monitoreo, que permita obtener información apropiada y oportuna para el monitoreo permanente de los parámetros oceanográficos y meteorológicos en las agrupaciones de concesiones de salmónidos?

Dentro de este contexto, la distribución de las estaciones meteo-oceanográficas debe facilitar la caracterización del régimen climatológico de las zonas de emplazamiento de las concesiones. Por lo cual, se analizó la distribución espacial de las estaciones, calidad de los datos requeridos, la conectividad y acceso a éstas. Esto permitió determinar la mejor distribución espacial de las estaciones, orientadas a lograr que sean lo suficientemente representativas de un determinado sitio de monitoreo, otorgando garantía de la calidad de los datos que se utilizarán para la toma de decisiones.

2.- ¿Existe la factibilidad para implementar una red de estaciones de monitoreo (Sistema de Observación) oceanográfico-meteorológico en la Región?

Dentro de este contexto, se estima factible utilizar telefonía móvil (e.g. red GPRS), que disponen las compañías de telefonía celular para la transferencia de datos entre elementos de control, medición y actuación instalados o por instalar, ya que cuentan con las debidas seguridades y una tasa de transferencia de datos vía GPRS de 50 kbit/s, velocidad suficiente para el monitoreo que se desea realizar, además de tener un bajo costo de instalación y mantención. La zona de estudio cuenta con cobertura celular. A su vez, la propuesta también considerará la opción de comunicación satelital. Ambas opciones, podrán ser implementadas indistintamente sin mayor cambio dependiendo de las necesidades en terreno.

3.- ¿La red de estaciones de monitoreo propuesta permitirá determinar o prever eventos extremos?

La red de estaciones de monitoreo propuesta, fue diseñada para registrar los eventos oceanográficos/meteorológicos extremos (monitoreo continuo en tiempo real), facilitando el desarrollo de modelos de predicción de amenazas y vulnerabilidad localizada, además de permitir la generación de alertas tempranas.

**9.4. Diseñar un prototipo simple que permita la medición de variables oceanográficas, e instalar dicho prototipo en algún punto geográfico indicado en el punto 9.3.**

El prototipo simple consiste en la confección de una estación de monitoreo que permita la medición de variables oceanográficas y meteorológicas en línea. Este prototipo fue instalado en un punto geográfico escogido en conjunto con la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, para lo cual se determinó un conjunto de especificaciones de propuestas técnicas acerca del diseño, instalación, mantención y operación de esa estación de monitoreo y del repositorio central de datos. El prototipo incluye detalles de la construcción de la estación, con los respectivos sensores para la prueba en terreno. Para esto, se consideró un sistema de adquisición de datos y control, que es el encargado de medir las señales de los sensores a una velocidad de muestreo determinada. Posteriormente, se almacenaron y procesaron los datos obtenidos con un sistema de comunicación adaptado al sector seleccionado para monitorear con el prototipo. El prototipo fue probado en terreno durante dos meses, tiempo en el que se testearon los sistemas de transmisión, recepción y almacenamiento de datos.

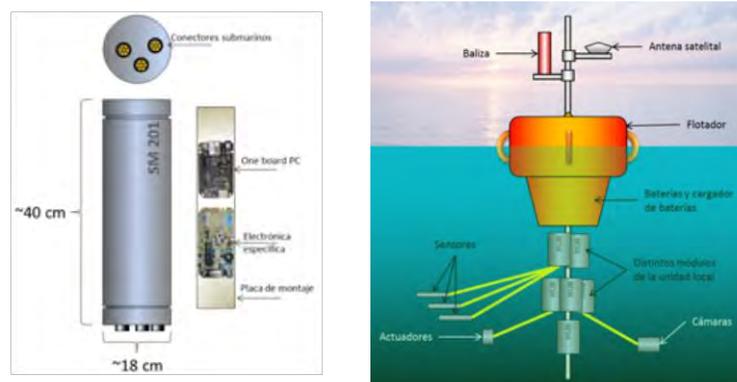
El diseño de estaciones de monitoreo que se propone, soporta la creación de un sistema acorde a las propuestas de las "Smart City" y que es el mismo diseño que se puede aplicar a cualquier tipo de estación (estaciones meteorológicas y/o anclajes). La modularidad que este diseño ofrece, tanto en el hardware como en el software, permite que efectivamente las estaciones de monitoreo puedan adaptarse de acuerdo a las necesidades y cambios tecnológicos de cada momento, asegurando un mayor tiempo de vida de la solución.

La base del sistema ofrecido se fundamenta en el marco del proyecto CORFO de Cooperación Tecnológica 15COTE-46280, que la empresa Zonar S.A. de Viña del Mar está desarrollando como prototipo para monitoreo de variables oceanográficas orientadas a la Piscicultura (Acui-ThAS: Things Applications Server). En el caso de este proyecto CORFO, se desea resolver el problema de detección y actuación automática ante bajas de oxígeno, para lo cual se ha diseñado una red de estaciones con sensores y actuadores, los que permiten transmitir datos, recibir información e implementar la lógica necesaria para activar diversos procesos (e.g. los mecanismos de inyección de oxígeno), que se requieren de acuerdo a valores medidos por los sensores y al resultado de modelos predictivos.

El diseño de las estaciones de monitoreo (hardware y software) propuesto (Figura 2), contempla la realización de un diseño modular, lo que permite efectivamente crear e intercambiar rápidamente módulos de sensores, actuadores (e.g., electro-válvulas), cámaras fotográficas, sistemas de comunicación y almacenamiento. Actualmente, el proyecto de Acui-ThAS, se encuentra en fase de diseño de la solución, el software está ya construido y probado y se está integrando al diseño del hardware y telecomunicaciones.

El diseño modular de la estación de monitoreo tiene un bajo costo relativo, por lo que ofrecerá una alternativa asequible, eficiente y flexible, lo que permitirá evolucionar y modificar las estaciones de monitoreo (e.g. boyas), tanto en su estructura (hardware, nuevos sensores, etc.) como en su comportamiento (agregar inteligencia en las mismas boyas, considerando la forma de medir, posibles actuadores, etc.). Como se ha mencionado, la estación de monitoreo propuesta está conformada en base a módulos interconectados dentro

de una red local. Cada unidad local está compuesta por un micro-computador tipo Raspberry PI 2 o similar que controla un grupo de sensores y actuadores. Gracias a este enfoque, la adición de nuevas funcionalidades de monitoreo y actuación no afectaría a los módulos ya existentes. Todos los módulos locales se diseñaron como “cápsulas” de igual tamaño con el conector disponible para el tipo de cable seleccionado.



**Figura 2. Modelo de estación de monitoreo propuesta y cápsulas para los diferentes módulos.**

- **Diseño Lógico – Software**

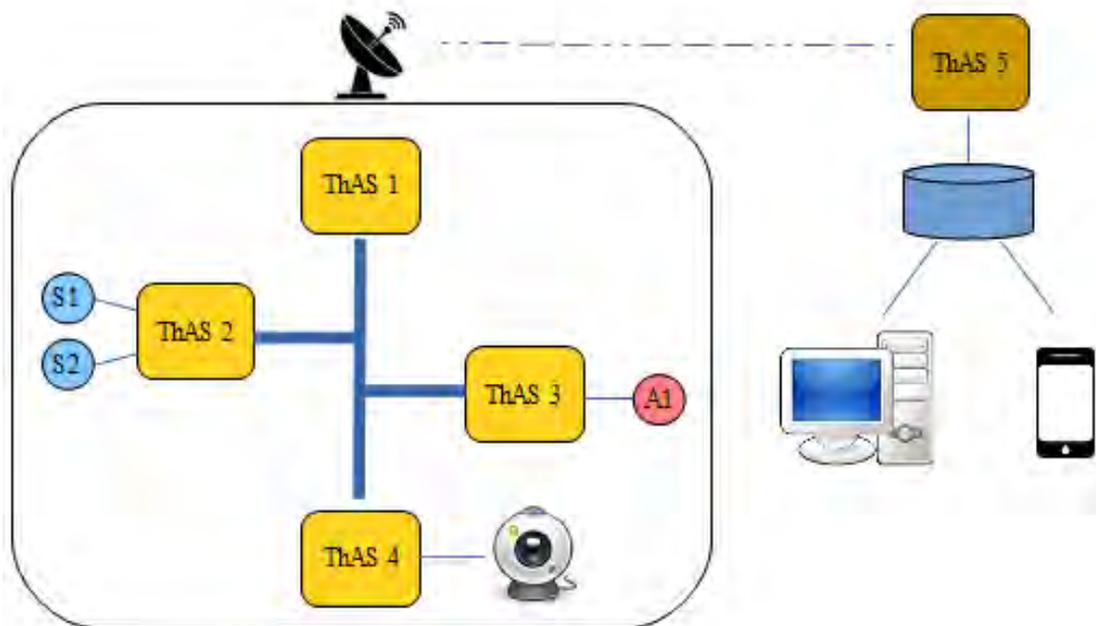
Dentro del Marco del proyecto CORFO 15COTE-46280 Zonar S.A. se ha desarrollado un framework orientado al desarrollo de soluciones del tipo Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), el que la empresa Zonar S.A. coloca a disposición de la PUCV para ser utilizado en este proyecto. La estación denominada ThAS permite agregar la flexibilidad necesaria en los aspectos de comunicaciones, lógica (inteligencia), persistencia de datos, integraciones con otros sistemas y comunicación con los elementos finales de hardware como sensores y actuadores.

ThAS está construido como un servicio en lenguaje Java, lo que lo hace ampliamente portable y disponible para una gran variedad de estaciones. En particular, las estaciones de monitoreo para este proyecto, se componen de varios módulos ThAS intercomunicados en una red local (en cada estación de monitoreo). Cada módulo ThAS se ejecuta dentro de una placa Raspberry PI 2 (micro computador de bajo costo, US\$35, que ejecuta una versión liviana de Linux). Cada módulo ThAS controla uno o más sensores o actuadores.

Mediante el uso de un cable único para datos y energía (como se indicó en la sección del Hardware) cada módulo ThAS (contenido en una cápsula) se integra a la red local de la estación de monitoreo. La Figura 3 muestra una posible configuración de una estación de monitoreo y actuación, basada en ThAS. ThAS funciona bajo la filosofía de encapsular las complejidades en estructuras jerárquicas.

Los módulos ThAS-1 a ThAS-4 de la figura se ejecutan dentro de las cápsulas añadidas a la estación. El módulo 1 es el encargado de las comunicaciones y de recopilar la información de sensores de los módulos inferiores. ThAS-5 se ejecuta en un servidor remoto y se comunica con ThAS-1. Se encarga de recibir los datos de monitoreo, almacenarlos en bases de datos (MongoDB) y disponibilizarlos para consultas desde aplicaciones móviles y otros sitios web. En el ejemplo de la Figura 3, el módulo ThAS-1 recopila el estado de los sensores de toda la estación y los envía periódicamente al servidor (ThAS-5). Por otra parte, ofrece servicios que pueden ser invocados (a través de su conexión satelital o celular a internet) desde ThAS-5. Por ejemplo, las aplicaciones móviles pueden ofrecer la opción de tomar una fotografía (cámara controlada por ThAS-4). El módulo ThAS-5 recibe la petición desde la aplicación

móvil (API de tipo HTTP/Rest) e invoca a un servicio “tomar Fotografía” en ThAS-1. Este último invoca en su red local al servicio “tomar Fotografía” del módulo ThAS-4, el que finalmente captura la imagen y la retorna (archivo binario JPG) al ThAS-1. ThAS-1 envía la imagen al módulo ThAS-5 (vía internet) el que la disponibiliza de vuelta a la aplicación móvil que la solicitó.



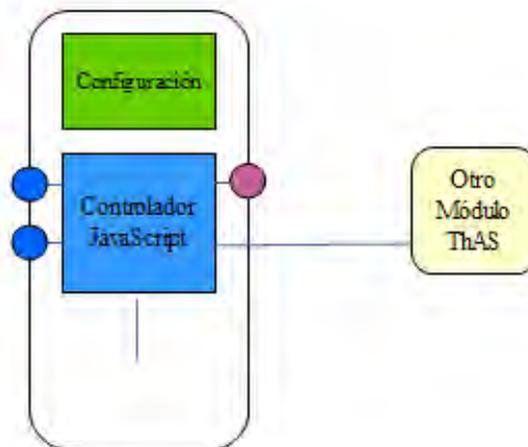
**Figura 3. Diagrama de conectividad en sistema Acui-ThAS.**

De igual forma, los datos provenientes de los sensores pueden ser utilizados en forma local en la estación de monitoreo para la toma de decisiones. Por ejemplo, si el sensor de oxígeno muestra una medida bajo un cierto umbral por un período de tiempo, puede activar una electro-válvula para inyectar aire y, al mismo tiempo, invocar un servicio en ThAS-5 (vía internet) para que el servidor notifique a los usuarios de una aplicación móvil.

Internamente, cada módulo ThAS está diseñado como una aplicación Java, incluyendo un servidor web que permite configurar y monitorear cada módulo por separado e implementar los protocolos de comunicación entre ellos y con los servidores de datos (Bases de datos locales, relacionales y NO-SQL, como MongoDB). La lógica dentro de cada módulo ThAS se programa en lenguaje JavaScript, el que permite leer estados de los sensores, ejecutar acciones en los actuadores y reaccionar ante eventos.

La configuración de cada módulo permitirá indicar cuáles son los sensores y actuadores que tiene conectados (e.g. a los GPIO de una Raspberry PI 2). El Controlador JavaScript permitirá programar la lógica y tendrá acceso a los sensores y actuadores, los que se ofrecen al código del controlador como objetos JavaScript. La estación de monitoreo ThAS ya tendrá programada la comunicación con los sensores y actuadores y permitirá agregar fácilmente nuevos dispositivos. Así mismo, en la estación ya se tendrán implementado los mecanismos de conexión a sensores o actuadores usando protocolos análogos y comunicaciones digitales basadas en UART, SPI, I2C, 1-Wire.

Cada módulo ThAS cuenta con un repositorio local para el almacenamiento de datos. La capacidad de este módulo depende del almacenamiento (tarjeta flash SD) que se utilice en cada uno basado en una Raspberry PI 2. El estado de los sensores que captura un módulo (ThAS-1 en el ejemplo anterior) es almacenado en estas “colecciones locales” y replicado periódicamente al servidor. Esto permite que la estación pueda funcionar y recopilar información durante períodos en los que no cuente con conexión y luego replicar estos datos hacia el servidor.



**Figura 4. Esquema módulo ThAS.**

Si bien, el Proyecto tiene como objetivo el diseño de un prototipo para definir y probar los mecanismos de monitoreo y almacenamiento de la información capturada, se estima que la mejor forma de asegurar el éxito del proyecto final (no sólo el prototipo) es incluir en esta etapa los requerimientos relativos a las formas de disponibilizar esa información. Consideramos en esta etapa, las últimas tendencias en cuanto a las mejores prácticas para compartir la información de la forma más útil a los interesados (Smart-City, IoT, M2M, protocolos abiertos y seguros) de tal forma que las Agrupaciones de Concesiones de Acuicultura obtengan beneficios inmediatos de la información que generan. Al incluir tempranamente los requerimientos acerca de las formas de compartir la información, nos aseguramos que el diseño de la captura y almacenamiento sea capaz de satisfacerlos. Al considerar las últimas tendencias en estas áreas, nos aseguramos que el sistema completo tenga un tiempo de vida útil considerable, maximizando así el beneficio de las inversiones que se requieran.

En el marco de la transferencia tecnológica asociada al proyecto, se contemplan dos áreas:

- Difusión de los resultados y las propuestas técnicas que se proponen como estándares al problema del monitoreo en línea. En esta área se incluye toda la documentación del diseño y estándares propuestos, protocolos de comunicación, diseño del almacenamiento, instructivos de instalación, mantención y operación, entre otros. Se contempla además las capacitaciones necesarias para asegurar el correcto entendimiento de las propuestas, en cuanto a los niveles de integración en un contexto de toma de decisiones automáticas.
- Integración electrónica orientada a las comunicaciones M2M, concepto intercambio de información o comunicación en formato de datos entre dos máquinas remotas. Entendemos que el mayor provecho posible de este tipo de proyectos se obtiene sólo cuando los datos que se adquieren se transforman en información relevante para la toma de decisiones, más aún, si estas decisiones pueden ser tomadas en forma automática. Se considera como parte de este proyecto una propuesta de integración orientada a soluciones tipo “Smart City” que promueva la integración electrónica entre diferentes actores (empresas, estado, academia) posibilitando la toma de decisiones automáticas (en base a alertas en línea, como bajas de oxígeno, aumentos de temperatura, etc.). Se incluye la recopilación, almacenamiento y servicios de consulta automáticos de la información, de la forma tal que, dentro de un ambiente IoT, los diferentes actores interesados (servidores, dispositivos, móviles, etc.) puedan participar de un ecosistema en el cual serán alertados de eventos y podrán consultar información en línea.

En el contexto de desarrollo del prototipo se incluyen los mecanismos de compartir esta información, tanto en un portal web para uso directo por el usuario, como en la forma de consultas y alertas (M2M) para consumo dentro de un ecosistema IoT, en donde otros servidores o dispositivos puedan usar esta información para la toma de decisiones automáticas.

Considerando los objetivos anteriores, la difusión de los resultados del proyecto es fundamental para que las Empresas y agrupaciones puedan integrarse satisfactoriamente al sistema. Gracias a que se considera la integración automática, las Empresas podrán implementar sistemas de reacción automática y toma de decisiones en línea.

De acuerdo a lo anterior, se identifican dos áreas en las cuales la difusión es un elemento crítico en la efectividad final del proyecto (más allá del prototipo funcional, considerando la integración de las agrupaciones de Empresas).

- Difusión para la Integración a la Estación de Monitoreo: Se provee la siguiente documentación:
  - Manuales de diseño de las conexiones de los sensores, incluyendo sus protocolos de comunicación (I2C, One-Wire, Análogos, RS-232, etc.).
  - Instructivo de instalación de la estación de monitoreo (anclaje).
  - Manual de especificación de los protocolos de comunicación para el envío de los datos de las variables (protocolo HTTP(s), Serialización JSON, etc.).

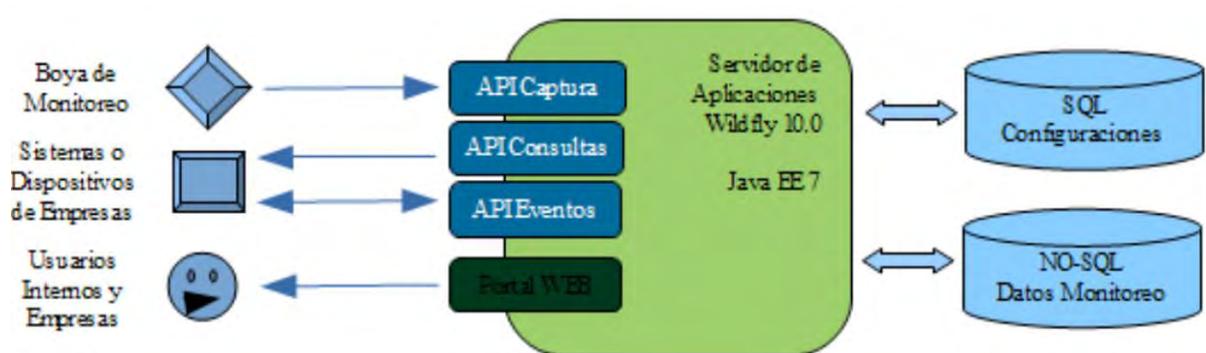
- Instructivo de Operación y Mantenimiento. Se define la periodicidad requerida de envío de los datos, se estandarizan los períodos de mantenimiento y recalibración de sensores y elementos de comunicación. Se incluye el tratamiento de contingencias (períodos sin conexión, servicios de monitores de salud de la plataforma, tipo “ping”).
  
  - Difusión para el Consumo y Consultas de información generada por la Plataforma. Se espera que las Agrupaciones de Concesiones Acuícolas involucradas puedan aprovechar la información que se recopila para mejorar efectivamente su operación y poder responder en forma automática a eventos detectados, incluso por mediciones en otros sectores. Se contempla el desarrollo de un Portal de consulta de información en línea, que incluya información histórica, de acuerdo a privilegios de acceso (que se determinarán durante el desarrollo del proyecto). La información se podrá definir como privada (sólo a la agrupación a la que pertenece la Empresa que consulta y usuarios autorizados), compartida (entre empresas) o pública (a la comunidad). Esto contempla la siguiente documentación:
    - Manuales de usuario del Portal web en donde se publicará la información en línea e histórica, de acuerdo al acceso restringido por privilegios.
    - Manual de integración electrónica a las APIs de consumo de alertas y consultas de información. Las empresas (o incluso la comunidad, si así se define) podrán registrarse como “interesados” en la ocurrencia de eventos, como se explica en el siguiente punto de este documento. Estos manuales
-

definen cómo debe comunicarse un sistema con el servidor que alojará este proyecto, tanto para ser notificado en línea de los eventos (por ejemplo, una baja de oxígeno detectada por alguna estación) o para consultar información a pedido.

- **Difusión de la Información de Monitoreo**

Dentro del contexto tecnológico actual, donde la tendencia es crear ecosistemas de interacción automática entre diferentes servidores o dispositivos conectados a Internet (IoT) como base para el funcionamiento de las Ciudades Inteligentes, se propone disponibilizar la información obtenida desde las estaciones de monitoreo de vuelta hacia las Agrupaciones de Concesiones Acuícolas que las generan (y a la comunidad), para que ellas la puedan utilizar en la mejora de sus procesos productivos y en la toma de decisiones, ya sea en forma manual o automática.

Se desarrolló un software tipo servidor (Figura 5) que aloja un portal web de consulta y administración de la información y los servicios de consultas automáticas (M2M) y alertas (Smart City, IoT). Este servidor está basado en una plataforma Open Source (código abierto), tanto para el Portal web como para el repositorio de base de datos. Se entregó el código



fueron entregados el código fuente y la documentación de todo el software desarrollado para que pueda ser utilizado en la continuación del proyecto, una vez finalizada la etapa de prototipo y mantenido por cualquier desarrollador (por ello se elaborará usando una plataforma estándar, abierta y ampliamente conocida).

**Figura 5. Esquema del diseño preliminar del software del servidor para SOOAA.**

El funcionamiento preliminar del sistema propuesto es el siguiente:

Los administradores del sistema definirán las empresas y/o Agrupaciones de Concesionarios de Acuicultura integradas al sistema. Registran además las estaciones de monitoreo asociadas a cada sector seleccionado y los privilegios de acceso a la información. Estos privilegios permiten restringir el acceso a la información que los usuarios externos podrán consultar.

Toda esta información de configuración del sistema queda almacenada en un servidor de bases de datos relacional. Se propone el uso de PostgreSQL (Open Source).

Las estaciones de monitoreo (e.g. boyas, estaciones de medición, glider, etc.) deben tener conexión final a internet, ya sea satelital o celular. La capacidad de envío de información incluye sólo pequeños paquetes de datos. Periódicamente (período a definir, puede ser desde segundos hasta algunos minutos) cada estación envía al servidor mediante una invocación (un Request HTTP POST) que incluye la identificación de la estación, una contraseña de autorización y el estado de sus sensores (variables monitoreadas por esa estación).

El servidor almacena el estado de los sensores para ese momento del tiempo en colecciones de una base de datos no relacional, especializada en el manejo de grandes volúmenes de información no estructurada (rígidamente no estructurada y sin relaciones entre tablas). Se propone el uso de MongoDB, plataforma Open Source altamente utilizada y probada en este tipo de soluciones.

Utilizando el Portal Web, la información se muestra en forma tabular, como gráficos (series de tiempo) y con posibilidad de ser descargada en formato de planillas electrónicas (archivos CSV).

Utilizando el **interfaz de programación de aplicaciones (API)** de consultas, las Agrupaciones de Concesiones Acuícolas podrán comunicar directamente sus sistemas (o dispositivos en el contexto de IoT) para obtener valores de variables medidas en las estaciones, ya sea en línea o series históricas. Dependiendo de los privilegios asociados,

pueden obtener información de sus estaciones o de otros sectores. Esta API está basada también en solicitudes utilizando (Requests HTTPs), como protocolo de comunicación que permite las transferencias de información en la World Wide Web (www) con argumentos y respuestas serializados como objetos JSON (formato para el intercambio de datos, utilizado para gestionar de forma sencilla y eficaz mucha información en ambiente JAVA), de acuerdo a las tendencias actuales y estándares abiertos para comunicaciones M2M.

De tal forma que el API de Consultas es de tipo Pull-Request, es decir, el sistema cliente iniciará una invocación cuando él lo desea. A diferencia de lo anterior (y dentro del contexto de Smart City) se propone el desarrollo de un API de tipo Push, en donde el servidor informa a los sistemas de las Empresas acerca de la ocurrencia de “eventos” que puedan ser de su interés. Usando el Portal Web, los usuarios de las empresas pueden identificar sus eventos de interés (por ejemplo, oxígeno medio de los últimos 30 minutos en una o más estaciones es menor que un cierto umbral) y registrar una dirección URL en donde desean recibir la notificación del evento (callback como un Request HTTP / POST desde el servidor hacia los sistemas o dispositivos de las empresas).

En resumen, el diseño incluye aspectos tales como desarrollo de ingeniería básica y de detalle en lógica y procesos (datalogger, sensores, programación), el desarrollo de ingeniería básica y de detalle en comunicaciones (emisor, receptor, software, servidor dedicado), el desarrollo de ingeniería básica y de detalle eléctrica y electrónica (power, paneles solares, baterías, controladores), la selección de partes y componentes a comprar e importar, el diseño

y la modelación del anclaje, el montaje, requerimientos logísticos de instalación y retiro, mantenciones, operación y monitoreo.

### **9.5. Diseñar e implementar un sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos obtenidos del sistema de monitoreo en línea.**

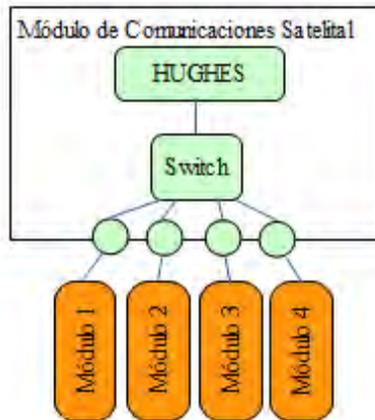
El diseño de la estación de monitoreo propuesta para SOOAA, se basa en una estructura modular de las estaciones colectoras de datos, donde cada módulo se implementa dentro de un compartimento hermético tipo cápsula interconectado al resto a través de un cable único de datos y energía. Uno de estos módulos será el encargado de las comunicaciones y su responsabilidad será proveer acceso a internet desde la red local que conforma el resto de los módulos.

Al igual que el resto de los módulos, el módulo de comunicaciones es intercambiable, sin afectar al resto de los elementos de la estación. Esto significa que es posible dependiendo de las necesidades conectar un módulo de telefonía móvil, LPWA (Low Power Wide Area, Comunicaciones de bajo consumo y amplia cobertura) o uno de comunicación satelital. En particular, para el proyecto Acui-ThAS referenciado (CORFO, 15COTE-46280) se ha adquirido y probado un router-antena satelital modelo Hughes 9450-C11. (Figura 6)



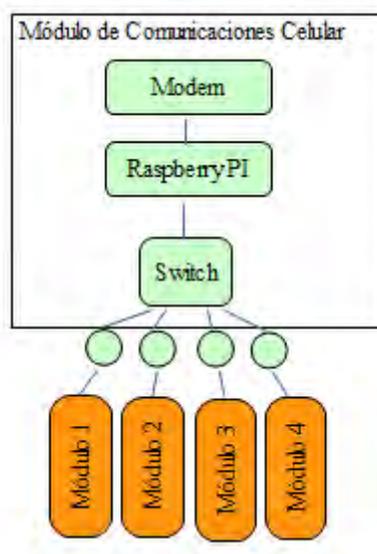
**Figura 6. Antena satelital. Modelo Hughes 9450-C11. Utilizada en proyecto Acui-ThAS (CORFO, 15COTE-46280)**

El producto probado incluye un router que permite compartir la conexión a internet dentro de la red local. Conectado directamente al router se agrega un switch Ethernet (Figura 7), el que permite distribuir la conexión al resto de los módulos.



**Figura 7. Esquema de conexión entre los diferentes módulos y el módulo de conexión satelital.**

Cada módulo está basado en un micro-computador tipo Raspberry PI 2 controlando un grupo de sensores y actuadores. El producto (Hughes 9450-C11) utilizado en el proyecto Acui-ThAS tiene un costo de US\$10.000 e incluye 390 MB de transferencia, lo que es suficiente para la prueba de dos meses, sin embargo, de acuerdo al carácter y presupuesto de este proyecto, se propone la utilización de una comunicación celular o del tipo LPWA (Figura 8), de costo considerable menor que la satelital. Como antes se mencionó, la modularidad de la solución propuesta permite intercambiar este módulo (de comunicaciones) en forma transparente al resto de los módulos de la estación.



**Figura 8. Esquema de conexión entre los diferentes módulos y el módulo de conexión celular.**

Utilizando un módem estándar (e.g. USB 3G), el módulo de comunicaciones celulares se conecta a internet y comparte la conexión al resto de la red local. En este caso, se utiliza una Raspberry PI para actuar como router, compartiendo la conexión a través de un switch ethernet.

La tecnología implementada por Acui-ThAS, podrá ser replicada fácilmente, por lo tanto, se propone implementar un prototipo utilizando la tecnología satelital y otro con tecnología para celulares (donde exista cobertura celular), comunicándose a través de Ethernet a una interfaz de prueba, ubicada en los servidores de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Tal como se ha mencionado, de no ser viable, la conectividad celular, aparte de la tecnología satelital, también es posible adaptar un módulo de comunicaciones LPWA, propio del internet de las Cosas (IoT)

El servidor se encarga de recibir los datos desde las estaciones, almacenar los valores monitoreados en un repositorio histórico, implementar los algoritmos de los modelos predictivos de alertas y ofrecer los servicios de consulta y alertas hacia los usuarios finales (a través de un Portal Web y aplicaciones móviles) o a los dispositivos que los usuarios deseen conectar para implementar acciones automáticas como respuestas a eventos.

Como parte de este proyecto se definieron los protocolos de comunicación entre las estaciones de monitoreo y el servidor, y entre los dispositivos / sistemas de los usuarios y el servidor, tanto para consultas automáticas como para recibir eventos y alertas en sus propios dispositivos actuadores. Estos protocolos están basados en estándares abiertos y modernos. Inicialmente se propone basarlos en APIs tipo Rest (HTTPS / JSON) que son las más simples, seguras, y utilizadas en la actualidad.

Usando el mismo portal web de consulta, los usuarios finales (autorizados) pueden configurar su cuenta de tal forma de registrarse para recibir notificaciones para sus eventos de interés. Podrán definir el tipo de notificación (e.g. envío de SMS a celulares, alertas automáticas a sus dispositivos, email) y las condiciones de activación de esos eventos (e.g. temperatura mayor que un cierto umbral en un punto de medición).

Para efectos del prototipo de este Proyecto, se diseñó y construyó el software del servidor, el que incluye las funcionalidades de captura desde las estaciones, el repositorio de datos, el sistema de alertas y el portal de consultas y configuraciones. No se incluyen aplicaciones móviles, sin embargo, éstas usarían los mismos servicios disponibles para el portal, por lo que su posterior diseño y construcción se simplifica (se diseñará en base a una Arquitectura Orientada a Servicios, lo que simplifica la integración entre sistemas).

El repositorio de datos está basado en un servidor (Open Source) MongoDB. Se debe considerar que el equipo propuesto para este proyecto cuenta con la experiencia necesaria para sistemas de registro y consultas georreferenciadas de información oceanográfica y meteorológica con requerimientos muy superiores a los de este proyecto; en particular, actualmente se está en las etapas finales del desarrollo del portal POMeO (Proyecto CORFO Bienes Públicos) que implementa funcionalidades similares de consultas sobre información de estaciones de medición, datos satelitales y de modelos.

**9.6. Elaborar un protocolo de instalación, mantención y calibración del sistema de monitoreo propuesto, así como también evaluar los distintos escenarios desde el punto de vista administrativo y operativo de los sistemas, incluyendo la valorización económica.**

Se propone elaborar un protocolo de instalación, mantención y calibración de la red de estaciones de monitoreo que considere aspectos tales como condiciones de emplazamiento, unidades de medida, variables a monitorear, requerimientos operacionales, rangos, exactitud etc. El protocolo describe las restricciones y consideraciones para realizar la instalación y revisiones periódicas y asistencia técnica de las estaciones de monitoreo, comprobando mediante la realización de pruebas y verificaciones, el estado de funcionamiento de las estaciones y los elementos que las componen. Dedicándole especial atención a los elementos de comunicación de los equipos, para asegurar su continuo y correcto funcionamiento en circunstancias normales, a fin de mantener una permanente conexión.

El protocolo considera determinar los elementos necesarios para describir la climatología en las estaciones de monitoreo en las que se midan los parámetros considerados, así como los instrumentos y su emplazamiento. Además, contiene criterios para el emplazamiento de las estaciones de monitoreo oceanográfico y meteorológico, y las consideraciones para evitar la pérdida de información por errores de instrumental, transformándose en un documento necesario para asegurar el trabajo de instalación, mantención y calibración del sistema de monitoreo, permitiendo reducir costos, al aumentar la eficiencia general y el uso adecuado de los equipos y asegurar la calidad del dato.

Debido a su desgaste natural, los sensores pierden su precisión. Factores ambientales como el polvo, suciedad y humedad pueden afectar negativamente la precisión de un sensor. Esto se llama deriva. Estos sensores probablemente no leerán con certeza un determinado parámetro, pudiendo presentar errores de lectura real. Debido a lo anterior, se propone un protocolo de calibración que garantice plenamente que los sensores midan dentro de ciertos estándares mínimos requeridos.

Por otro lado, para poder llevar a cabo su trabajo de forma eficiente, SOOAA deberá contar, primeramente, con una estructura de Administración sólida y consolidada, que cumpla con estándares de calidad y que sea factible de implementar. Es por esto que se presentan dos modelos de administración. Estos modelos, nacen a partir de las reuniones realizadas en conjunto con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y consideran criterios económicos, legales y territoriales. La elección final del sistema de administración a utilizar será realizada por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

**9.7. Elaborar una propuesta de los diferentes elementos técnicos que deberían ser regulados para la implementación y funcionamiento de un sistema de monitoreo en línea.**

La responsabilidad del Sistema de Observación (SOOAA), es proveer de forma permanente información en línea e histórica del estado de un conjunto de variables oceanográficas y meteorológicas, dentro de los límites definidos como su área de alcance (región monitoreada). El Sistema de Observación, debe, además, ser capaz de disparar alertas oportunas ante eventos/anomalías ambientales, configurables en torno a los valores característicos de cada variable para el sector monitoreado (e.g. rango de temperatura, oxígeno disuelto).

Para el buen funcionamiento de SOOAA fue necesario definir y regular una serie de elementos técnicos. Estos elementos corresponden básicamente al contexto lógico del Sistema de Observación necesario en la X Región, y se dividen en 4 puntos:

1. Aseguramiento de calidad
2. Monitoreo
3. Análisis de información
4. Difusión

El éxito del Proyecto dependerá de la calidad de la información monitoreada que se entregue a los usuarios finales. La calidad de esta información a su vez se puede expresar en términos de su exactitud, de su temporalidad y de su disponibilidad. En particular, estamos proponiendo un sistema de alertas tempranas, basado en datos monitoreados en línea y en

modelos predictivos, por lo que la disponibilidad de esta información (en base a consultas o alertas) es muy relevante.

Otro factor importante para el éxito del Proyecto es la facilidad de integración de los actores al sistema. Los actores en este caso serán las estaciones de monitoreo, y los usuarios finales que consumen la información (en forma de alertas o consultas). Los protocolos de comunicación definidos son simples y estándares, de tal forma que la integración de nuevos actores se simplifique. En particular, se debe soportar naturalmente la integración de nuevos puntos de medición (nuevas estaciones), nuevas variables (nuevos tipos de sensores) y nuevos usuarios consumidores de la información (consultas a través del portal, consultas automáticas desde otros sistemas – M2M y nuevos dispositivos recibiendo alertas automáticas).

A modo de ejemplo se detallan algunos elementos que, en forma preliminar, se estima deben ser regulados y estandarizados como resultado de este proyecto. Se destaca que esta propuesta es preliminar y podrían agregarse nuevos elementos que se considere necesario regular.

- Calidad de la Información

- Por Exactitud

Se definieron los estándares de calidad de los sensores; en particular su precisión, tiempo de vida útil, mecanismos y disponibilidad de calibración, soporte post-venta, etc.

Se propone crear un esquema de certificación de los sensores “autorizados” dentro de la estación, para lo cual se determinarán durante el proyecto, mecanismos de “certificación”.

Se definieron tiempos de mantención, calibración y reemplazo de los sensores.

Fue necesario establecer mecanismos de pruebas de varianza dentro de la misma estación. La misma estación deberá proveer métodos de alerta si la diferencia entre sensores de puntos relativamente cercanos es muy alta.

- Por Temporalidad

Se definió por cada variable que se mida (cada tipo de sensor) el período de captura y transmisión de esos datos hacia el servidor. Por ejemplo, la temperatura se medirá en cada punto en períodos de 15 segundos y se enviará la media al servidor una vez por minuto.

- Por Disponibilidad

Se definió una forma de operación en modo de contingencias para las estaciones de monitoreo. Cuando los sitios de monitoreo no cuenten con conexión a internet, las estaciones de monitoreo deben ser capaces de almacenar información en repositorios locales y luego transmitirla al servidor al recuperar la conexión. Se definirá el tiempo máximo que deben soportar estas estaciones en modo contingencia.

Se definieron los requerimientos de tolerancia a fallos en el servidor que provee los servicios de consultas y alertas. Se formalizó la definición de un sitio de contingencia (servidor de aplicaciones y servidor de base de datos) replicado en línea que pueda operar en forma

automática al producirse un fallo en el servidor central. Este sitio de contingencia deberá estar físicamente separado del servidor central.

Se estableció un mecanismo de “auto-cuidado” de la estación de monitoreo.

Se definió un protocolo en el que el mismo sistema alerte (a los administradores) cuando alguna estación de monitoreo ha dejado de transmitir información por algún período determinado de tiempo, para que se tomen las medidas necesarias.

El sistema de alertas automáticas para dispositivos requerirá que los usuarios registren un servicio de invocación de vuelta (call-back) que la estación de monitoreo invocará al producirse un evento de interés para ese usuario. Dentro del protocolo (API) de comunicación del sistema de alertas, se incluirán operaciones tipo “ping”, las que permitirán a la estación saber que el dispositivo que “escucha” las alertas está disponible. Si la estación detecta que el dispositivo no está conectado (no hay respuesta a la invocación de la operación “ping”) se notificará mediante correo electrónico a los usuarios encargados que hayan registrado ese dispositivo para las alertas.

- Integración a las Estaciones de monitoreo

- Boyas y Estaciones fijas

Se definió el API de comunicación entre las estaciones y boyas con el servidor. Esta API está basada en estándares abiertos, seguros, simples y modernos (Operaciones Rest sobre HTTPS / JSON). Los servicios disponibles incluyen el envío de los valores de las variables medidas,

los mecanismos de recuperación ante contingencias y los mecanismos de autenticación (contraseñas) entre los puntos de captura y el servidor.

Cada punto de monitoreo (boya / estación) tendrá asignado una contraseña y un identificador único al que se le asociará (B.D. de configuración en el servidor) sus coordenadas (latitud, longitud) y el conjunto de variables que se capturan en ese punto, por lo que fue necesario definir estos mecanismos de identificación.

Se podrán agregar nuevas variables a la estación de monitoreo en forma dinámica. La tecnología de sensores avanza rápidamente, lo que resulta en la aparición de nuevos tipos de sensores y mejoras a los ya existentes. Esto podría resultar en que se desee agregar nuevas variables de interés al conjunto de las ya monitoreadas. La definición de las variables en el sistema será dinámica, lo que significa que no se requerirá modificar el código del software del servidor ni la estructura de la base de datos (manualmente) para agregar estas nuevas variables. Esto se implementa manejando la metadata (datos sobre los datos, en particular la definición de las variables monitoreadas) en una base de datos que “sepa” cuáles son las variables soportadas y creando dinámicamente las colecciones (tablas) para capturar los valores medidos en el servidor de datos MongoDB (NO-SQL). Cabe destacar que este mecanismo de administración dinámica de las variables monitoreadas ya ha sido implementado con éxito por el mismo equipo propuesto en el marco del proyecto POMeO (CORFO Bienes Públicos). Se definió y documentó el mecanismo (proceso) requerido para agregar nuevas variables. Este mecanismo será automático, por lo que se indica el proceso a

seguir dentro de las configuraciones del sistema (usuarios administradores) para crear estas nuevas variables y asociarlas a los puntos de medición.

- Sistema de Consultas

Se documenta el API que el servidor publica para consultas automáticas. Los sistemas de información de los usuarios podrán (previa autenticación) hacer consultas en línea al servidor sobre valores en línea o históricos de las variables monitoreadas. Se creó la documentación necesaria para que los usuarios finales puedan conectar sus sistemas a la plataforma para obtener esta información.

- Sistema de Alertas y Eventos

Dentro del contexto de las Ciudades Inteligentes, se promueve la interacción automática entre sistemas y dispositivos. En particular, el disparo de notificaciones automáticas para ser consumidas por dispositivos (u otros servidores) al momento de ocurrir ciertos eventos de interés. Los usuarios autorizados pueden registrar y configurar sus “eventos de interés” para ser notificados automáticamente. Primero deben usar el portal web para registrar estos eventos (se proveerá la documentación necesaria), y luego deben implementar las API de las llamadas de vuelta (call-backs) que serán invocadas en el momento en que la plataforma detecta que ocurren estos eventos. Se estandarizaron y documentaron las APIs de tal forma que los usuarios puedan crear fácilmente sus sistemas de reacción automática ante esos eventos.

Por otro lado, se definen los requerimientos del análisis de información, considerando las características específicas que deben tenerlas instalaciones/laboratorios de calibración, las capacidades necesarias en el personal a cargo, entre otros.

## **10. RESULTADOS POR OBJETIVO**

### **10.1. Realizar una recopilación de la información disponible, tanto nacional como internacional, sobre sistemas de monitoreo continuo y en línea de las variables señaladas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes, analizando ventajas y desventajas de las metodologías e instrumental descritos.**

Los sistemas de monitoreo oceanográficos y/o meteorológicos surgen bajo la necesidad de mejorar la comprensión de los diversos ecosistemas y el clima, así como también, para conocer el efecto antropogénico y la vulnerabilidad del ambiente a éstos, permitiendo resguardar el desarrollo económico sustentable, la alimentación de los pueblos, la protección del medio ambiente, y la adaptación y mitigación a la variabilidad ambiental y el cambio climático. Para este propósito ha sido imprescindible el desarrollo tecnológico y la cooperación internacional.

A escala global, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (COI), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), entre otros, patrocinan una serie de sistemas de observación, entre ellos el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (GOOS), a través del cual se ha formulado un Marco de trabajo con el objetivo de generar un sistema mundial de observación de los océanos. Así mismo, existen diversas comisiones y organismos encargados de resolver los diferentes requerimientos que permitan implementar un sistema completo de observación global <sup>(1)</sup>. A escala regional y nacional, diversos organismos (meteorológicos, oceanográficos, espaciales, de pesca/acuicultura, de

financiamiento de la investigación), las instituciones de investigación marina, los proveedores de servicios relacionados con los océanos y las alianzas regionales, son los encargados de mantener y administrar los sistemas de observación e información oceánica.

La OMM, como parte de su trabajo de normalizar/estandarizar las observaciones meteorológicas, ha elaborado un “Reglamento Técnico”, en el cual se establecen los métodos y procedimientos meteorológicos que los países Miembros de la Organización deben aplicar. Así mismo, en el documento se exponen los diversos requerimientos y protocolos para los diferentes tipos de sistemas de observación que se pueden utilizar en el monitoreo de variables meteorológicas (Figura 9). El Reglamento Técnico incluye manuales y guías para facilitar la creación de servicios meteorológicos en cada país, y están diseñados para ser aplicados a diferentes escalas y tipos de sistemas de monitoreo.

Uno de los principales programas de la OMM es la VMM (Vigilancia Meteorológica Mundial); establecido en 1963, este programa combina los distintos sistemas de observación, instalaciones de telecomunicaciones, procesamiento de datos y centros de predicción.

---

(1) La Comisión Técnica Mixta OMM-COI de Oceanografía y Meteorología Marina (JCOMM) y sus redes mundiales de observación coordinan las observaciones, las normas, el sistema de datos y el desarrollo de servicios para gran parte del sistema de observación física y del carbono del océano. El Comité Científico de Investigaciones Oceánicas (SCOR) del ICSU coordina la investigación internacional de los océanos que tiene y desarrolla técnicas y redes de observación. El Comité Científico de la Investigación Antártica (SCAR) facilita y coordina la investigación en el Antártico y el Océano Austral. La Alianza para la Observación de los Océanos Globales (POGO) aboga por sistemas integrados de observación de océanos globales y ayuda a construir la capacidad para hacerlos realidad. El Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM) se ha comprometido a fortalecer el papel de la investigación científica sobre los ecosistemas marinos como base para un asesoramiento imparcial, sólido, fiable y creíble, en beneficio de la ordenación y conservación de los ecosistemas marinos y recursos marinos vivos. La Organización de Ciencias Marinas del Pacífico Norte (PICES) coordina la investigación científica y observaciones sobre el medio marino en el Pacífico Norte y sus mares marginales. El Censo de Vida Marina (CoML) es una red global para evaluar y explicar la diversidad, distribución y abundancia de vida en los océanos. El Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) y sus proyectos marinos promueven el desarrollo de técnicas de observación de los océanos y proporcionan resultados de investigación que se convertirán en una parte cada vez mayor de un sistema mundial integrado de observación de los océanos.

Trabaja en conjunto con varios programas de apoyos y comisiones técnicas internacionales, facilitando la información meteorológica necesaria para permitir un servicio eficiente en todos los países.



**Figura 9. Ilustración de algunos de los sistemas de observación utilizados en el mundo para el monitoreo de variables meteorológicas, climáticas, hidrológicas y medioambientales conexas.**  
Fuente: ([https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/Principal\\_Docs/WIGOS\\_flyer\\_es.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/Principal_Docs/WIGOS_flyer_es.pdf)).

Con el propósito de mejorar y lograr una evolución ordenada de los diversos sistemas mundiales de observación actuales de la OMM, se desarrolló un enfoque integral, que une al Sistema Mundial de Observación (SMO), la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) y el Sistema Mundial de Observación del Ciclo Hidrológico (WHYCOS) creando así, a WIGOS; un sistema integrado, global y coordinado.

Uno de los principales objetivos de WIGOS es proporcionar observaciones precisas, fiables, (sometidas a procesos de aseguramiento y control de calidad), oportunas y adecuadamente documentadas. Para esto, WIGOS se centra en la elaboración y aplicación de un marco global que mejore la gobernanza y la gestión, donde la integración eficaz y la optimización de los actuales sistemas de observación, establecen las bases de un Sistema basado en la existencia de subsistemas de observación, al mismo tiempo que establece las bases para la integración de tecnologías de observación emergentes.

Bajo el mismo propósito de evolución de los sistemas de observación, y debido a los requerimientos multidisciplinarios de las observaciones del océano y la atmósfera, la OMM reunió esfuerzos con la COI, creando la Comisión Técnica Mixta sobre la Oceanografía y la Meteorología Marina: JCOMM<sup>(2)</sup>. Algunos de los programas<sup>(3)</sup> pertenecientes a ésta

---

(2) JCOMM: Esta Comisión Técnica Mixta es un órgano intergubernamental para la coordinación internacional de observación oceanográfica y meteorológica marina, la gestión de datos y servicios, y combina las capacidades de conocimientos técnicos, tecnologías, experiencias y desarrollo de capacidades de las comunidades oceanográficas y meteorológicas. La creación de la JCOMM, resulta de un reconocimiento general de que las mejoras en todo el mundo, en la coordinación y la eficiencia, se pueden lograr mediante la combinación de las capacidades interdisciplinarias. La JCOMM coordina, desarrolla y recomienda normas y procedimientos para un sistema de observación, gestión y servicios de datos marinos totalmente integrado, y tiene como objetivo maximizar los beneficios para sus Estados miembros mediante proyectos, programas y actividades.

(3) El Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), la Comisión de Sistemas Básicos (CSB), el Comité Internacional de Datos e Intercambio de Información (IODE) y El Sistema de Observación del Océano Global (GOOS).

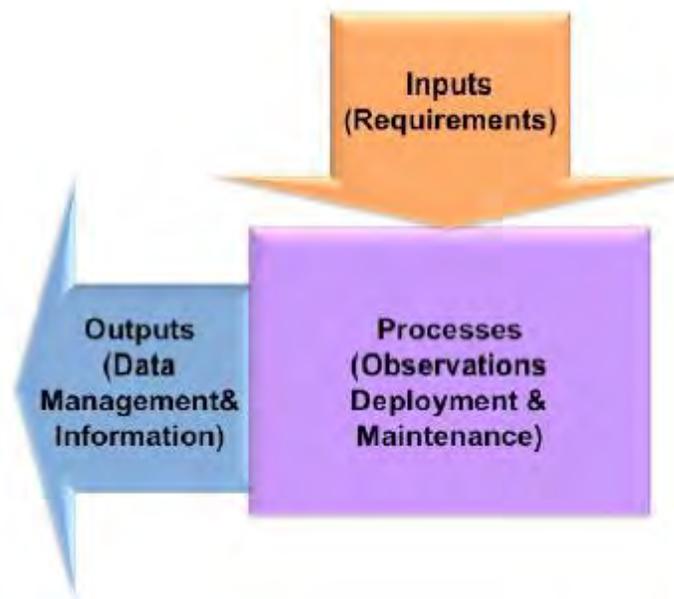
trabajan en conjunto con otros sistemas operativos y de apoyo al Marco global para coordinar el mantenimiento y mejoras a largo plazo de un sistema a escala mundial que integre la observación y gestión de datos meteorológicos y oceanográficos.

De igual forma, impulsado por la necesidad de implementar un sistema integrado de observación del océano, se creó el **Marco para la Observación de los Océanos** (UNESCO, 2012), a cargo del Sistema de Observación del Océano Global (GOOS). Este programa utiliza una aproximación sistémica, y está diseñado para ser flexible y adaptarse a la evolución de las necesidades científicas, tecnológicas y sociales.

El Marco para la Observación de los Océanos, es una guía que expone los requisitos basados en la ciencia como resultado de los problemas sociales, identificando el despliegue de las observaciones y el mantenimiento necesario para la producción de herramientas relevantes que aborden las distintas problemáticas socio-ambientales. En este sentido, se requiere de un enfoque multidisciplinario de observación, debido a que la mayor parte de los desafíos que debe enfrentar el mundo son por naturaleza, multidisciplinarios. Debido a la limitada disponibilidad de recursos para desarrollar un sistema de observación multidisciplinario, se requiere de una fuerte cooperación de todos los organismos interesados. El Marco fue definido sobre una serie de procesos para la organización, comunicación, mejores prácticas y desarrollo de sistemas pensados para fomentar interfaces mejoradas, sin intentar reemplazar los sistemas existentes, sino que proveer un mecanismo para reunirlos.

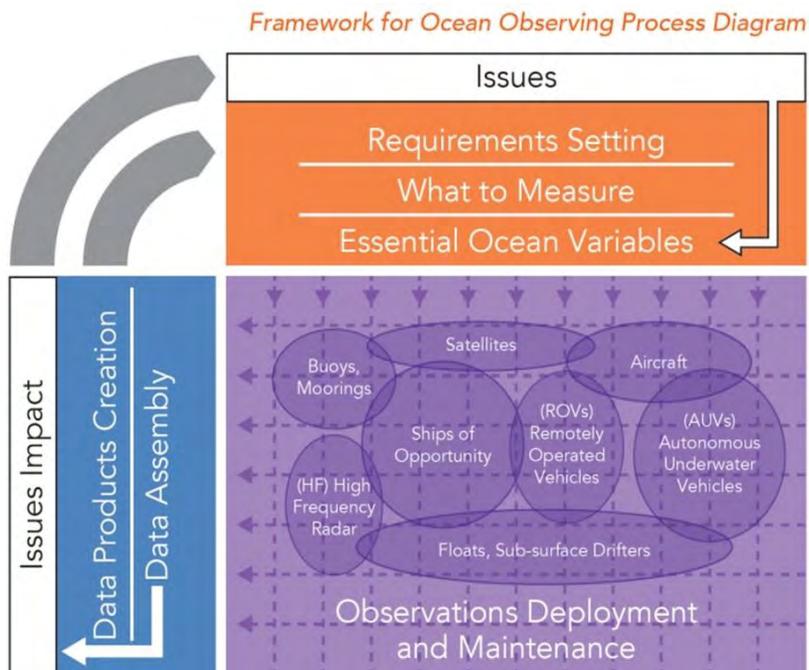
El Marco se puede dividir/resumir en tres simples pasos para explicar su funcionamiento: 1) entrada (o requerimientos), 2) procesos (observación, despliegue y mantención), y 3)

salidas(datos, administración e información) (Figura 10).Para que el sistema sea eficiente, las entradas (requerimientos) del sistema deben estar bien descritas en términos de la información ambiental o ecosistémica necesaria para abordar cada problemática científica y/o social (pueden incluir estudios a corto o largo plazo). Por su parte, los procesos, corresponden a las tecnologías y redes utilizadas para recopilar los datos con los que se abordará la entrada (requerimientos). Finalmente, las salidas, corresponden a los datos y productos (e.g. figuras, mapas, tablas), las que deben proporcionar una buena síntesis de lo observado para resolver la problemática y/o tomar las decisiones pertinentes.



**Figura 10. Esquema simplificado de un sistema básico de observación. En la comunidad de observación del océano muchos han alineado en forma natural sus actividades de acuerdo a este principio de organización y coordinación. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO.**

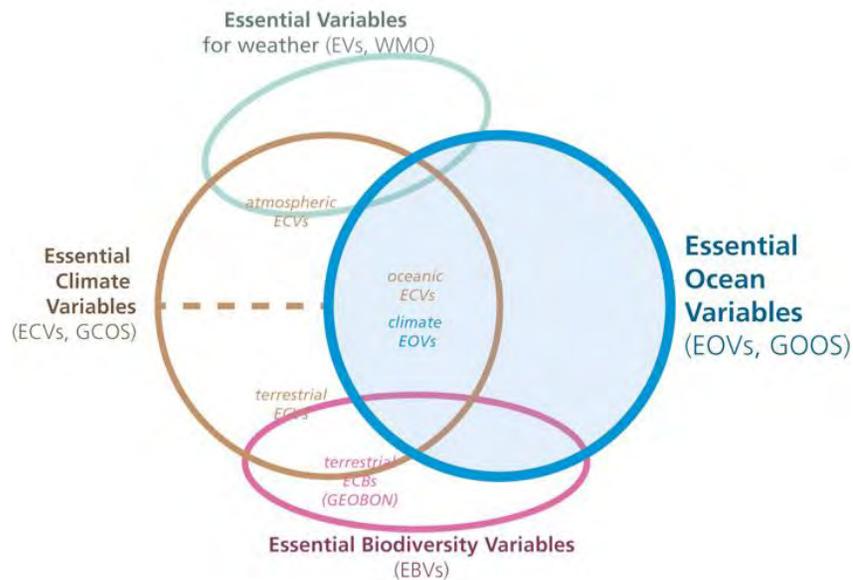
Por otro lado, para lograr mantener un sistema de observación óptimo para el propósito que sea diseñado, las salidas del sistema deben estar adecuadamente dirigidas a resolver las problemáticas (requerimientos iniciales), y deben tener una continua retroalimentación de evaluación.



**Figura 11. Diagrama general del Marco de Observación de los Océanos de GOOS. Fuente: [http://www.goocean.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=125&Itemid=113](http://www.goocean.org/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=113).**

Es importante mencionar que, para el eficiente funcionamiento de un Sistema de Observación, los procesos de observación/registros, despliegue y mantención, deben estar compuestos por diferentes tipos de tecnologías y redes. En la Figura 11, se presentan las diferentes tecnologías actualmente disponibles para la observación de los océanos. Estas tecnologías están dirigidas a la captura de información de las Variables Oceánicas Esenciales

(EOV's, por su sigla en inglés) previamente definidas por la comunidad científica, y su trabajo en conjunto, permiten una adecuada captura de datos para la generación de productos que respondan a los requerimientos iniciales.



**Figura 12. Superposición conceptual de las Variables Climáticas Esenciales (ECVs) en un diagrama de Venn. Las variables esenciales (EVs) definidas por la OMM para la predicción meteorológica inspiraron las variables climáticas esenciales definidas posteriormente por el SMOC. El concepto ha sido adoptado para definir las Variables Esenciales de Biodiversidad (EBVs) en tierra por GEOBON. El Marco de Observación de los Océanos de GOOS definió las Variables Oceánicas Esenciales (EOVs) para los océanos. La superposición entre estos grupos justifica la necesidad de adoptar un enfoque multidisciplinario coherente. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO.**

Para implementar un completo Sistema de Observación del océano (o ambiente acuático), éste debe ser capaz de registrar todas las EOVS, e interactuar (enfoque multidisciplinario) con otras Variables Esenciales, las cuales han sido previamente definidas por la Comunidad Global de Observación del Clima, tras reunirse en torno a las Variables

Climáticas Esenciales (ECV's, por su sigla en inglés), permitiendo además, romper con las barreras entre las diferentes organizaciones (Figura 12). De esta forma, bajo el Marco de Referencia, un "objeto de observación" será definido como: cualquier sistema de detección de características específicas que cumpla los requisitos acordados, que cuente con amplio apoyo científico y que se adhiera a los estándares mundiales para el intercambio de datos.

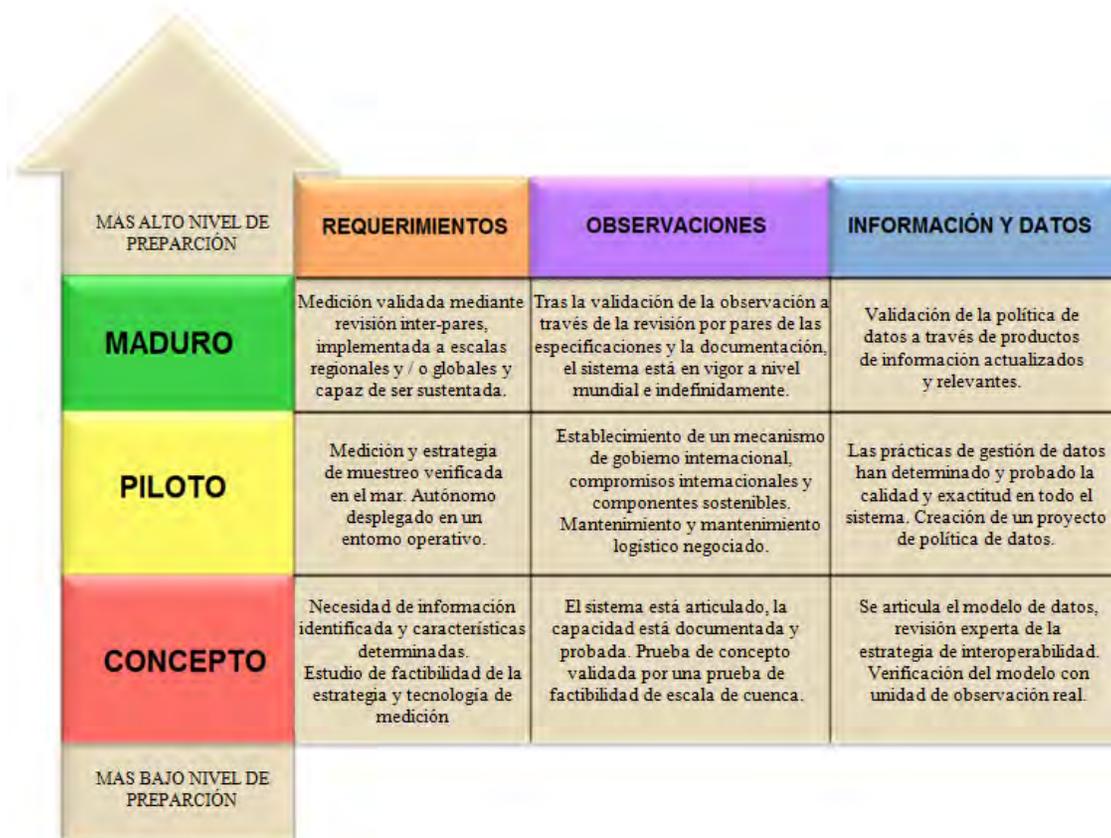
Para cumplir con lo dispuesto por el Marco de Referencia, el "objeto de observación" debe cumplir con una serie de pasos clasificados bajo diferentes "niveles de maduración". Estos niveles se muestran en la Figura 13 y Tabla 1, y están divididos en tres etapas: 1) Concepto, 2) Piloto, y 3) Maduro. En términos generales, durante la etapa "Concepto", se articulan las ideas/problemáticas asociadas al objeto de observación, y se revisan por parte. Durante la etapa "Piloto", los aspectos del sistema se prueban y se preparan para una implementación a gran escala. Finalmente, en la etapa "Maduro", el objeto de observación se convierte en una parte sostenida del Sistema Mundial de Observación del Océano (Figura 13).

A través de la metodología de Etapas (propuesta por el Marco de Referencia de Observación del Océano), se obtiene una dirección concreta para la organización del enfoque en la comunidad oceánica que permite justificar, planificar y financiar las observaciones y análisis a escala global, al mismo tiempo que optimiza el esfuerzo de las organizaciones locales y regionales (e.g. métodos de muestreo y sus costos asociados).

En lo que respecta a este Proyecto, el Marco de Referencia nos servirá como guía para poder reconocer y definir los diferentes requerimientos para la implementación de un Sistema de Observación del Océano de Apoyo a la Acuicultura (SOOAA) en la X Región Los Lagos.

---

Cabe mencionar que, para efectos del presente Proyecto, y de acuerdo a los objetivos específicos, SOOAA debe llegar al menos a la Etapa N°2 “Piloto”, Nivel 4 de maduración: "Prueba", con posibilidades de crecimiento y maduración en el futuro.



**Figura 13. Etapas y Niveles de Maduración dispuestos en el Marco de Referencia de Observación del Océano. Bajo esta metodología, cada componente experimenta una rigurosa revisión y aprobación por parte de la comunidad antes de alcanzar el nivel más alto de maduración. Este proceso permite la innovación, al mismo tiempo que protege al sistema de soluciones inadecuadas o duplicadas. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNE UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO.**

**Tabla 1. Visión detallada de los procesos del Marco de Referencia para los diferentes niveles de maduración. Fuente: A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNE UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO.**

NIVELES DE MADURACIÓN	PROCESOS DE REQUERIMIENTOS	COORDINACIÓN DE ELEMENTOS DE OBSERVACIÓN	GESTIÓN DE DATOS & PRODUCTOS DE INFORMACIÓN
<b>CONCEPTO</b>			
<b>Nivel 1 "Idea"</b>	Necesidad de información ambiental y características identificadas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Física</li> <li>• Química</li> <li>• Biológica</li> </ul>	Formulación del sistema <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores</li> <li>• Plataformas</li> <li>• Tecnologías candidatas</li> <li>• Enfoques innovadores</li> </ul>	Especificar modelos de datos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entidades, normas</li> <li>• Latencia de entrega</li> <li>• Flujo de procesamiento</li> </ul>
<b>Nivel 2 "Documentación"</b>	Descripción de la estrategia de medición <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores</li> <li>• Sensibilidad</li> <li>• Dependencias</li> </ul>	Prueba de concepto <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad técnica</li> <li>• Pruebas de factibilidad</li> <li>• Documentación</li> <li>• Diseño preliminar</li> </ul>	Socialización del modelo de datos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia de interoperabilidad</li> <li>• Revisión de expertos</li> </ul>
<b>Nivel 3 "Prueba de concepto"</b>	Prueba de concepto en estudios de factibilidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia de medición</li> <li>• Tecnología</li> </ul>	Validación de la prueba de conceptos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión técnica</li> <li>• Concepto de operaciones</li> <li>• Escalabilidad (cuenca oceánica)</li> </ul>	Verificación de la unidad del modelo de datos con la unidad de observación real
<b>PILOTO</b>			
<b>Nivel 4 "Prueba"</b>	Estrategia de medición verificada en el mar	Proyecto piloto en entorno operacional	Prácticas de manejo aceptadas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de calidad</li> <li>• Garantía de calidad</li> <li>• Calibración</li> <li>• Procedencia</li> </ul>
<b>Nivel 5 "Verificación"</b>	Verificación de estrategia de muestreo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacial</li> <li>• Temporal</li> </ul>	Establecer <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compromisos internacionales y gobernanza</li> <li>• Definir componentes estandarizados</li> </ul>	Verificar y validar prácticas de administración <ul style="list-style-type: none"> <li>• Borrador de la política de datos</li> <li>• Plan de archivo</li> </ul>
<b>Nivel 6 "Operacional"</b>	Refinamiento de los requerimientos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entorno operativo</li> <li>• Restricciones de la plataforma y sensores</li> </ul>	Implementación del plan desarrollado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación de mantenimiento</li> <li>• Logística de mantenimiento</li> </ul>	Demostrar <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de todo el sistema</li> <li>• Uso en todo el sistema</li> <li>• Interoperabilidad</li> </ul>
<b>MADURO</b>			
<b>Nivel 7 "Aptitud para el propósito"</b>	Validación de los requerimientos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consenso sobre el impacto de la observación</li> <li>• Satisfacción de las múltiples necesidades de los usuarios</li> <li>• Apoyo permanente de la comunidad internacional</li> </ul>	Aptitud para el propósito de observación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gama completa de entorno operativo</li> <li>• Cumplir con las especificaciones de calidad</li> <li>• Certificado de revisión por pares</li> </ul>	Validación de la política de datos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración</li> <li>• Distribución</li> </ul>
<b>Nivel 8 "Calificado"</b>	Requerimientos "Misión calificada" <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longevidad / estabilidad</li> <li>• Totalmente escalable</li> </ul>	Sistema "Misión calificada" <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación regional</li> <li>• Totalmente escalable</li> <li>• Documentación y especificaciones disponibles</li> </ul>	Disponibilidad de datos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad global</li> <li>• Evaluación de utilidad</li> </ul>
<b>Nivel 9 "Sostenido"</b>	Variables Oceánicas Esenciales <ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificaciones de muestreo adecuadas</li> <li>• Especificaciones de calidad</li> </ul>	Sistema en su lugar <ul style="list-style-type: none"> <li>• Global</li> <li>• Sostenido indefinidamente</li> <li>• Revisión periódica</li> </ul>	Productos de información rutinariamente disponibles <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de productos estandarizados</li> <li>• Grupos de usuarios consultados habitualmente</li> </ul>

A continuación, se presentan algunos de los principales Sistemas de Observación Internacional y Nacional:

### **10.1.1. Sistemas de Monitoreo Internacional**

A nivel mundial, diversos países han implementado sistemas de observación de los océanos, algunos de los cuales, se encuentran integrados al GOOS y 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 maduración. 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.

#### **10.1.1.1. COPERNICUS.**

La Unión Europea (UE), como parte de sus políticas de protección al medio marino, de la tierra y la biodiversidad, la lucha contra el cambio climático, la respuesta a los desastres naturales y la gestión de transporte, requirió desarrollar su propio acceso independiente a los servicios basados en el espacio (satélites). Para esto, y a través del Tratado de Lisboa 2007, se crearon mandatos para elaborar una nueva política espacial, establecer programas espaciales y coordinar el trabajo que se realiza a nivel nacional. Debido a esto es que

actualmente existen dos programas espaciales pertenecientes a la UE: GALILEO y COPERNICUS.

COPERNICUS (The European Earth Observation Programme), conocido anteriormente como GMES (Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad), corresponde al programa a cargo del sistema europeo de observación y monitoreo de la Tierra. Está integrado por tres componentes: Espacial, In-situ y Servicios.

El componente Espacial, a cargo de la Agencia Espacial Europea (ESA, por su sigla en inglés), está formado por la familia de satélites SENTINEL, desarrollados para las necesidades específicas del programa, son operados por organizaciones nacionales, europeas o internacionales. El componente In-situ, administrado por los Estados Miembros de la UE, y algunos organismos internacionales, genera datos para los servicios de la Agencia Europea de Medio Ambiente. La red de monitoreo in-situ está compuesta por estaciones meteorológicas en tierra, boyas oceánicas y estaciones de calidad del aire. El componente Servicios, abarca seis áreas principales: vigilancia de la Tierra, gestión de emergencias, monitoreo marino, monitoreo ambiental, seguridad y cambio climático. Estos servicios presentan diferentes niveles de maduración, encontrándose algunos completamente operativos, mientras que otros aún se encuentran en un modo pre operativo, o en fase de desarrollo.

Los servicios de COPERNICUS son públicos y gratuitos a través de su página web: <http://marine.copernicus.eu/>, requiriendo únicamente registrarse. Cabe destacar que esta página web sólo se encuentra en idioma inglés.

---

#### **10.1.1.2. ARGOS System.**

ARGOS es un sistema de localización y recopilación de datos únicos en el mundo, dedicado al estudio y la protección del medio ambiente. Está basado principalmente en satélites pioneros que han estado operando desde 1978. Ayuda a la comunidad científica a monitorear y comprender mejor el medio ambiente, además permite a la industria cumplir con las regulaciones de protección ambiental implementadas por varios gobiernos.

Por otro lado, el sistema ARGOS es utilizado para recoger los datos de observación in-situ provenientes de boyas ancladas y a la deriva, presentes en todo el mundo. Estas boyas transmiten datos ambientales para los programas operativos (e.g. la VMM), además de ser una herramienta esencial del GOOS en la obtención de mediciones oceanográficas y su ubicación geográfica.

El acceso a los datos de ARGOS es público, pudiéndose descargar a través de diversas plataformas: página web (<http://www.argos-system.org/>), ArgosDirect (tiene 5 opciones de obtención de datos: FTP, e-mail, fax, SMS o correo de voz y banco de datos), además posee la opción de interfaz máquina-máquina. Sin embargo, la inscripción como usuario es engorrosa, consiste en un trámite de 5 pasos que incluye el llenado de formularios explicando para qué se usarán los datos, luego de ser comprobado y aprobado por el Comité de Operaciones, se debe firmar un contrato de compra, para finalmente tener acceso a los datos de los programas y plataformas escogida en el formulario inicial. Esta página web se encuentra en idioma inglés y francés.

### **10.1.1.3. GTMBA: Global Tropical Moored Buoy Array, NOAA.**

El Programa GTMBA (<https://www.pmel.noaa.gov/gtmba/>), es un esfuerzo multinacional para proporcionar datos en tiempo real para la investigación del clima y la predicción. Los componentes principales incluyen el sistema TAO/TRITON en el Océano Pacífico, PIRATA en el Océano Atlántico, y RAMA en el Océano Índico. Los principales focos fenomenológicos de estos sistemas son:

- El Niño / Oscilación del Sur (ENOS) en el Pacífico.
- El modo inter-hemisférico dipolo, eventos cálidos ecuatoriales, y la actividad de huracanes en el Atlántico.
- Los monzones, el Dipolo del Océano Índico, y la variabilidad intraestacional en el Océano Índico.

El GTMBA es una contribución al Sistema Mundial de Observación de los Océanos (SMOO), al Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) y al Sistema Mundial de Observación de la Tierra (GEOSS). El acceso a los datos es gratuito, y se puede acceder a ellos desde diferentes plataformas web de los organismos que conforman el GOOS. Esta página web sólo se encuentra en idioma inglés.

#### **10.1.1.4. EMSO: European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory.**

EMSO, es un sistema de observatorios distribuidos en los mares europeos que proporcionan datos clave y un monitoreo constante de los ambientes marinos. Tiene como objetivo explorar los océanos, comprender mejor los fenómenos que ocurren en el fondo marino y la columna de agua, y dilucidar el papel crítico que estos fenómenos juegan en los sistemas terrestres adyacentes. Para el logro del objetivo de este observatorio, se seleccionaron once áreas clave distribuidas en el Océano Ártico, Océano Atlántico, Mar Mediterráneo y el Mar Negro, donde se ubican las dependencias del observatorio.

Las estaciones de monitoreo de EMSO, registran de forma permanente diferentes parámetros biogeoquímicos y físicos (e.g. temperatura y acidez del agua), y las interacciones tierra / agua (e.g. durante los terremotos y los tsunamis). Las instalaciones ofrecen a los científicos nuevas oportunidades para estudiar múltiples fenómenos naturales interrelacionados a lo largo de distintas escalas de tiempo que van desde los segundos (episódicos) hasta décadas.

EMSO ofrece datos y servicios a un amplio y diverso grupo de usuarios, desde científicos e industrias hasta instituciones y formuladores de políticas. Es un instrumento que proporciona información relevante para el diseño de políticas ambientales basadas en investigación científica. Tras una fase preparatoria financiada por la Comisión Europea y coordinada por Italia, el consorcio de investigación EMSO se creó en septiembre de 2016. EMSO es actualmente un Consorcio Europeo de Infraestructuras de Investigación (ERIC). Para acceder

a los datos se requiere estar inscrito como usuario (<http://www.emso-eu.org/site/>). Esta página web sólo se encuentra en idioma inglés.

#### **10.1.1.5. ANTARES, ChloroGIN, Latinoamérica.**

ANTARES es una red de monitoreo latinoamericana creada en 2003, tiene por objetivo principal el estudio de los cambios a largo plazo de los ecosistemas costeros, determinando de esta forma, aquellos debido a la variabilidad natural de aquellos debido a las perturbaciones externas (e.g. cambio climático, efectos antropogénicos). Pertenecen a esta red diversos centros de investigación de Chile, Colombia, Venezuela, Argentina, Ecuador, México, Brasil, y Perú. Para lograr el objetivo principal de la red, se propuso la estandarización de las mediciones realizadas en una serie de estaciones costeras existentes en toda Latinoamérica, que permita la creación de una base de datos común, la cual podría ser utilizada para validar, mejorar y actualizar los algoritmos utilizados, y para recuperar información oceanográfica por teledetección (e.g. el color del océano (clorofila-a), temperatura superficial del mar y viento).

Esta base de datos integrada (mediciones in-situ e imágenes satelitales de toda la zona costera de la región), puede ser utilizada tanto por los investigadores que colaboran dentro de la red, como por el público en general, con fines educativos y de gestión. Una página web central (<http://home.antares.ws/>), además de sitios web locales en cada país participante se han implementado para entregar los productos. Cabe destacar que, en algunos casos, se realizan esfuerzos institucionales (y no como país) para mantener las estaciones de monitoreo, por lo

que en algunos países la información corresponde a solo una estación de monitoreo. Actualmente, no es posible acceder a la información de las estaciones de la red de monitoreo.

#### **10.1.1.6. COMAPS: Coastal Ocean Monitoring and Prediction System, India.**

COMAPS pertenece al Ministerio de Ciencias de la Tierra de la India, y está diseñado para el monitoreo de los niveles de contaminación del mar en ~ 80 lugares a lo largo de la costa de India. Los principales objetivos de este programa son: evaluar el estado y las tendencias de la calidad del medio ambiente marino costero (sobre una base de largo plazo), y alertar a las instituciones gubernamentales y públicas sobre sus implicaciones/efectos. El programa está en funcionamiento desde 1991-92 en adelante. Los datos de ~25 parámetros ambientales, incluyendo físicos, químicos, biológicos y microbiológicos características del agua y los sedimentos, se recolectan con la ayuda de instituciones I+D en un perímetro de 0-10 km de los lugares de estudio. Los resultados obtenidos con el programa se publican periódicamente en el Informe Anual del Ministerio, y también en su página web: <http://www.icmam.gov.in>. Para mayor información sobre el sistema es necesario registrarse, sin embargo, en la página de COMAPS no existe información ni opciones para hacerlo. Esta página web sólo se encuentra en idioma inglés.

#### **10.1.1.7. ESSO-INCOIS: Indian National Centre for Ocean Information Services.**

ESSO-INCOIS es un órgano autónomo del Ministerio de Ciencias de la Tierra (MoES) de India. Tiene una destacada presencia internacional, siendo miembro permanente de la delegación india de la COI y miembro fundador del Sistema Mundial de Observación

Oceánica del Océano Índico (IOGOOS). A través del Sistema Regional Integrado de Alerta Temprana Multi-Peligrosidad para África y Asia (RIMES), ESSO-INCOIS proporciona información y pronósticos oceánicos a los países miembros. Además, funciona como Centro Regional de datos Argos para el Océano Índico. Entrega información y asesoramiento a la sociedad, la industria, las agencias gubernamentales y la comunidad científica a través de permanentes observaciones oceánicas.

El Centro de Datos ESSO-INCOIS se encarga de llevar a cabo los controles y archivos de datos satelitales y oceánicos. Dentro de sus servicios, proporciona modelos de predicción del estado del océano (e.g. olas, corrientes, la temperatura superficial del mar), alertas de tormentas y avisos diarios a los pescadores para ayudar a localizar fácilmente las zonas de pesca. La información se emite en Hindi, inglés y 8 lenguas vernáculas. Además, el análisis de los datos, sumado al uso de modelos matemáticos y observaciones sobre una base diaria, proporciona las condiciones iniciales a los modelos acoplados océano-atmósfera utilizados para la predicción del monzón y comprender los procesos oceánicos. Así mismo, entrega alertas de tsunamis a los países de la Cuenca del Océano Índico, a través del Servicio Regional Tsunami (RTSP).

ESSO- INCOIS posee una plataforma web (<http://www.incois.gov.in/>), desde donde se puede tener acceso a sus productos de manera gratuita previa inscripción en el sistema mediante el llenado de un formulario. Para el uso de los datos se solicita citar a INCOIS.

#### **10.1.1.8. SATMO: Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico para México.**

SATMO, se desarrolló para proporcionar, en tiempo cuasi real, un seguimiento continuo de la temperatura superficial del mar y de parámetros biofísicos del color del océano (concentración de Clorofila-*a*, fluorescencia, el coeficiente de atenuación difusa, la concentración de material total suspendido, y reflectancia teledetectada). Diariamente se obtienen estos productos georreferenciados a partir de imágenes satelitales del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) con una resolución espacial de 1 km.

El sistema automáticamente proporciona imágenes compuestas para varios productos oceánicos con resolución temporal semanal y mensual. El proyecto abarca el Océano Pacífico (cubriendo el golfo de California y el golfo de Tehuantepec) y el océano Atlántico Noroccidental (cubriendo el Golfo de México y el Mar Caribe occidental). Los productos derivados de SATMO apoyan los proyectos IMECOCAL y los de la Red ANTARES - ChloroGIN.

Este sistema trabaja en conjunto con el Sistema de Monitoreo Ambiental desarrollado con Boyas Oceánicas ubicadas en la zona marítima de México. Estas boyas realizan el monitoreo en tiempo real. Los resultados y datos obtenidos, tanto in-situ como satelitales, son publicados en la página web (<http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/mares/satmo/>), y su acceso público y gratuito.

#### **10.1.1.9. HABSOS: Harmful Algal Bloom Operational Observing System, NOAA, Golfo de México.**

HABSOS, es un sistema que registra y distribuye datos orientados a detectar la Floración de Algas Nocivas (FAN o HAB) en el Golfo de México, específicamente del género *Karenia brevis*. El objetivo de HABSOS es proporcionar información oportuna a los gestores ambientales, científicos y al público general. Los recuentos de células y el medio ambiente se combinan en un sólo producto y se distribuyen en un mapa generado a través del software ArcGIS.

El sitio web de HABSOS (<https://habsos.noaa.gov/>), ofrece una herramienta regional de difusión de datos y proporciona información sobre la recolección de las observaciones del recuento celular de algas. La aplicación de mapeo HABSOS mejora la evaluación en línea y el análisis de los eventos FAN mediante la integración de observaciones in-situ y pronósticos de superficie en el mapa. Además, se puede acceder a datos de viento in-situ y de modelos, como el Sistema de Predicción y Pronóstico del Mar de Intra-Américas (IASNFS), el Modelo de Océano Costero de la Marina (NCOM) y la Base de Datos de Pronósticos Digitales del National Weather Service (NDFD). El acceso a los datos es gratuito y para todo público.

#### **10.1.1.10. ESTOC: Estación Europea de Series Temporales Oceánicas, Islas Canarias, España.**

ESTOC, es un observatorio complejo e integral de variables meteorológicas, físicas y bio-geoquímicas, que tiene como principal objetivo formar parte de las redes paneuropeas

emergentes. La gestión de una base para vehículos e instrumentación submarina, junto con la instrumentación del banco de ensayos y la existencia de una serie de tiempo oceánica histórica, permite enfocar, actualizar y mejorar la calidad, cantidad, proyección y utilidad de dicho observatorio integrado.

Este observatorio opera en una plataforma científica offshore en la costa Este de la isla Gran Canaria. El acceso a los datos es gratuito y de acceso a todo público a través de su página web (<http://www.estoc.es/>).

#### **10.1.1.11. CODAS: Coastal Oceanographic Data Acquisition System, Suecia.**

CODAS, del Instituto Sueco de Meteorología e Hidrografía (SMHI), es el encargado de recibir en tiempo real los datos provenientes de la red de monitoreo del medio marino que registra datos biológicos, físicos y químicos, para posteriormente, almacenarlos y difundirlos a nivel nacional y regional.

Los datos se transmiten en directo desde el GSM al CODAS, a partir del cual los diferentes socios pueden gestionar/acceder de forma remota (estado de las boyas e información científica). Toda la red de boyas se gestiona a través de un solo portal, las características claves de la red incluyen alarmas de sensor y control de calidad estándar automatizado de todos los datos siguiendo las recomendaciones de la OMM.

El SMHI está a cargo del portal desde donde los datos son entregados al público general de manera gratuita (<https://sharkweb.smhi.se/>). Esta página web se encuentra en idioma sueco.

#### **10.1.1.12. REMO: Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica, Brasil.**

REMO es el resultado de un esfuerzo conjunto de diversas entidades brasileñas para el estudio de la oceanografía física y operacional. Tiene como objetivo general el desarrollo de la ciencia y la tecnología en la oceanografía física, la modelación del océano, oceanografía observacional y oceanografía operacional con asimilación de datos. Trabaja específicamente en mejorar la comprensión de la circulación y la variabilidad de meso y gran escala del Océano Atlántico Sur, la producción de previsiones sobre el océano a corto plazo, el desarrollo de métodos de asimilación de datos y la producción de información oceanográfica de alta calidad para apoyar las actividades de la industria petrolera, la Marina de Brasil y de otros sectores que requieran información oceanográfica.

Se puede acceder a los datos y modelos de predicción del océano de corto plazo de manera gratuita y sin necesidad de inscripción a través del sitio web: <http://www.rederemo.org/html/>. Otros productos, que consideran simulaciones a largo plazo (temperatura superficial del mar y perfiles verticales de temperatura y salinidad de ARGOS), están siendo desarrollados y serán puestos a disposición del público de manera gradual.

#### **10.1.1.13. SIMCosta: Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira.**

SIMCosta surge bajo la necesidad de implementar una red de monitoreo de parámetros meteorológicos y oceanográficos en la zona costera brasileña (región de plataforma interna y estuarios), con el fin de establecer patrones de variabilidad climática, tendencias de largo y modelar posibles escenarios causados por efectos naturales y/o antropogénicos. Los datos son

obtenidos desde boyas fijas, estaciones meteorológicas, HF radar, sensores remotos, entre otros.

Este sistema proporciona un libre acceso de los datos al público en general, proporcionando material didáctico y herramientas para el uso e interpretación de los datos, pudiendo ser utilizado para fines educacionales. El sitio web (<http://www.simcosta.furg.br/>), al momento de realizar este informe, se encontraba en mantención por lo que no fue posible obtener mayor información.

#### **10.1.1.14. TCOON: Texas Coastal Ocean Observation Network, USA.**

La Red de Observación del Océano Costero de Texas (TCOON), es una red de plataformas de recolección de datos científicos utilizada para acumular datos críticos relacionados con el océano y la atmósfera. Es una confluencia de entidades gubernamentales federales, estatales y locales en asociación con el mundo académico. TCOON proporciona un servicio para todos los sectores de la sociedad, incluyendo intereses comerciales, recreativos (surf), pescadores, y funcionarios públicos responsables de la seguridad ambiental.

El acceso a los datos en estos momentos no está disponible debido a que el mantenimiento y operación de TCOON no ha sido financiada desde el 31 de agosto de 2014, según lo que se informa en su página web (<http://www.cbi.tamucc.edu/TCOON/>).

#### **10.1.1.15. SCCF RECON: River, Estuary and Coastal Observing Network, Florida, USA.**

Esta red de monitoreo rodea las Islas Sanibel y Captiva, y fue establecida para proporcionar validez científica de las condiciones cambiantes de ríos, estuarios y borde costero, y para comprender mejor los procesos que generan estos cambios.

RECON mide varios parámetros clave de la calidad del agua tales como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, profundidad, materia orgánica disuelta fluorescente (FDOM), clorofila-a y turbidez. Además, varios sitios RECON están equipados con sensores meteorológicos que miden la velocidad y la dirección del viento, la temperatura del aire, la humedad, la presión barométrica y la radiación solar fotosintéticamente activa (PAR). Se puede acceder a sus datos de manera gratuita a través de su página web (<http://recon.sccf.org/>).

#### **10.1.1.16. IMOS: Integrated Marine Observing System, Australia.**

IMOS es una de la infraestructura de investigación actualmente apoyada por la Estrategia Nacional de Infraestructura de Investigación Colaborativa (NCRIS) del Gobierno Australiano, y funciona como una colaboración multi-institucional diseñada para ser un sistema nacional totalmente integrado, observando/monitoreando, desde escalas regionales hasta nivel de cuencas oceánicas, variables físicas, químicas y biológicas.

Las instalaciones de IMOS, operadas por ocho instituciones diferentes dentro del Sistema Nacional de Innovación, son financiadas para desplegar equipos y entregar flujos de datos

para su uso por toda la comunidad australiana de las ciencias del mar y el clima, además de sus colaboradores internacionales.

Las observaciones y los flujos de datos se recogen a través de diez plataformas tecnológicas o Instalaciones: flota ARGOS, buques de oportunidad, muelles de aguas profundas, planeadores oceánicos, vehículos submarinos autónomos, Red Nacional de Anclaje, radar del océano, seguimiento de animales, sensor de redes inalámbricas y sensores remotos por satélite. El Portal de la Red Australiana de Datos Oceánicos (AODN) permite a los científicos de las ciencias del mar y del clima, además de otros usuarios, acceder a los datos IMOS procedentes de todas las estaciones de monitoreo (<http://imos.org.au/about.html>).

#### **10.1.1.17. OceanSAfrica.**

OceanSAfrica (<http://www.oceanafrica.com/>) surge bajo la necesidad de crear estrategias para la oceanografía operacional en el sur de África, con el objetivo de hacer que las capacidades de la comunidad científica marina sean útiles para la sociedad, proporcionando información sobre el estado del océano y el ecosistema (actual y predictivo). El desarrollo de este sistema operativo para el África meridional proporciona predicciones regulares del estado del océano, aspectos claves para los intereses de la seguridad marítima, el medio ambiente y el estudio de los recursos marinos.

OceanSAfrica se compone de cuatro grupos que trabajan en estrecha colaboración para el logro de sus objetivos:

1) CFOO, Center for in-situ Observational Oceanography, Sudáfrica: CFOO es un centro regional, multi-institucional de oceanografía observacional, operacional e investigación aplicada. Con base en Ciudad del Cabo, en Oceans & Coasts (Departamento de Asuntos Ambientales), la CFOO se estableció como uno de los 4 componentes principales de la Iniciativa OceanSAfrica, teniendo como misión desarrollar oceanografía observacional y operativa in-situ a través de medidas rentables.

En su página web (<http://www.cfoo.co.za/>) se advierte que los datos que aparecen en el sitio son con fines de demostración y pueden ser inexactos, por lo que se advierte del uso bajo responsabilidad del usuario.

2) MRSU, Remote Sensing: Encargado de la teledetección. No se puede acceder a su página web ni a mayor información al respecto.

3) SimOcean, Ocean Modelling: SimOcean es una iniciativa multi-institucional para desarrollar la capacidad de modelación y predicción oceánica en el sur de África. La plataforma de modelación apoya la investigación oceánica y las actividades operacionales, proporcionando una base en la que la experiencia de modelación, la producción de modelos (predicciones) son compartidas y presentadas.

4) SAEON, Data Dissemination: La Red Sudafricana de Observación Ambiental (SAEON) fue establecida en 2002 después de un proceso de deliberación dentro de la comunidad científica. Después de una amplia consulta con sus departamentos hermanos, el Departamento de Ciencia y Tecnología (DST) tomó la iniciativa al administrar y financiar la Fundación Nacional de Investigación para desarrollar

SAEON, como una red institucionalizada de departamentos, universidades, instituciones científicas y socios industriales. De acuerdo con el mandato de SAEON, sus responsabilidades se basan en: observación, información y educación.

El acceso a los datos y productos generales del OceanSAfrica no se encuentran disponibles en este momento, siendo posible sólo acceder a los datos entregados por el CFOO.

### **10.1.2. Sistemas de Observación Nacional**

Los sistemas de observación en línea presentes en Chile, en su mayoría se han gestado a través de proyectos CORFO y/o CONICYT como esfuerzos institucionales de diversas Universidades y Centros de Investigación.

#### **10.1.2.1. POMeO: Portal Oceanográfico Meteorológico Operacional, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.**

POMeO está orientado a facilitar y promover el acceso a la comunidad de información Meteorológica y Oceanográfica Operacional a través de un Portal Web (<https://www.pomeo.cl/>), una aplicación móvil y una aplicación especial de acceso mediante redes satelitales destinada a usuarios embarcados en buques (con acceso limitado a una conexión a internet).

La información que provee el Portal, proviene de diferentes fuentes públicas existentes en la Web: Satélites, Modelos Oceanográficos, Modelos Meteorológicos y Estaciones Remotas propias y externas (privadas y/o públicas) que voluntariamente acceden a formar parte del

portal, proporcionando información en tiempo real en puntos clave que permite complementar la información satelital y los modelos de pronósticos.

POMeO permite acceder de manera gratuita y en tiempo real a información oceanográfica y meteorológica en formato de mapas georreferenciados, tablas y gráficos. La información que entrega POMeO corresponde a variables oceanográficas de: temperatura superficial del mar, corriente geostrofica, altura del mar, altura de las olas, dirección de las olas, periodo de las olas y clorofila-a; y variables meteorológicas de: temperatura del aire a 2 m, temperatura del punto de rocío, humedad relativa del aire, humedad relativa específica, precipitación, presión atmosférica, ozono total, dirección del viento a 10m, intensidad del viento a 10m, espesores 1000-500 hPa, altura isoterma 0°C, siendo posible agregar más estaciones de monitoreo y/o información de otras fuentes, dependiendo de la disponibilidad del dato en la web y los requerimientos del usuario.

#### **10.1.2.2. POSAR: Plataforma de Observación del Sistema Acoplado Océano Atmósfera, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup>.**

Proyecto perteneciente al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup>. EL proyecto contempló el diseño, construcción, instalación, operación y mantención de una plataforma de observación del océano y la atmósfera en la zona costera de la Región del Bio-Bio. La plataforma consta de una boya costera, situada a 5-10 km de la costa, con observaciones horarias de variables meteorológicas y parámetros físico-químicos del océano superficial, complementada con estaciones meteorológicas automáticas en el borde costero. El sistema

opera normalmente con comunicaciones con la estación terrestre, cada tres horas, vía enlace celular.

Las variables atmosféricas medidas por este sistema corresponden a: temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar (400-1100 nm y 200-100000 nm), presión atmosférica, magnitud y dirección del viento, las variables oceanográficas corresponden a: temperatura del agua, conductividad (salinidad), oxígeno disuelto (DO), fluorescencia, nitrato (NO<sub>3</sub>), pH y presión parcial de CO<sub>2</sub>.

Las mediciones meteorológicas y oceanográficas son almacenadas en un datalogger (CR6, Campbell Scientific) y transmitidas en tiempo cuasi-real, a través de telefonía celular a una estación en tierra firme, donde un computador permite su despliegue tabular y gráfico en la página web (<http://dgf.uchile.cl/POSAR/>). Los datos generados por POSAR son de acceso gratuito para todo público, y son desplegados también en POMeO.

#### **10.1.2.3. CHIOOS: Chilean Integrated Ocean Observing System, Innova Bio-Bio.**

CHIOOS (<http://chioos.cl/>) es un sistema de datos marinos y costeros que se encuentra en proceso de maduración. Inicialmente fue pensado para que utilice diversos tipos de herramientas de medición, incluyendo mareógrafos, estaciones de radar y estaciones meteorológicas, sin embargo, en estos momentos sólo cuenta con 3 radares HF.

Algunos de los datos que se podrán obtener a través de CHIOOS, una vez que el sistema esté completamente operativo son: nivel del mar, corrientes superficiales y oleaje (altura y períodos de ola). De igual forma, se podrán obtener datos meteorológicos de temperatura del

aire y vientos, y su acceso estará al alcance de cualquier usuario de forma gratuita (no disponible en estos momentos).

#### **10.1.2.4. Sistema de Información Oceanográfica para la Sostenibilidad de la Acuicultura en la Región de Aysén, CIEP.**

Con el fin de implementar un sistema de información oceanográfica de acceso público y en tiempo real, que contribuyera a la eficiencia productiva y sostenibilidad de la acuicultura en la región de Aysén, se instalaron cuatro estaciones de monitoreo oceanográfico (boyas) dentro del canal Puyuhuapi (Estación Bahía Anita y Boya isla Magdalena) y Jacaf (Estación Jacaf-1 y estación Jacaf-2).

La Boya isla Magdalena está equipada con sensores de: oxígeno disuelto, clorofila-a, turbidez, temperatura, conductividad (salinidad), pH y presión a 1.5 m de profundidad. En Jacaf-1, se instalaron sensores de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad a dos diferentes profundidades. En Bahía Anita y en Jacaf-2, se instalaron los mismos sensores oceanográficos de Jacaf-1, y se agregó una estación meteorológica con mediciones de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, precipitaciones, velocidad y dirección del viento.

Al momento de realizar este informe no fue posible acceder a los datos o a mayor información del estado actual del sistema de observación.

#### **10.1.2.5. Sistema de observación oceanográfico en línea para la prevención de catástrofes ambientales en la Región de Los Lagos, Universidad de los Lagos.**

El sistema de observación en la Región de Los Lagos, se encuentra a cargo de un equipo de investigadores del centro I~Mar de la Universidad de Los Lagos, y está principalmente financiado a través de un proyecto Conicyt. El sistema consiste de una boya oceanográfica-meteorológica instalada durante marzo de 2017 en el Seno Reloncaví, a 20 kilómetros de las costas de Puerto Montt. La boya, cuenta con sensores para medir distintas variables atmosféricas (viento, presión, temperatura), y oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno, pH, clorofila-a y turbidez, además de perfiles verticales de corriente que alcanzan los 100 m de profundidad). Esta boya permite la obtención de datos horarios, que son transmitidos a través de un sistema celular que llega a uno de los computadores de I~Mar, desde donde son liberados al público.

#### **10.1.2.6. CDOM: Centro de Datos Oceanográficos y Meteorológicos.**

CDOM es una plataforma de visualización y descarga de información oceanográfica y meteorológica de Chile ([www.cdom.cl](http://www.cdom.cl)), creada por COPAS Sur-Austral en colaboración con el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Esta plataforma fue generada considerando diversos usuarios y para fines educacionales, de investigación, operacionales y de gestión. El desarrollo contempla la incorporación de nuevo equipamiento en línea, que mejore el conocimiento e interpretación de la variabilidad oceánica y costera.

Además de la plataforma, que cuentan con información meteorológica (humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, punto de rocío, radiación solar, temperatura, viento y UV) y oceanográfica (clorofila, oxígeno disuelto, salinidad, saturación de oxígeno, temperatura, turbidez, mareas), podemos encontrar una serie de boyas que fueron instaladas por cortos periodos de tiempo. La información de estas boyas se encuentra disponible para todo público.

Algunas de las boyas a cargo de CDOM son:

- **LOBO**

Fue instalada por el centro COPAS en marzo de 2013, y los datos están disponibles en la página web de CDOM. Su tiempo de operación fue 14 meses con una frecuencia de muestreo de 1 hora. La boya contó con sensores de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, clorofila, materia orgánica coloreada (CDOM) y nitrato.

- **Boya Canal Puyuhuapi**

Instalada por el Programa COPAS Sur Austral en septiembre de 2009 en el Canal Puyuhuapi. La boya registró en forma horaria temperatura, salinidad y oxígeno disuelto hasta febrero de 2016. Durante un período menor registró clorofila-a, pH y turbidez. Los datos están disponibles en [www.cdom.cl](http://www.cdom.cl).

- **Boya Chispa y balsa de Tongoy**

Frente a Punta Lengua de Vaca, Coquimbo (47,8°S – 73,5°W) está ubicado el anclaje de la boya oceanográfica a cargo de del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Árida (CEAZA).

La boya ha estado en funcionamiento desde diciembre de 2009 hasta julio de 2014, con interrupciones entre el 2010 y 2012. Luego, fue reemplazada por la boya que está actualmente operativa. La boya registra condiciones tanto oceanográficas como meteorológicas. Dentro de las mediciones oceanográficas se encuentran la temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. Los datos se encuentran disponibles en la web.

### **10.1.3. Comparación entre los Sistemas de Observación**

Los 23 Sistemas de Observación anteriormente descritos, presentan diferentes objetivos, registran diversos tipos de variables, utilizan variadas metodologías de obtención/captura de datos, y proporcionan diversos productos. Sin embargo, en la mayoría de los casos no se encontró información detallada (desde sus páginas web) respecto al tipo de instrumental/equipos utilizado, por lo tanto, la comparación y definición del instrumental requerido para registrar las variables solicitadas en el Art. 87 ter de la Ley General de Pesca y Acuicultura, además de nutrientes y oxígeno disuelto, y las variables meteorológicas, se realizó comparando las diferentes metodologías de medición existentes para cada variable y que son utilizados en la mayoría de los sistemas de observación (cuando esta información se encontró disponible).

En la Tabla 2, se muestran las variables medidas por los 23 sistemas de observación evaluados, y los diferentes tipos de estaciones de monitoreo utilizadas. Se puede observar que, de los 17 sistemas de observación internacional, 5 no realizan registros de variables meteorológicas, y de los 6 sistemas de observación nacional, 1 no lo hace. Entre las

principales variables meteorológicas monitoreadas por los sistemas de observación, se encuentran: el viento (dirección e intensidad), la temperatura del aire, presión atmosférica, radiación solar, precipitación y humedad. Entre las principales variables oceanográficas monitoreadas por los sistemas de observación, se encuentran: la temperatura, conductividad (salinidad), oxígeno disuelto, fluorescencia, corriente, pH, y turbidez. En cuanto a los métodos de monitoreo, el uso de anclaje de boyas es el más común, seguido de la teledetección satelital y el uso de modelos numéricos. Al comparar las variables que se proponen medir con SOOAA (15 variables), con las registradas por los 23 sistemas de observación analizados, el IMOS de Australia, que mide 21 variables en total, es el que más se acerca a SOOAA, monitoreando 14 de las 15 variables propuestas.

En la Tabla 3, se presentan los diferentes métodos (equipo o sensor) de medición utilizados para registrar cada variable meteorológica/oceanográfica, además de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, Basados en esta información y a la disponibilidad en el mercado, se seleccionarán los sensores/equipos más apropiados para la finalidad de este Proyecto.



**Figura 14. Número de Sistemas de Observación (nacional e internacional) que registran variables oceanográficas y meteorológicas en tiempo real.**



**Figura 15. Métodos de monitoreo oceanográfico/meteorológico y número de Sistemas de Observación nacional e internacional que los utilizan.**

**Tabla 2. Variables registradas y Tipo de estación de monitoreo utilizada por los diferentes Sistemas de Observación mundial.**

Sistemas de observación			Variables monitorizadas																				Tipo de Estación de monitoreo																															
			Variables meteorológicas										Variables Oceanográficas										Tipo de Estación de monitoreo																															
Nombre del sistema / Sigla	País / Zona	Empresa o Institución a cargo	Temperatura	Humedad relativa	Presión Atmosférica	Viento		Precipitación	Ozono	Radiación	Temperatura	Conductividad / Salinidad	Mareas	Nivel del mar	Profundidad/Presión	Altura	Periodo	Dirección	Corrientes	Fluorescencia / Clorofila	Turbidez	Fosfato	Nitrato	Amonio	Nutrientes	Materia Inorgánica	Materia orgánica	Gases	Oxígeno disuelto	Sólidos suspendidos	pH	Muestras biológicas	Sedimento	Hielo marino	Acústica	Boya a la deriva	Boyas ancladas	ROVS	AUVs	GLIDER	Embarcaciones	Radioonda	Radar HF	Estaciones en tierra	Tele-detección con satélites	Aeronaves	Uso de modelos							
COPERNICUS	Europa	Unión Europea				X	X				X	X		X					X	X	X	X	X												X	X												X						
ARGOS System	Global	CLS Group, subsidiaria de CNES (Agencia Espacial francesa)									X	X																									X	X		X	X								X					
GTMA: Global Tropical Moored Buoy Array	Global	NOAA	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X				X																		X																	
EMSO: European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory	Europa	Consortio Europeo de Infraestructuras de Investigación (ERIC) ??									X	X		X				X		X									X	X						X	X	X	X															
ANTARES, ChloroGin	Latinoamérica	Centros de investigación de países miembros	X	X	X	X				X	X	X		X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X															X								
COMAPS: Coastal Ocean Monitoring and Prediction System	India	Ministerio de Ciencias de la Tierra, Gobierno de la India										X											X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X																			
ESSO-INCOIS: Indian National Centre for Ocean Information Services	India	Organismo autónomo				X	X				X	X						X	X	X																														X				
SATMO: Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico para México	México	CONABIO									X										X									X	X																		X					
HABSOS: Harmful Algal Bloom Operational Observing System	Golfo de México	NOAA	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X				X																		X														X			
ESTOC: Estación Europea de Series Temporales Oceánicas	Islas Canarias / España	PLOCAN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X															
CODAS: Coastal Oceanographic Data Acquisition System	Suecia	SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut)									X	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			
REMO: Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica	Brasil	Multi-institucional					X	X			X	X	X																																						X			
SIMCOsta: Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira	Brasil	Diversas instituciones gubernamentales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X														X				
TCOON: Texas Coastal Ocean Observation Network	USA	El Instituto Conrad Blucher de Topografía y Ciencia (CBI)	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X																								
SCCF RECON: River, Estuary and Coastal Observing Network	Florida / USA	Sanibel-Captiva Conservation Foundation	X	X	X	X	X	X			X	X	X							X	X																																	
IMOS: Integrated Marine Observing System	Australia	8 instituciones diferentes dentro del Sistema Nacional de Innovación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																			
OceanSAfrica	Sur de Africa	Multi-institucional	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																X			
POMeO: Portal Oceanográfico Meteorológico Operacional	Chile	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X																																	
POSAR: Plataforma de Observación del Sistema Acoplado Océano-Atmósfera	Chile	Centro de Ciencia del Sistema Acoplado Océano-Atmósfera (CR)2	X	X	X	X	X	X			X	X											X						X	X	X																							
CHIOOS: Chilean Integrated Ocean Observing System	Chile	Innova Bio Bio	X			X	X												X	X	X																																	
Sistema de Información Oceanográfica para la Sostenibilidad de la Acuicultura en la Región de Aysén	Chile	CIEP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									X																																	
Sistema de observación oceanográfico en línea para la prevención de catástrofes ambientales en la región de Los Lagos	Chile	Universidad de los Lagos									X	X								X	X	X																																
CDOM	Chile	COPAS Sur Austral / CEAZA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X																																	

**Tabla 3. Ventajas y desventajas de las metodologías de medición utilizadas en el mundo.**

Tipo variables	Variable	Metodos de muestreo		
		Método de medición	Ventajas	Desventajas
Meteorológicas	Temperatura	Termómetro de mercurio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa y fácil de leer</li> <li>• Gran exactitud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Mercurio es toxico</li> <li>• Es muy frágil, ( Se rompe fácilmente)</li> <li>• No soporta cambios brusco de temperatura</li> <li>• Son manuales.</li> </ul>
		Termómetro Termistor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen un tiempo de respuesta rápido</li> <li>• Reaccionan a cambios rápidos entre resistencia y temperatura</li> <li>• Son pequeños, económico y poseen buena estabilidad</li> <li>• Digitales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No son lineales</li> <li>• Requieren fuente de corriente</li> <li>• Sensibles a la humedad</li> <li>• Frágiles</li> </ul>
		Termómetro Termopar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples</li> <li>• Robustos</li> <li>• Económicos</li> <li>• Poseen amplia variedad de formas físicas</li> <li>• Digitales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No son lineales</li> <li>• Requieren compensación por unión de referencia</li> <li>• Baja sensibilidad y relativamente baja estabilidad</li> <li>• Sensibles a la humedad.</li> </ul>
	Presión Atmosférica	Barómetro de Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto fisico simple: es simple de entender cómo funciona y visualizarlo</li> <li>• No requiere calibración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difícil de automatizar.</li> <li>• Requiere lectura directa</li> <li>• Difícil de transportar</li> <li>• Debe permanecer vertical cuando se lo está operando</li> <li>• Requiere una corrección por temperatura para la expansión del mercurio y de la escala</li> <li>• Requiere corrección por gravedad debido a que la presión atmosférica se balancea con la columna de mercurio</li> <li>• Vapor de mercurio es tóxico</li> <li>• Un mal manejo puede introducir burbujas en la región de vacío lo que causa errores en la medición</li> <li>• Si el mercurio se contamina puede afectar la precisión</li> </ul>
		Barómetro Aneroides	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son de tamaño pequeño</li> <li>• La lectura esta automatizada</li> <li>• No le afecta ni la orientación, ni el movimiento ni los golpes, haciéndolo fácilmente transportable</li> <li>• No necesita corrección por gravedad</li> <li>• El usuario no está expuesto a materiales tóxicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prácticamente constante</li> <li>• La sensibilidad a la temperatura es grande y no tiene una corrección simple como en el caso de los barómetros de mercurio</li> <li>• Está sujeto a decaimientos impredecibles, requiriendo frecuente monitoreo y recalibración.</li> </ul>
		Barómetros Electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición sin fricción</li> <li>• Vida mecánica muy larga</li> <li>• Resolución continua</li> <li>• Baja o nula histéresis</li> <li>• Alta tensión de salida</li> <li>• Excelente linealidad</li> <li>• Mediciones estáticas y dinámicas</li> <li>• Aislamiento entre la entrada y la salida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excitado solo con corriente alterna (ac)</li> <li>• Salida diferente de cero en la posición de nulo es afectada por armónicas en el voltaje de excitación y capacitancias de acoplamiento</li> <li>• Sensibilidad es función de la frecuencia y de la resistencia de carga.</li> </ul>

**Tabla 3. (continuación).**

Meteorológicas	<b>Viento</b>	Anemómetro de cazoletas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mide la componente horizontal de la velocidad del viento, son robustos y resistentes a turbulencias</li> <li>• Estos anemómetros tiene una respuesta lineal sobre casi todo el rango de medición, la excepción se presenta en el rango de vientos muy débiles</li> <li>• En forma ideal el anemómetro de cazoletas responderá solo a la componente horizontal del vector del viento y la velocidad indicada será proporcional al coseno del ángulo del vector viento respecto a la horizontal</li> <li>• Son digitales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al poseer parte móviles, tiene limitación a vientos fuertes (&gt;120 nds)</li> <li>• Sus componentes mecánicos, frecuentemente se ven afectados por la sal, lo que necesariamente deriva en un mantención frecuente</li> <li>• Existe una velocidad del viento, llamado umbral de velocidad, en el que por debajo del mismo estos anemómetros no rotan</li> <li>• En el algunos casos dado el principio de funcionamiento de las cazoletas se produce una respuesta mayor a la real sobreestimado la componente horizontal en un flujo turbulento de viento</li> </ul>
		Anemómetro de hélice	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mide la componente horizontal de la velocidad del viento, son robustos y resistentes a turbulencias</li> <li>• Estos anemómetros tiene una respuesta lineal sobre casi todo el rango de medición, la excepción se presenta en el rango de vientos muy débiles</li> <li>• Son digitales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al poseer parte móviles, tiene limitación a vientos fuertes (&gt;120 nds), y sus partes se ven afectadas por la sal, siendo necesario una mantención frecuente</li> <li>• Existe una velocidad del viento, llamado umbral de velocidad, en que por debajo del mismo estos anemómetros no rotan</li> <li>• Los anemómetros de hélice a diferencia de los anemómetros de cazoletas presentan otra forma de respuesta al viento turbulento subestimando la magnitud</li> </ul>
		Anemómetros ultrasónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miden la componente horizontal de la velocidad y de la dirección del viento, a no poseer partes móviles son ideales para medir vientos fuertes y eliminar fallas provocadas por el óxido en los componente mecánicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere una conexión a la red eléctrica debido a su alto consumo</li> <li>• A pesar de contar con protección para la salinidad del ambiente, se ha evidenciado que el alto contenido de sal en la atmósfera en la zona sur de Chile, afecta la exactitud de las mediciones por lo que se requiere un mantenimiento y calibración frecuente</li> </ul>
		Veletas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las veletas determinan la dirección del viento</li> <li>• Son de bajo consumo con error menor al 1% , son digitales y análogas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen en el mercado veletas más económicas, que debido a su sistema electrónico limitado presentan un hueco de medida en la dirección norte, que es inaceptable para medidas de calidad.</li> </ul>
	<b>Precipitación</b>	Pluviómetro digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encargan de medir la cantidad de lluvia.</li> <li>• Los instrumentos de medición en línea utilizan sensores de llenado conectado a un contador, de manera que el contador pasa a la siguiente posición cada vez que se llena el sensor</li> <li>• Dependiendo de las condiciones climáticas, puede usarse con calefacción</li> <li>• Poseen gran exactitud y un bajo mantenimiento</li> <li>• Son digitales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su respuesta en condiciones de nieve no es buena</li> </ul>
	<b>Radiación</b>	Piranómetro termopila Negra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa y fácil de leer, alta precisión</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Tiempo de respuesta corto</li> <li>• Baja relación costo-calidad</li> <li>• Lectura directa y fácil de leer, performance, digital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Error (deriva) térmico</li> <li>• Alto costo calibración</li> </ul>
		Piranómetro termopila B/N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa y fácil de leer</li> <li>• Compensa el error (deriva) térmico</li> <li>• Digital.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja Calidad</li> <li>• Alto costo calibración</li> </ul>
		Piranómetro fotodiodo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa y fácil de leer</li> <li>• Económico</li> <li>• Digital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilidad espectral y respuesta direccional</li> <li>• Alto costo calibración</li> </ul>

**Tabla 3. (continuación).**

<b>Oceanográficas</b>	<b>Temperatura</b>	Termómetro eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequeño</li> <li>• Estable a largo plazo</li> <li>• Alta precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No lineal</li> <li>• Acelerado envejecimiento</li> <li>• Alto costo</li> <li>• Fuente de corriente requerida</li> </ul>
		Termómetro de inversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere sacar el sensor del agua para obtener la medición por lo que no sirven para mediciones continuas</li> </ul>
	<b>Conductividad / Salinidad</b>	Sensores inductivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción robusta</li> <li>• Fácil limpieza</li> <li>• No hay electrodos, por lo que disminuye la probabilidad de daños</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren un radio de separación de 3 pulgadas de cualquier otra superficie, incluyendo los sensores adyacentes. Este problema es particularmente difícil de abordar en sistemas multiparámetros como flotadores ARGO.</li> <li>• Debido a que la geometría del montaje final influye en los resultados, la calibración se debe realizar una vez el sensor este montado.</li> <li>• Al verse afectados en gran medida por la suciedad incrustada en ellos no es posible obtener una precisión y estabilidad a largo plazo</li> </ul>
		Sensores de celda de dos o más electrodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay efecto de proximidad, el sensor se puede montar al lado de otros sensores sin interferencia</li> <li>• Fácil calibración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualquier cambio en celda constante se reflejará en la conductividad, y la celda no se puede limpiar en terreno</li> <li>• Electrodo están sujetos a la corrosión o el daño</li> <li>• Al necesitar tener los electrodos dentro una bomba de agua se limita la velocidad de medición</li> </ul>
		Sensores ultrasonicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robusto al ruido y la frecuencia</li> </ul>	
	<b>Multiparámetros</b>	CTD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teledetección</li> <li>• Muy exacta</li> <li>• Peso ligero (CTD solamente)</li> <li>• Se puede utilizar a profundidades de hasta varios miles de metros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario calibrar los sensores individualmente.</li> </ul>
	<b>Corrientes</b>	ADCP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite conocer las velocidades locales en todo momento</li> <li>• Pueden medir la corriente en muchos niveles desde el fondo marino a la superficie, genera un perfil de corrientes contra profundidad</li> <li>• Puede utilizarse en sistemas de monitoreo de largo período</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario desplegar más de un ADCP sobre una región y que se obtengan registros simultáneos para poder observar líneas de flujo.</li> </ul>
		Correntómetro mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versátiles</li> <li>• Durables</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Velocidad no es mayor a la del fluido, por lo que son seguros para los peces del medio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No recomendables cuando hay cambios bruscos en la dirección de la corriente</li> </ul>
	<b>Turbidez</b>	Turbidímetro o medidor de transparencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta precisión y exactitud</li> <li>• Alta capacidad para determinar niveles bajos de turbidez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin información</li> </ul>
		Analizador de partículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin información</li> </ul>

**Tabla 3. (continuación).**

<b>Oceanográficas</b>	<b>Nutrientes</b>	Electrodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Menor costo</li> <li>•Disponible para nitrato, amonio, etc</li> <li>•Fácil de usar</li> <li>•Amplio rango de mediciones</li> <li>•No influenciado por la turbidez o el color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Baja resolución, exactitud y precisión</li> <li>•Sujeto a interferencias iónicas</li> <li>•Alta deriva instrumental</li> <li>•Problemas de fouling</li> </ul>
		Ópticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alta resolución</li> <li>•Libre de químicos</li> <li>•Rápido tiempo de respuesta</li> <li>•Amplio rango de mediciones</li> <li>•Información óptica adicional</li> <li>•Anti-fouling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alto costo</li> <li>•Solo para nitrato (por el momento)</li> <li>•Alto requerimiento de energía</li> <li>•Sujeto a algunas interferencias ópticas.</li> </ul>
	<b>Oxígeno disuelto</b>	Membrana	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Menor costo</li> <li>•Medición de oxígeno directo y respuesta lineal.</li> <li>•Rápida respuesta a los cambios de O<sub>2</sub>.</li> <li>•Medición precisa. Puede detectar pequeños cambios de concentración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Puede perder efectividad fácilmente por fouling de la membrana</li> <li>•Fragilidad de la membrana</li> <li>•Sensibilidad a los cambios de presión y temperatura.</li> <li>•Inicio es lento. (polarización ~6hr)</li> <li>•Deriva de medición (requiere frecuente calibración)</li> <li>•Riesgo de interferencia eléctrica.</li> <li>•Solo se puede guardar sin uso por un par de meses.</li> </ul>
		Ópticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•No consume O<sub>2</sub>. Sin efecto en la [O<sub>2</sub>] de la medición.</li> <li>•Respuesta a la temperatura predecible (eqStern-Volmer)</li> <li>•Baja deriva de medición después de la calibración.</li> <li>•No afectado por:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>•posición del sensor.</li> <li>•Concentración de CO<sub>2</sub>.</li> <li>•Concentración de H<sub>2</sub>S.</li> </ul> </li> <li>•Rápido tiempo de respuesta.</li> <li>•Calibración 1-2 al año</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tiempos de respuesta diferentes bajo distintas concentraciones de oxígeno.</li> <li>•Respuesta no lineal, debido a los cambios de temperatura.</li> </ul>
	<b>pH</b>	pHímetros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un pHímetro mide el potencial de corriente (en milivoltios; mV) generado entre un electrodo de pH de vidrio y un electrodo de referencia de pH. Utiliza la respuesta Nernstiana de la actividad del hidrógeno y la respuesta eléctrica, y un factor de compensación de temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere calibración constante</li> </ul>
		Electrodo de pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un electrodo de pH consiste en un electrón de ión selectivo (ISE) diseñado específicamente para medir la concentración de H<sup>+</sup> en la solución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere calibración constante</li> </ul>

**10.2. Proponer un sistema de monitoreo, que permita la determinación de al menos las variables señalizadas en el Artículo 87 ter de la Ley, incluyendo además oxígeno y nutrientes.**

El presente Proyecto propone como Sistema de Observación del Océano de Apoyo a la Acuicultura (SOOAA) ,a un conjunto modular de elementos que integra varias plataformas colectoras de datos (estaciones de monitoreo equipadas con sensores para medir variables oceanográficas y meteorológicas), enlazadas simultáneamente utilizando distintos sistemas de comunicación (e.g. HF, GPRS, LPWAN).

Una de las principales características de SOOAA, es que se basa en un concepto de Arquitectura Abierta, es decir, permite incorporar más sensores (e.g. variables) según requerimiento, permitiendo expandirse en el tiempo. El Sistema Central de SOOAA se basa en un **servidor de aplicaciones**, con la implementación de interfaces para la recepción de los datos obtenidos desde las estaciones de monitoreo (inicialmente se debe utilizar la interfaz HTTP/REST y MQTT), y el almacenamiento de estos valores en un repositorio NoSQL, tipo BigData.

Por otro lado, las estaciones de monitoreo se basan en un procesador (simple) encargado de recolectar periódicamente los valores de los sensores de medición y enviarlos hacia el Sistema Central (servidor central). Las estaciones de monitoreo deben ser capaces de funcionar en modo contingencia, es decir, durante periodos sin conexión al servidor central (o a su base repetidora). Durante estos períodos, el controlador/procesador actúa como un data-logger, almacenando temporalmente los valores de las mediciones por un periodo

---

mínimo de 30-35 días, para luego ser enviados al servidor central cuando se recupere la conexión.

Las estaciones de monitoreo que no cuenten con conexión a internet (red celular o algún otro medio) deberán replicar sus datos hacia una estación base mediante una conexión LoRa o similar. En estos casos, la estación base será la encargada de transmitir los datos hacia el servidor central. La estación base, además debe soportar el mismo modo de contingencia antes mencionado (almacena los datos ante una pérdida de conexión).

El servidor de aplicaciones, debe ofrecer portales web para la administración y configuración de: los usuarios, las estaciones de monitoreo, las consultas, y el disparo de alertas que se estimen necesarias. El detalle de los módulos de Captura, Transmisión y Recepción de datos, se explica más adelante.

#### **10.2.1. Módulo de toma de datos**

- **Consideraciones iniciales**

En el año 2006, el estado de la Pesca y la Acuicultura a nivel mundial dio cuenta de los efectos (físicos y biológicos) producidos por el cambio climático global (Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Al cambio climático global se le asocia la modificación de la distribución de las especies marinas y de agua dulce: desplazando las especies de aguas más cálidas hacia los polos, experimentando cambios en el tamaño de su hábitat y productividad (sustentabilidad). De acuerdo a un estudio realizado por OLDEPESCA (Organización

Latinoamericana de Desarrollo Pesquero, 2009a), el aumento de las temperaturas provoca efectos en los procesos fisiológicos de los peces (positivos o negativos dependiendo de cada especie), pudiendo repercutir positivamente o negativamente sobre las pesquerías y los sistemas de acuicultura. Estos cambios afectan la estacionalidad de determinados procesos biológicos (e.g. crecimiento, madurez sexual, reproducción), modificando con ello las redes tróficas marinas y de agua dulce, con consecuencias imprevisibles en la futura producción de la pesca y la acuicultura, cuya intensidad dependerá de la vulnerabilidad del sector (especie) afectado.

Por otro lado, los ciclos biogeoquímicos en los océanos, fiordos y canales proveen servicios ecosistémicos que cumplen un rol no solo económico, sino que también ambiental. Entender cómo funcionan estos ciclos, qué factores los manejan, cómo se regulan y cómo son impactados por las diferentes actividades que en ellos se desarrollan, es esencial para continuar disponiendo de los ambientes y recursos naturales que en ellos se desarrollan.

Las formas de muestrear el océano y la atmósfera son variadas (e.g. satélites, campañas de muestreo en plataformas como barcos o botes, anclajes.), sin embargo, cuando hablamos de cortas escalas temporales y espaciales, como la escala sinóptica, no todos estos métodos son adecuados.

Basado en lo anterior, surge la necesidad de contar con mediciones de manera periódica y continua en el tiempo. No obstante, el uso de la tecnología satelital permite la detección solo de algunas propiedades de la atmósfera y del océano, principalmente en su capa superficial, y las campañas de muestreo son costosas y de una escala temporal reducida, lo que explica la importancia de contar con mediciones in-situ de manera constante. Sin embargo, la

utilización de sensores implica un gran desafío tecnológico, debido al requerimiento de adaptabilidad a las condiciones adversas del ambiente en el que se localizarán (e.g. corrosión, actividad biológica, cambios ambientales, interferencia de distintos elementos químicos, etc.), sumado al desafío de una alta precisión en la medición que cubra largos periodos de tiempo con adquisición de datos de alta frecuencia temporal.

- **Elección de variables esenciales**

Para obtener de forma eficiente la información que determine, con un alto grado de confianza, la variabilidad ambiental de un ecosistema, primero se deben seleccionar las variables esenciales a monitorear de acuerdo a las necesidades/objetivos que se tengan. Cabe mencionar, que una mayor cantidad de variables no siempre permiten una mejor caracterización del ecosistema, donde muchas veces un número de variables muy extenso redundaría en los resultados de los objetivos, alcance y recursos del monitoreo.

De acuerdo a las necesidades del Proyecto, la selección de las variables esenciales a monitorear consideró lo expuesto en el artículo 87 ter (Ley General de Pesca y Acuicultura), la experiencia proveniente de los Sistemas de Observación del Océano utilizados en el mundo (ver punto 10.1), además de la opinión y experiencia de expertos en el área (ver Acta Taller de Expertos 2, Anexo 14.3). De esta forma, se determinó que las variables esenciales a monitorear en el área de influencia del Proyecto (X Región de Los Lagos) son las señaladas en la Tabla 4.

**Tabla 4. Variables Esenciales a medir por el sistema de monitoreo SOOAA.**

Variables Esenciales	
Meteorológicas	Oceanográficas
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Temperatura</li> <li>✓ Presión atmosférica</li> <li>✓ Viento (magnitud y dirección)</li> <li>✓ Radiación solar</li> <li>✓ Precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Temperatura</li> <li>✓ Conductividad / Salinidad</li> <li>✓ Presión / Profundidad</li> <li>✓ Corrientes</li> <li>✓ Fluorescencia</li> <li>✓ Turbidez</li> <li>✓ Nutrientes (nitrato, amonio, fosfato)</li> <li>✓ Oxígeno disuelto</li> <li>✓ pH</li> <li>✓ FAN</li> </ul>

- Intervalos de muestreo

El intervalo de muestreo debe ser seleccionado adecuadamente para minimizar el efecto de "aliasing", efecto que causa que aparezcan señales inexistentes en el registro. El aliasing, puede ser causado por una pobre discretización de los datos de una serie de tiempo, debido a limitaciones en el tiempo de respuesta de los sensores, limitaciones en la razón de registro y almacenamiento de los datos, o por el método de procesamiento posterior que se haya utilizado.

Si se conoce previamente que la energía de la señal que se encuentra en algunas frecuencias específicas, el aliasing se puede evitar teniendo una razón de muestreo que permita representar las frecuencias más altas de las señales significativas.

Un adecuado grado de suavizamiento puede ser necesario para estar seguro que las altas frecuencias no están contaminando a las frecuencias más bajas. Este suavizamiento debe ser realizado con anterioridad a un remuestreo o digitalización de la señal, ya que la contribución del aliasing no puede ser reconocida una vez que la serie de datos es discreta.

El intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) entre dos muestras sucesivas se denomina periodo de muestreo o intervalo de muestreo, y su recíproco ( $1/\Delta t = F_s$ ) se denomina velocidad de muestreo (muestras por segundo) o frecuencia de muestreo (hertzios). El muestreo periódico permite establecer una relación entre las variables  $T$  (*longitud del registro*) y  $n$  de tiempo continuo y tiempo discreto, respectivamente, que toma la forma:

$$T = n\Delta t = \frac{n}{F_s}$$

Considerando que la longitud total del registro  $T = N \cdot \Delta t$ , la frecuencia más baja que se puede obtener de una serie de tiempo, es la frecuencia fundamental definida por:

$$f_0 = \frac{1}{N \cdot \Delta t}$$

Por su lado, la frecuencia más alta que se puede extraer de una serie de tiempo es la frecuencia de Nysquist, definida por:

$$f_N = \frac{1}{2 \cdot \Delta t}$$

Por lo tanto, en teoría, podemos ser capaz de resolver todas las frecuencias en el rango

---

$$f_0 \leq f \leq f_N$$

Debido a lo anterior, y considerando los objetivos del presente Proyecto, es que la frecuencia de muestreo para las variables meteorológicas será de 30 minutos, mientras que para las variables oceanográficas será de 1 hora.

#### **10.2.1.1. Variables Meteorológicas**

La representatividad de una observación meteorológica dependerá de la finalidad de la medición y de la variable en sí. Existen variables que tienen mayor variación espacial y temporal que otras, por ejemplo, la presión atmosférica tiene una escasa variación espacial, al contrario de lo que ocurre con el viento que puede variar radicalmente en cortas distancias; por lo tanto, la representatividad de la observación meteorológica, dependerá de las características del lugar, tipo de variable, número de instrumentos instalados y el intervalo de tiempo de las mediciones.

Las escalas espaciales y temporales de una medición meteorológica estarán definidas de acuerdo a los objetivos de la observación. Así mismo, las escalas espacio-temporales determinarán la densidad de la red de observaciones requeridas para tener una adecuada resolución del fenómeno que se quiera estudiar. Siguiendo la misma línea, las escalas de pronóstico están estrechamente relacionadas a la escala temporal del fenómeno, por ejemplo, para un pronóstico del tiempo a muy corto plazo, se requiere de observaciones de alta frecuencia, que provengan de una densa red de observaciones desplegadas sobre un área limitada, permitiendo detectar cualquier fenómeno de pequeña escala y su rápida evolución.

La OMM clasifica las escalas horizontales de los fenómenos meteorológicos de la siguiente forma:

- Pequeña escala: menos de 100Km.
- Mesoescala: de 100 a 1000Km.
- Gran escala: de 1000 a 5000Km.
- Escala planetaria: más de 5000Km.

De acuerdo al objetivo y a las características geomorfológicas del área de influencia del presente Proyecto (X Región), para la propuesta metodológica de las mediciones meteorológicas se considerará sólo la pequeña escala (menos de 100 Km).

Así mismo, debido a la necesidad de relacionar los parámetros meteorológicos con observaciones oceanográficas, se debe considerar, además, que las observaciones meteorológicas representen las características del área de monitoreo oceanográfico (sean coherentes). Por lo tanto, para generar una apropiada representación de las características meteorológicas de todos los sectores abarcados por el monitoreo oceanográfico, se debe considerar la topografía irregular de la región (costas recortadas, numerosas islas, archipiélagos, penínsulas, canales y fiordos), dado que los accidentes geográficos modifican de forma significativa las características oceanográficas de la región.

En teoría, el número de estaciones en las que se ha de observar un elemento meteorológico particular, debe ser lo suficientemente grande para permitir realizar un análisis completo de éste sin recurrir a hipótesis dudosas sobre la distribución geográfica de los valores observados, valores extremos y otras características de las variables en cuestión.

Para los efectos de este Proyecto, se propone una red mínima de estaciones meteorológicas costeras, cuya ubicación estará limitada a las cercanías de cada emplazamiento de las estaciones de monitoreo oceanográfico. No obstante, a lo anterior, las consideraciones al momento de definir la posición de las estaciones de la red de monitoreo meteorológica, son las siguientes:

- ✓ La distancia de separación entre estaciones ubicadas perpendicularmente a la costa debe ser del orden de 2 a 10 km.
- ✓ La distancia de separación entre estaciones ubicadas en forma paralela a la costa debe ser del orden de 20 a 50 km.
- ✓ Una estación meteorológica cada 1000 km<sup>2</sup> si las condiciones geográficas son relativamente uniformes.

Con el propósito de que los registros sean adecuados para los usuarios en general, los instrumentos y métodos de observación meteorológica han sido normalizados de acuerdo a las resoluciones adoptadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1971).

La definición de las variables meteorológicas propuestas a ser medidas por SOOAA, se presentan a continuación:

- **Temperatura**

La temperatura se define como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. Esta magnitud nos permite expresar el grado de calentamiento o enfriamiento de los cuerpos. La OMM (1992) define la temperatura del aire como "la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa".

La meteorología utiliza algunas variables basadas en la temperatura, pudiendo ser subdivididas en: medidas primarias (temperatura) y secundarias (máximos y mínimos durante 24 horas). La medida primaria se refiere exclusivamente a la temperatura del aire en un instante determinado, registrada a una altura fija. Las medidas secundarias se determinan usando series de tiempo.

#### Importancia de la medición in-situ

La temperatura del aire es de suma importancia en numerosos procesos que se desarrollan en la atmósfera: fenómenos meteorológicos, reacciones químicas, dilatación de materiales, innumerables aspectos de la actividad humana, velocidad de desarrollo y crecimiento de plantas y otros seres vivos, etc. Por esta razón la temperatura registrada en estaciones meteorológicas constituye un importante dato de referencia para diversas disciplinas

#### Requisitos operacionales

Para el objetivo Proyecto, la temperatura del aire debe ser medida en estaciones de monitoreo costeras y oceánicas. En el caso de la estación de monitoreo costera, la instalación del instrumento debe ser a 1,5 m sobre el nivel de suelo, en una zona sin árboles o edificios cercanos, idealmente en terreno abierto con hierba corta. Por su parte, en las estaciones de monitoreo oceánicas, la temperatura deberá ser medida a 2 m sobre el nivel del mar. En ambos casos el sensor que se utiliza puede ser afectado perceptiblemente por la luz del sol, la radiación solar y fenómenos tales como precipitación, rocío, helada y viento, por esta razón, se debe instalar dentro de un protector de radiación de color blanco, que permita la

ventilación, el cual está diseñado especialmente para este propósito, y que puede ser fabricado en aluminio anodizado o bien en material plástico con protección IP65.

- Unidad de medida: grados Celsius (°C).
- Rango: -20 a +45°C. (a 1.5 m de altura en el sitio de monitoreo), -80 a +60°C (rango mundial de la OMM).
- Resolución: 0,1 °C.
- Exactitud /precisión requerida:  $\pm 0,3^\circ \text{C}$ .
- Frecuencia de observaciones requerida: 30 minutos.

- **Presión Atmosférica**

La presión atmosférica es la fuerza, por unidad de superficie, que ejerce el peso de la columna de aire sobre el punto de medición. Esta presión es igual al peso de la columna vertical total de aire sobre una unidad de superficie.

Importancia de la medición in-situ

La presión atmosférica es de gran importancia en la interfaz mar-aire, en particular el gradiente de presión horizontal, por su relación con el viento. El viento se produce por la acción de la radiación solar y por las diferencias de presión en la superficie de la Tierra. Además, tiene una relación directa con las fluctuaciones del nivel del mar, afectando el incremento o disminución de éste. De esta forma, la medición de la presión atmosférica a nivel del mar es necesaria para realizar correcciones del nivel del mar (efecto de barómetro inverso), además de ser requerido en los modelos de marea.

### Requerimientos Operacionales

Para el objetivo del Proyecto, la presión atmosférica debe ser medida sólo en estaciones de monitoreo costeras. La instalación del instrumento debe ser a 1,5 m sobre el nivel de suelo, y precisa de una atmósfera limpia y seca que no contenga sustancias corrosivas y lejos de fuentes electromagnéticas. Se recomienda instalar el sensor dentro de la misma caja protectora de la radiación solar utilizada para cubrir el sensor de temperatura.

- Unidad de medida: hectopascal (hPa, a utilizar en SOOAA)

[1 hPa = 0.750062 (mm Hg); 1 (mm Hg)<sub>n</sub> = 1.333224 hPa; 1 hPa = 0.00:00 (in Hg)<sub>n</sub>; 1 (in Hg)<sub>n</sub> = 33.8639 (hPa); 1 (mm Hg)<sub>n</sub> = 0.03937008 (in Hg)<sub>n</sub>]

- Rango: 500 - 1080 hPa.
- Resolución: 0,1 hPa.
- Exactitud/ precisión requerida: ± 0,1 hPa.
- Frecuencia de observaciones requerida: 30 minutos.

- **Viento**

El viento corresponde al movimiento del aire, el cual es representado por un vector de dos dimensiones, definido por los números que representan su velocidad y dirección. La dirección del viento está dada por la orientación del vector, medido desde donde sopla y, es interpretado según la norma meteorológica (desde donde proviene). Tiene una unidad estándar medida en grados dextrógiro (en sentido de las agujas del reloj), a partir del norte geográfico, con una escala de 0-36 o de 0-360, donde 36 o 360 es el viento norte y 09 o 90 corresponde al viento proveniente desde el Este.

### Importancia de la medición in-situ

Las observaciones o mediciones del viento son necesarias para vigilar y predecir el tiempo, estudiar el clima, determinar las características de las olas, contribuye a la mezcla de las propiedades de la columna de agua, forzamiento de las corrientes superficiales y estimar los flujos entre la superficie del océano y la atmósfera, entre otros aspectos. En la acuicultura, estas mediciones permiten determinar si existen las condiciones de tiempo aptas para realizar diversas labores en el agua.

### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, el viento (dirección y magnitud) debe ser medido en estaciones de monitoreo costeras y oceánicas. En el caso de la estación de monitoreo costera, la instalación del instrumento debe ser a 10 m sobre el nivel de suelo, en una zona sin árboles o edificios cercanos, idealmente en terreno abierto con hierba corta. Por su parte, en las estaciones de monitoreo oceánicas, el viento deberá ser medido a 3 m sobre el nivel del mar.

◦ Unidades de medida:

- Magnitud del viento:  $\text{m s}^{-1}$ , knt. ( $1 \text{ m s}^{-1} = 1,94 \text{ knt}$ ).
- Ráfaga del viento:  $\text{m s}^{-1}$ , knt.
- Dirección del viento: grados ( $^{\circ}$ ).

En meteorología operacional, usualmente se utiliza el nudo (kts) para determinar la velocidad del viento y la velocidad de la racha ( $1 \text{ nudo} = 1 \text{ milla náutica por hora} = 1852 \text{ m} / 00:00 \text{ s} = 0.514444 \text{ m s}^{-1}$ ).

◦ Rango:

- Magnitud del viento:  $0 - 70 \text{ m s}^{-1}$ ,  $0 - 137 \text{ knt}$ .
- Ráfagas del viento:  $5 - 75 \text{ m s}^{-1}$ .  $9 - 146 \text{ knt}$ .

- Dirección del viento: 0 - 360°
- Resolución:
  - Magnitud del viento: 0,5 m s<sup>-1</sup>, 0,05 knt.
  - Ráfagas del viento: 1m s<sup>-1</sup>, 2 knt.
  - Dirección del viento: 5°.
- Exactitud /precisión requerida:
  - Velocidad promedio del viento: La naturaleza dinámica de la atmósfera permite que el flujo del viento experimente variaciones significativas en cortos periodos de tiempo, dicha dinámica demanda mayor atención al momento de medir fluctuaciones, que suelen ser más significativas a mayor velocidad del viento. La OMM, sugiere como incertidumbre en las mediciones operacionales de la velocidad del viento, que ésta no supere los ±0,5 m s<sup>-1</sup> en flujos que estén por debajo de 5 m s<sup>-1</sup> (± 0,05 knt para Mag. ≤ 10 knt), e inferior al ±10% cuando el flujo se encuentre por encima de 5 m s<sup>-1</sup> (10 knt).
  - Ráfagas del viento: ±10% del valor.
  - Dirección del viento: ±5°.
- Frecuencia de observaciones requerida: 30 minutos.

- **Precipitación**

La precipitación es la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, presentándose en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico.

### Importancia de la medición in-situ

La precipitación es clave en la disponibilidad de agua dulce, influyendo significativamente en la hidrografía regional. En la X Región de Los Lagos la precipitación ocurre en exceso, influyendo en forma significativa en la descarga de los ríos y en el contenido de sal de las aguas superficiales. Desde los años 80's se ha evidenciado en Chile una tendencia a la disminución de las precipitaciones, tendencia que se prevé continuará en los próximos años con mayor impacto en la zona sur de Chile. Las fluctuaciones de la precipitación pueden modificar en forma significativa las características de las zonas estuarinas (salinidad, circulación, etc.), además de modificar el caudal de los afluentes de agua dulce que desembocan en la zona costera.

### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, la precipitación debe ser medida sólo en algunas estaciones de monitoreo costeras, ya que el campo de la precipitación es de amplia cobertura espacial. La instalación del instrumento debe ser a 1,5 m sobre el nivel de suelo. El instrumental debe seguir la norma de la OMM N°8, 1996.

- Unidad de medida: milímetros (mm).
- Rango: 0 – mayor a 400 mm.
- Resolución: 0,2 mm.
- Exactitud/ precisión requerida:  $\pm 0,1$  mm para  $\leq 5$  mm y  $\pm 4\%$  para  $> 5$  mm.
- Frecuencia de observaciones requerida: 30 minutos.

- **Radiación solar**

Se entiende como radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera, fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra.

#### Importancia de la medición in-situ

Entre los grupos de factores que afectan la temperatura del agua se encuentra la radiación solar, por lo que su medición continua permitirá conocer, las tendencias de aumento de temperatura, y ser utilizado como proxy de la probabilidad de ocurrencia de FAN.

#### Requerimientos Operacionales

Para el objetivo del Proyecto, la radiación solar debe ser medida sólo en estaciones de monitoreo costeras. La instalación del instrumento debe ser a 1,5 m sobre el nivel de suelo, y precisa de un sitio libre de obstáculos en el horizonte que está por encima del plano del elemento de detección. Si no es posible, se tiene que elegir el lugar de forma que cualquier obstáculo sobre el rango acimut entre la salida del sol y el ocaso debe tener una elevación que no exceda los 5° (el diámetro aparente del sol es 0,5°). Esto es importante para una medición precisa de la radiación solar directa.

- Unidad de medida:  $W m^{-2}$
- Rango: 0 - 1800  $W m^{-2}$

- Resolución:  $1 \text{ W m}^{-2}$ .
- Exactitud/ precisión requerida:  $\pm 5\%$  de rango medido durante 1 día (Referencia: Eppley PSP a  $1000 \text{ W/m}^2$ ) más  $45 \text{ W m}^{-2}$  por 30 m de cable adicional.
- Frecuencia de observaciones requerida: 1 minuto.
- Temperatura de operación  $-40^\circ$  a  $+65^\circ \text{ C}$

Consideraciones generales: Para los fines de SOOAA, el certificado de calibración proporcionado con el instrumento será válido por año a partir de la fecha del primer uso.

#### **10.2.1.2. Variables Oceanográficas**

La obtención de mediciones oceanográficas se puede realizar por medio de diferentes tipos de plataformas de observación, que incluyen estaciones en tierra, estaciones incorporadas en boyas oceánicas, mediciones desde barcos o aeronaves, mediciones satelitales, entre otras. La elección de la metodología y variables a monitorear en cada sistema dependen de los requerimientos existentes.

El muestreo discreto de algunas variables no permite determinar sus cambios de corto plazo, así como tampoco los diferentes forzantes de dichos cambios. En este sentido, el monitoreo continuo y en línea, a través de estaciones de monitoreo oceanográfico constituye una poderosa herramienta no solo para la evaluación medioambiental requerida por las distintas entidades gubernamentales, sino que también para la mejora en la productividad y visualización de problemas de la industria, así como para acercar a la industria a prácticas ecológicamente responsables (sustentabilidad).

Considerando que los organismos vivos, y en general los ecosistemas son sensibles a cambios ambientales, las mediciones simultáneas de un conjunto de variables podrían ser útiles para detectar cambios hidrográficos que pueden generar estrés en animales de cultivo, que permitan mitigar oportunamente emergencias epidemiológicas, y que de forma global contribuyan a mejorar nuestra capacidad predictiva sobre los efectos del calentamiento global en ecosistemas de fiordos y canales chilenos.

De acuerdo al objetivo del Proyecto, las variables oceanográficas propuestas a ser medidas por SOOAA, se presentan a continuación:

- **Corrientes**

Las corrientes corresponden al movimiento de cuerpos de agua a diferentes profundidades, y están definidas por su dirección y magnitud. En mar abierto, éstas pueden ser causadas por la acción del viento, el gradiente espacial de densidad o por la acción de las mareas. En los estuarios, las corrientes se producen principalmente por la descarga de los ríos, el esfuerzo del viento y las mareas. Así mismo, en estas regiones, por corresponder a cuencas semi-cerradas, la forma y topografía de los canales y la fricción con las paredes y el fondo, modifican en forma significativa los patrones de circulación local.

La circulación dentro de los estuarios, adopta generalmente un modelo de flujo de dos capas, donde la capa superior corresponde a la descarga de agua dulce, y la capa inferior (subsuperficial) corresponde a agua de mar que ingresa hacia el continente. Las características singulares de cada estuario, están dadas por el grado de mezcla de estos dos

flujos/capas (de agua dulce y agua salada), por la fuerza de las mareas, y por la descarga de agua dulce.

### Importancia de la medición in-situ

Debido a que las corrientes poseen una fuerte variabilidad asociada a las mareas astronómicas (periodos diurnos y semi-diurnos) y al ciclo estacional, para evitar problemas de “aliasing” en las mediciones de corriente, es necesario realizarlas con un intervalo de medición de al menos una hora, durante un periodo lo suficientemente largo que permita capturar la variabilidad estacional de la zona de estudio, entre otros aspectos.

Las corrientes, son las responsables de la dispersión y transporte de calor y materia disuelta (e.g. propiedades químicas) y/o suspendida (e.g. materia orgánica e inorgánica) en la columna de agua, modificando la disponibilidad de los distintos compuestos presentes, por ejemplo, la concentración y disponibilidad del oxígeno disuelto y de nutrientes, elementos esenciales para la vida de los organismos acuáticos.

Además, la dirección y velocidad de las corrientes permitirá conocer el lugar de origen y la trayectoria de perturbaciones que puedan existir, por ejemplo una disminución de oxígeno disuelto, y con esto se podrá conocer si ésta es provocada por la actividad acuícola o por algún cambio natural.

### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, se deben realizar perfiles verticales de corrientes a través del uso de un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP, por su sigla en inglés), el que deberá ser ubicado en superficie, mirando al fondo.

- Unidades de medida:

- Velocidad:  $\text{m s}^{-1}$ ,  $\text{mm s}^{-1}$
- Dirección: grados ( $^{\circ}$ ), se interpreta de acuerdo a la norma oceanográfica, es decir, la dirección a la que se dirigen los cuerpos de agua (hacia donde van).
- Rango:
  - Medición: Columna de agua de 25 m de profundidad, medidos desde la superficie.
  - Velocidad: No aplica.
  - Dirección:  $0\text{-}360^{\circ}$
- Resolución:
  - Medición: La resolución debe estar dada por celdas de 1m de profundidad.
  - Velocidad: No aplica.
  - Dirección:  $5^{\circ}$
- Exactitud / Precisión:
  - Velocidad:  $\pm 1\% \pm 5 \text{ mm s}^{-1}$
  - Dirección:  $\pm 5^{\circ}$
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Presión / Profundidad**

La profundidad a la que se encuentra un cuerpo de agua es de gran importancia, debido a su efecto sobre la dinámica de las corrientes, ya que modifica la respuesta del cuerpo de agua a la acción de diferentes forzantes como el viento y las mareas, modificando la distribución de las propiedades físicas y químicas de la columna de agua.

Para medir la profundidad a la cual se encuentran los sensores (e.g. temperatura, conductividad) instalados en la columna de agua (distintas profundidades), habitualmente se usa un sensor de presión instalado a la misma profundidad que los otros sensores. Por otro

lado, a través de la presión se monitorea la altura del nivel del mar, las olas y mareas. Para esto, se utiliza un sensor de presión, instalado cerca del fondo (piso marino).

### Importancia de la medición in-situ

Los sensores de presión permiten obtener la información necesaria para determinar la profundidad a la cual se están realizando las mediciones de distintos parámetros de la columna de agua, medir las fluctuaciones del nivel del mar asociadas a las olas y mareas, detectar la presencia de ondas internas, determinar la excursión vertical de una línea anclada que está sometida a intensas corrientes, entre otros.

### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, se debe medir la presión a través de un sensor instalado en la profundidad máxima de la estación de monitoreo, además de un medidor en cada punto de medición, con el que se pueda obtener la profundidad a la que han sido tomadas las mediciones en todo momento.

- Unidad de medida: presión (bar), profundidad (m) (1 bar = 10 m de profundidad).
- Resolución: 0,1 m.
- Exactitud requerida:  $\pm 1\%$  del rango de medición.
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Temperatura**

La principal fuente de calor presente en los cuerpos de agua es la radiación solar, lo cual permite describir los aspectos generales de la distribución espacial de la temperatura del mar.

Múltiples variables afectan la temperatura de un cuerpo de agua, entre las cuales se encuentran: la radiación solar (con su variabilidad estacional y latitudinal), la transferencia de calor entre la superficie del mar y la atmósfera, la profundidad de la columna de agua, el volumen de agua, y la temperatura de los aportes fluviales.

#### Importancia de la medición in-situ

Algunos de los procesos metabólicos que desarrollan los organismos acuáticos están determinados por la temperatura del agua, existiendo rangos de temperatura “óptimos”. Esto hace que la observación de la temperatura del agua sea de gran relevancia, especialmente para los estudios relacionados con la evaluación del ambiente acuático. La temperatura funciona como indicador de condiciones ambientales, como trazador del ingreso de aguas oceánicas/costeras al sistema, se relaciona directamente con el metabolismo de los peces, con la estimación de la ración de alimento para peces, entre otros. Una inapropiada estimación de la ración de alimento puede generar un proceso de sub/sobrealimentación, lo que puede llevar a una acumulación excesiva de alimento en el fondo marino, generando así un aumento en la cantidad de materia orgánica, perjudicial para el medio ambiente y los organismos que habitan en él.

#### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, se deben realizar las mediciones de temperatura a través de sensores instalados a diferentes profundidades. El número de sensores por estación de monitoreo dependerá de las condiciones y profundidad del lugar de emplazamiento.

- Unidad de medida: grados Celsius (°C).

- Rango: 2 - 20 °C.
- Resolución: 0,01 °C.
- Exactitud requerida:  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ .

Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Conductividad / Salinidad**

La salinidad se define como los sólidos totales que contiene un kilo de agua, después de que todos los carbonatos han sido convertidos a óxidos, todos los bromos y yoduros han sido reemplazados por cloro, y toda la materia orgánica ha sido oxidada. La salinidad es medida como gramos de sólidos disueltos en un kg de agua de mar. Debido a que la medición directa de la salinidad es compleja, se suele medir la conductividad del agua y luego realizar la conversión a salinidad, por lo que se sugiere entregar los datos y unidades de medida utilizadas como salinidad ( $\text{g Kg}^{-1}$  /PSU) y no conductividad ( $\text{mS cm}^{-1}$ ).

Importancia de la medición in-situ

La estructura salina de los cuerpos de agua cambia espacial (horizontal y verticalmente) y temporalmente, debido a factores que incluyen la evaporación, congelamiento, escorrentías y advección. La salinidad es una de las variables ambientales importantes del agua de mar, debido a que es uno de los factores que puede definir la distribución de las especies en una zona, funciona como un indicador de las condiciones ambientales, sirve como trazador para determinar el ingreso de agua dulce/oceánica al sistema, además de explicar una a fracción significativa de la variabilidad de la densidad, modificando con ello varios aspectos de la circulación, estratificación y procesos de mezcla.

### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, se deben realizar las mediciones de conductividad (salinidad), a través de sensores instalados a diferentes profundidades. El número de sensores por estación de monitoreo dependerá de las condiciones y profundidad del lugar y emplazamiento.

- Unidad de medida: Salinidad;  $\text{g Kg}^{-1}$ , PSU, ppm (poco usado). Conductividad;  $\text{mS cm}^{-1}$ . [ $1 \text{ g Kg}^{-1} = 1 \text{ PSU}$ ;  $1 \text{ g Kg}^{-1} = 1000 \text{ ppm}$ ;  $1 \text{ mS cm}^{-1} = 640 \text{ ppm}$ ;  $1 \text{ mS cm}^{-1} = 0,64 \text{ g Kg}^{-1}$ ]
- Rango: 33 - 38  $\text{g Kg}^{-1}$  (agua de mar), 0 - 34  $\text{g Kg}^{-1}$  (estuarios, zonas costeras).
- Resolución: 0,01  $\text{g Kg}^{-1}$  (salinidad), 0,01  $\text{mS cm}^{-1}$  (conductividad)
- Exactitud requerida:  $\pm 0,05 \text{ g Kg}^{-1}$  (salinidad),  $\pm 0,005 \text{ mS cm}^{-1}$  (conductividad)
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Oxígeno Disuelto**

En términos biológicos, el oxígeno disuelto es el más importante de los gases disueltos en el agua, el cual puede provenir desde la atmósfera como producto de la fotosíntesis, o a través de procesos de advección/difusión. La solubilidad del oxígeno en el agua se expresa en miligramos de oxígeno por litro de agua, y disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta y la salinidad disminuye. El oxígeno disuelto en el agua es crítico para mantener la sobrevivencia de los peces (respiración). La actividad biológica y los procesos físicos de difusión, advección y transporte, determinan las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua. Los animales consumen oxígeno continuamente en la respiración, transformando el carbono orgánico en carbono inorgánico oxidado. Las plantas, a través de la fotosíntesis producen oxígeno, y el carbono inorgánico se reduce a carbono orgánico. Cuando el

---

contenido de oxígeno disuelto del agua corresponde al valor calculado teóricamente para la profundidad, temperatura y salinidad en un punto determinado, se dice que el agua está saturada. Si la concentración difiere de ese valor teórico, se producirá una sub o sobre saturación de la concentración de oxígeno disuelto.

#### Importancia de la medición in-situ

La concentración de oxígeno disuelto funciona como un indicador de condiciones ambientales y de la capacidad de carga del ambiente (capacidad de procesar cargas orgánicas). A través de su medición se puede diagnosticar el grado de ventilación y mezcla de la columna de agua.

Cabe destacar que la cantidad de oxígeno disuelto puede ser afectada por la cantidad de alimento no consumido por los peces de cultivo, que aumentan la cantidad de materia orgánica, de nitrógeno y fósforo de los sistemas acuáticos.

En los organismos, las bajas concentraciones de oxígeno provocan una disminución en la eficiencia de la asimilación de alimentos, donde las tasas de crecimiento, funcionalidad y las tasas de sobrevivencia pueden ser afectadas de manera negativa. Cambios permanentes en las condiciones de oxígeno afectan el sistema inmunológico de los organismos, aumentando la vulnerabilidad/mortalidad de los individuos.

#### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, las mediciones de oxígeno deben ser realizadas a diferentes profundidades de la columna de agua.

- Unidad de medida:

-Concentración:  $\text{mL L}^{-1}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\mu\text{M}$  (poco utilizado).  
-Saturación: %

◦ Rango:

-Concentración: 0 - 10  $\text{mL L}^{-1}$ , 0 - 7  $\text{mg L}^{-1}$ .  
-Saturación: 0 - 200 %

◦ Resolución:

-Concentración: 0,1  $\text{mL L}^{-1}$ , 0,07  $\text{mg L}^{-1}$ .  
-Saturación: 0,1 %

◦ Exactitud requerida:

-Concentración: 0,1  $\text{mL L}^{-1}$ ,  $\pm 0,07 \text{ mg L}^{-1}$ .  
-Saturación: %  $\pm 0,5$

Frecuencia de observación requerida: horaria.

• **Turbidez**

La turbidez del agua está dada por la cantidad de materia suspendida en la columna de agua.

La claridad del agua, además de definir la zona fótica (capa en la que penetra la luz y se produce la fotosíntesis), es un parámetro relevante para determinar las características de la productividad de un lugar.

Los elementos que conforman la turbidez pueden corresponder a materia orgánica suspendida (e.g. fitoplancton, zooplancton, detrito, etc.), materia orgánica disuelta (CDOM; carbohidratos, sacáridos, ácidos húmicos, etc.) o materia inorgánica suspendida (arcillas transportadas por ríos o la atmósfera).

Importancia de la medición in-situ

La medición de la turbidez en el agua es utilizada como un indicador de la calidad de ésta. Su determinación tiene numerosas ventajas, ya que la presencia de material suspendido en el agua puede ser perjudicial para el ecosistema en numerosas formas, también es un indicador de procesos como la proliferación/floración de algas nocivas (e.g., FAN). La turbidez de un cuerpo de agua genera efectos sobre la temperatura del agua, y por lo tanto sobre la concentración de oxígeno, debido a que las partículas suspendidas o disueltas en el agua son capaces de absorber calor. Por otra parte, el aumento de la turbidez reduce la cantidad de luz que penetra a través de la columna de agua, restringiendo espacialmente la fotosíntesis y la producción de oxígeno hacia los primeros metros.

Por otra parte, la turbidez limita la habilidad de los peces para capturar el alimento concentrado y por consiguiente este sedimentará incrementando la cantidad de materia orgánica en el fondo.

#### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, las mediciones de turbidez se deben realizar dentro de los primeros 25 m de la columna de agua.

- Unidad de medida: Nephelometric Turbidity Units o Formazin Turbidity Units (NTU/FTU).
- Rango: 0-1000 NTU/FTU (medido con luz de 800-890 nm).
- Resolución: 0,5 NTU/FTU.
- Exactitud requerida:  $\pm 0,5$  NTU/FTU.

Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **pH**

El pH es una medida de la concentración de  $H^+$  presente en el agua y representa que tan ácida o básica está el agua. Su determinación es un importante indicador de la calidad del agua. El pH del agua afecta las funciones fisiológicas de plantas y animales.

El pH tiene una escala que fluctúa de 0 a 14, y está directamente relacionado con la concentración de  $H^+$  y  $OH^-$  a una temperatura dada. A  $25^{\circ}C$ , una solución neutra presenta un pH de  $\sim 7$ , mientras que una solución ácida tiene un pH menor a 7 y una solución básica, o alcalina un pH mayor a 7. Estos límites varían dependiendo de la temperatura de la solución.

#### Importancia de la medición in-situ

El pH en el agua es un parámetro crítico que afecta desde microorganismos hasta peces. El pH es determinante para definir los procesos químicos y biológicos que se desarrollan en el ambiente acuático. Así mismo, la especiación química, solución y disolución de numerosos compuestos/especies estará determinado por el pH del sistema. Por ejemplo, la liberación de metales al agua por una disminución del pH puede afectar el metabolismo de los organismos. Para los organismos, el pH es una variable fundamental para mantener un adecuado ambiente que asegure su crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, los peces no resisten pH muy ácidos ( $pH < 5$ ), mientras que a pH básico ( $> 9$ ) pueden sufrir desnaturalización de las membranas celulares. Por otra parte, la especiación química del nitrógeno, determina que a  $pH > 9$ , la especie predominante del amonio estará en forma de amoníaco ( $NH_3$ ), compuesto que es tóxico para los peces. El pH posee una estrecha interdependencia entre las comunidades vegetales, animales y el medio acuático. Este fenómeno ocurre a medida en que las

comunidades acuáticas interfieren en el pH, así como el pH interfiere de diferentes maneras en el metabolismo de estas comunidades. Los organismos heterótrofos (bacterias y animales acuáticos) interfieren sobre el pH del medio en general, bajándolo. Esta situación ocurre debido a los intensos procesos de descomposición y respiración, a través de los cuales hay liberación de CO<sub>2</sub>, que por hidrólisis origina ácido carbónico e iones de hidrogeno. Estos procesos se ven aumentados cuando la cantidad de materia orgánica presente aumenta debido a un aumento de la productividad del sistema.

#### Requisitos operacionales

Para el objetivo del Proyecto, se deben realizar las mediciones de pH con sensores instalados en superficie (5-10 m de profundidad).

- Unidad de medida: adimensional.
- Rango: 1 -14 (escala general), 7-9 (rango en fiordos).
- Resolución: 0,1.
- Exactitud requerida: ±
- 0,5.
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Nutrientes**

Los nutrientes son esenciales para la vida. Que exista disponibilidad de éstos es vital para que exista productividad primaria y el traspaso de energía hacia los niveles tróficos superiores. Los ambientes marinos presentan un estrecho rango de concentraciones (entre nM y µM) y proporciones estequiométricas de nutrientes (e.g. proporción N:P entre 10 y 20). Estas

proporciones mantienen la calidad de las aguas, evitando por una parte la limitación de nutrientes para la productividad primaria, y por otra, la alta disponibilidad de especies nitrogenadas tóxicas para los organismos (e.g.,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ). Cuando estas proporciones se pierden, o existe un aumento en las concentraciones de los diferentes nutrientes, se presentan cambios en las comunidades planctónicas y bentónicas, algunos de ellos, nocivos para algunos componentes del ecosistema.

#### Importancia de la medición in-situ

Generalmente, asociado a las actividades acuícolas se presenta un aumento en la concentración de nutrientes. La excreción de los peces como la descomposición del alimento no ingerido son fuente de nutrientes nitrogenados y fosfatados. Estos aportes podrían ser perjudiciales para el medio ambiente y la fauna nativa. Dentro de los nutrientes más importantes se encuentra el nitrato, amonio y fosfato, cuyos roles se indican a continuación:

- Nitrato: Utilizado en procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica, funciona como indicador ambiental.
- Amonio: Funciona como un indicador ambiental que mide la calidad del agua, y además puede funcionar como un gatillante de Floraciones de Algas Nocivas (FAN o marea roja)
- Fosfato: Los aumentos en la concentración de fósforo están asociados al aumento de la productividad primaria y la posterior eutroficación del sistema asociado a la descomposición de la materia orgánica. Debido a que existe un creciente aumento de descarga de compuestos fosforados de origen antropogénico, la evaluación de los niveles de fósforo en el agua debería ser controlada/monitoreada para predecir y/o evitar una proliferación masiva de algas.

### Requisitos operacionales

Debido a que en estos momentos los sensores automáticos de nutrientes no están completamente desarrollados, por lo que existe una baja disponibilidad de ellos, son muy caros o se encuentran en fase de prueba, es que los nutrientes se deberán medir mediante la metodología descrita en el punto 10.6.3.4. Una vez que los sensores estén más desarrollados y sean económicamente accesibles, se deberán incluir en las estaciones de monitoreo.

#### Nitrato

- Unidad de medida:  $\mu\text{M}$ .
- Rango: 0-34  $\mu\text{M}$  (capa superficial), 8-31  $\mu\text{M}$  (capa subsuperficial).
- Resolución: 0,1  $\mu\text{M}$
- Exactitud:  $\pm 0,5 \mu\text{M}$
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

#### Amonio

- Unidad de medida:  $\mu\text{M}$ .
- Rango: 0-2,56  $\mu\text{M}$  (Capa superficial),  $< 0,1 - 2,01 \mu\text{M}$  (capa subsuperficial).
- Resolución: 0,01  $\mu\text{M}$
- Exactitud:  $\pm 0,05 \mu\text{M}$
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

#### Fosfato

- Unidad de medida:  $\mu\text{M}$ .
- Rango: 0-2  $\mu\text{M}$  (Capa superficial), 0,8 - 2,79  $\mu\text{M}$  (capa subsuperficial).

- Resolución: 0,01  $\mu\text{M}$
- Exactitud:  $\pm 0,05 \mu\text{M}$
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Fluorescencia**

Corresponde a una medición indirecta (proxy/indicador) de la clorofila-a en el agua. La clorofila es un pigmento constituyente del fitoplancton, y es una medida de la biomasa disponible en el primer nivel de la trama trófica. Junto con la energía lumínica forma parte del proceso fotosintético. Todas las plantas verdes contienen clorofila “a” la cual constituye aproximadamente el 1 a 2 % del peso seco de las algas fitoplanctónicas. Otros pigmentos presentes son la clorofila “b” y “c” así como otros productos de degradación. La presencia o ausencia de todos estos elementos es usada para separar los grupos principales de algas presentes.

#### Importancia de la medición in-situ

Al ser un proxy de la clorofila-a, por lo tanto, de la productividad primaria, un aumento de los niveles de fluorescencia indica un aumento de la productividad. Debido a que la cantidad de alimento no utilizado junto con la remineralización de la materia orgánica producida por los peces, aumenta la cantidad de nutrientes disponibles, la acuicultura afecta directamente a la productividad primaria y por ende a la fluorescencia. Es por esta razón que además puede ser utilizada como indicador de procesos/eventos de Floraciones de Algas Nocivas (FAN).

#### Requisitos operacionales

Para el objetivo del proyecto, las mediciones de fluorescencia deben ser realizadas dentro de los primeros 25 m de la columna de agua.

- Unidad de medida:  $\text{mg m}^{-3}$ ,  $\mu\text{L}^{-1}$ . [ $1 \text{ mg m}^{-3} = 1 \times 10^6 \mu\text{L}^{-1}$ ]
- Resolución:  $0,01 \text{ mg m}^{-3}$ .
- Exactitud requerida:  $\pm 0,01 \text{ mg m}^{-3}$ .
- Frecuencia de observación requerida: horaria.

- **Floraciones de Algas Nocivas (FAN)**

Las Floraciones de Algas Nocivas (FAN) son fenómenos naturales causados por organismos fitoplanctónicos microscópicos, que, en condiciones ambientales favorables para su desarrollo, se multiplican explosivamente y se concentran en determinadas localidades, donde pueden producir alteraciones para la salud humana, la vida marina o la economía del área afectada. Estas proliferaciones generalmente provocan cambios en la coloración del agua de mar, razón por la cual han sido llamadas "Mareas Rojas". La coloración y la intensidad que alcanzan las FAN, depende de la especie que prolifere y las concentraciones que ésta alcance.

Las FAN tienen un efecto inmediato en el aumento de la concentración de oxígeno en la capa superficial. Sin embargo, la proliferación de estas algas reduce la penetración de la luz, limitando la fotosíntesis a los primeros metros de la columna de agua, aumenta los procesos de respiración, y, por lo tanto, el consumo de oxígeno en las capas bajo el "Bloom" fitoplanctónico, además de un agotamiento de los nutrientes en las aguas superficiales de la columna de agua.

Hoy en día, estos “blooms” son medidos mediante proxys/indicadores o métodos manuales, pero debido a la gran importancia ambiental y económica que tiene, el poder detectar tempranamente este fenómeno permitiría prevenir/disminuir sus efectos en el ambiente, la industria y la salud pública. En los últimos años, se han realizado importantes avances en métodos de medición automáticos y continuos, que en un futuro podrán realizar mediciones en tiempo real. Llegado el momento en el que este tipo de instrumentación esté disponible en el mercado, y ya certificada su calidad, se deberá integrar este sensor a SOOAA.

### **Variable derivada**

- **Densidad**

La densidad es una variable derivada de la temperatura, salinidad y presión. No requiere ser medida in situ, sino que debe ser calculada mediante el Algoritmo Internacional de Ecuación de Estado de Teos, 2010. En los estuarios la densidad está dada principalmente por la salinidad.

#### **10.2.1.2.1. Resumen requisitos mínimos**

Para un mejor entendimiento de los requisitos operacionales mínimos que deben cumplir los equipos y sensores a utilizar en SOOAA, es que en la Tabla 5 se presentan los requerimientos mínimos a cumplir para cada variable. Cabe destacar que cualquier instrumento que cumpla con estas características podrá ser usado, dando prioridad a los equipos que superen las característica mínimas.

**Tabla 5. Requisitos mínimos a cumplir por los sensores y equipos para pertenecer a SOOAA.**

	Variables	Unidad de medida	Rango de medición	Resolución	Exactitud / Precisión
Meteorológicas	Temperatura	°C	-20 a 45 (SOA) -80 a 60 (OMM)	0,1	± 0,3
	Presión	hPa	500 - 1080	0,1	± 0,1
	Magnitud viento	m s <sup>-1</sup>	0 - 70	0,5	± 0,5 (Mag. ≤ 5) ± 10% (Mag. >5) (*)
		knt	0- 137	0,05	± 0,05 (Mag. ≤ 10) ± 10% (Mag. >10) (*)
	Dirección viento	Grados (°)	0 - 360	5	± 5
	Ráfaga viento	m s <sup>-1</sup>	7 - 75	1	± 10 %
		knt	9 -146	2	
Radiación solar	W m <sup>-2</sup>	0-1800	1	±5% de rango medido en un día	
Precipitación	mm	0 a > 400	0,2	± 0.1 (Prep. ≤ 5) ± 4% (Prep. >5) (*)	
Oceanográficas	Velocidad corrientes	m s <sup>-1</sup>	Columna de agua de 25 m	Celdas de 1 m.	± 1% ± 5 mm s <sup>-1</sup>
	Dirección corrientes	Grados (°)	0 - 360	5	± 5
	Presión	bar	-	0,1	± 1% (*)
	Profundidad	m	-	0,1	± 1% (*)
	Temperatura	°C	2 - 20	0,01	± 0,05
	Salinidad (Conductividad)	g Kg <sup>-1</sup> /PSU (mS cm <sup>-1</sup> )	0 - 38 (0- 60)	0,01 (0,001)	± 0,05 (±0,005)
	Oxígeno disuelto/ % Saturación	mL L <sup>-1</sup>	0 - 10	0,1	± 0,1
		mg L <sup>-1</sup>	0 -7	0,07	± 0,07
		%	0 - 200	0,1	± 0,5
	Turbidez (medir a 800 - 890 nm)	NTU	0-1000	0,5	± 0, 5
	pH	-	1 - 14 (general) 7 - 9 (fiordos)	0,1	± 0,5
	Nitrato	μM	0 - 34 (superficie) 8 - 31 (subsuperficial)	0,1	± 0,5
	Amonio	μM	0 - 2,56 (superficie) <1 - 2,01 (subsuperficial)	0,01	± 0,05
Fosfato	μM	0 - 2,0 (superficie) 0,8 - 2,79 (subsuperficial)	0,01	± 0,05	
Fluorescencia	mg m <sup>-3</sup> / μ L <sup>-1</sup>	-	0,01	± 0,01	

(\*) Porcentaje calculado de acuerdo al valor medido.

### **10.2.1.3. Estaciones de monitoreo**

El diseño de las estaciones de monitoreo considera las variables esenciales a medir, y profundidades/alturas generales. Las profundidades máximas a las que se registrarán las variables oceanográficas dependerán de la profundidad del sitio de monitoreo. Se proponen dos tipos de estaciones de monitoreo: una oceánica y una costera-terrestre. En la Tabla 5, se detallan las variables esenciales y las profundidades a las que se debe medir en las estaciones de monitoreo oceánicas. Cabe destacar que las profundidades seleccionadas responden a la estructura vertical y la variabilidad general que existe en la zona a monitorear. Si bien, se ha observado que, dentro de la X Región de Los Lagos, la variabilidad vertical de las propiedades hidrográficas no es homogénea, existen algunas características que permitieron decidir en qué estratos de la columna de agua se debe realizar un muestreo verticalmente discreto (ver detalles en el punto 10.3). Dentro de los canales y fiordos de la Región, y en aquellas áreas próximas a fuentes de agua dulce, el estrato de mayor variabilidad es el segmento entre 0 – 25 m de profundidad, respondiendo como un sistema de dos capas, cuya pycnoclina (variación súbita de densidad) presenta fluctuaciones forzadas por la variabilidad en el ingreso de agua dulce debido a la interacción de la onda de marea con la geomorfología de la cuenca y el viento asociado, entre otros. Por otro lado, en aquellas zonas cuya batimetría permita un intercambio más profundo (i.e. fiordos suficientemente profundos), el esquema clásico de dos capas asociado a la circulación estuarina puede verse modificado, presentando una capa más profunda de variabilidad significativa centrada en ~50 m (e.g. boca fiordo Reloncaví y canal Lemuy), la que se asociaría a la penetración de agua más

densa (más salina) de origen oceánico. Este rasgo en fiordos cuya profundidad sea somero no es observado, ya que éste impide el flujo libre de agua oceánica profunda, generando dentro de él un sistema aislado cuya renovación de agua profunda estaría sujeta a otros mecanismos, como, por ejemplo, la generación de un salto hidráulico interno durante una intensa marea llenante (pleamar). Por último, en sistemas abiertos, como el golfo Corcovado, la columna de agua se presenta altamente mezclada, donde incluso su variabilidad vertical es mayor bajo ~50 m de profundidad (e.g. al sur del canal Apiao). En estos casos, en que, debido a la dinámica del sitio de monitoreo, es necesaria agregar una medición a 50 m, ésta debe contar con sensores de temperatura, oxígeno, salinidad y turbidez.

**Tabla 6. Variables oceanográficas a monitorear y profundidad de las mediciones.**

Estación de monitoreo oceánica	
Variable	Profundidad general (m)
Temperatura	0-1;5;10;25; profundidad máxima
Conductividad / Salinidad	0-1;5;10;25; profundidad máxima
Presión	0-1;5;10;25; profundidad máxima
Corrientes	Perfil vertical de 0 a 25 m
Fluorescencia	0-1;5;10;25
Turbidez	0-1;5;10;25
Oxígeno disuelto	0-1;5;10;25; profundidad máxima
pH	0-1;5;10

### Estación de monitoreo oceanográfica



### Estación de monitoreo costera



Figura 16. Esquema general de las estaciones de monitoreo oceanográfica y costera. En naranja se muestran las variables meteorológicas (1: temperatura, 2: presión atmosférica, 3: viento (magnitud, dirección), 4: radiación solar, 5: precipitación), y en celeste se muestran las variables oceanográficas (1: temperatura, 2: conductividad/salinidad, 3: presión/profundidad, 4: corrientes, 5: fluorescencia, 6: turbidez, 7: oxígeno disuelto, 8: pH). Además se presentan las profundidades/alturas, en metros, a las que debe ser medida cada variable señalada.

### 10.2.2. Sistema de Transmisión, Recepción y Almacenamiento de Datos

En esta sección se entrega una propuesta para la definición de las funciones de transmisión, recepción y almacenamiento de los valores registrados por las estaciones de monitoreo. Se define, en primer lugar, una lista de requerimientos que deben ser satisfechos por estas funciones, para luego analizar diferentes alternativas actuales y evaluar su nivel de satisfacción de los requerimientos planteados para cada una de las tres funciones.

Al final de esta sección se presenta una lista con el resultado de las evaluaciones preliminares, y las propuestas de definición de estándares y protocolos para cada una de las funciones.

Para efectos del análisis, la definición y alcance de cada una de las tres funciones es el siguiente:

- **Transmisión.** Medio o canal utilizado para la comunicación. De acuerdo al modelo OSI, el alcance de esta función es hasta la capa de red.
- **Recepción.** Definición de los protocolos utilizados sobre la capa de red, desde la capa de transporte. Incluye la forma de serialización y empaquetado de los datos, los aspectos de seguridad y la confirmación de la recepción.
- **Almacenamiento.** Definición de las características que debe satisfacer el sistema de almacenamiento de los datos, incluyendo aspectos de seguridad de la información, disponibilidad, costos, respaldos, tiempos de respuestas, tipos de indexación, etc.

Se define la siguiente lista de requerimientos a evaluar para las funciones de transmisión, recepción y almacenamiento del sistema de monitoreo.

1. [**Independencia**] Independencia entre las funciones. Idealmente, el subsistema de recepción no debería depender del canal de transmisión, al igual que el almacenamiento. Por ejemplo, un protocolo SOAP1.1 para web-services define los puntos de entrada de los servicios y la forma de empaquetar los mensajes (sobres), pero los servicios pueden ser enviados mediante requests http, correos smtp o sistemas de colas.
2. [**Estándar**] Las funciones deben ser implementadas utilizando tecnologías (hardware, software y protocolos) abiertas, no propietarias, estándares, altamente difundidos y de fácil adopción. Esto asegura que la mayor cantidad de dispositivos puedan acoplarse fácilmente al sistema de monitoreo, que el costo de la integración sea bajo, que exista suficiente personal técnico que pueda implementar las integraciones y que la base del sistema esté altamente probada.
3. [**Seguridad**] Cada una de las funciones debe proveer los mecanismos de seguridad que garanticen que la información no pueda ser modificada o inyectada por terceros mediante, por ejemplo, mecanismos de suplantación de identidad.
4. [**En Línea**] Debe permitir contar con datos en línea, con un retraso máximo de una hora en condiciones de operación normal. Esto es necesario si se desea que el sistema de monitoreo pueda ser usado de forma proactiva y no sólo reactiva, por ejemplo,

- para disparar alertas automáticas ante bajas de niveles de oxígeno disuelto, en comparación con el uso de datos sólo para análisis estadísticos o para auditorías.
5. [**Modo Contingencia**] Se debe permitir funcionamiento fuera de línea en modo de contingencia. Cada dispositivo debe ser capaz de almacenar los valores de sus mediciones (data logger) en forma local hasta poder ser transmitidos hacia un servidor central. Se define el período mínimo de almacenamiento local como 5 días para funcionamiento en modo contingencia (sin conexión en línea). El sistema debe contar con algún mecanismo de re-conexión automática si se detecta el modo contingencia.
  6. [**Confirmación Acciones**] Confirmación de las acciones. Cada función debe proveer servicios que aseguren, a quien las utiliza (componente cliente), que las acciones que invoca se completaron con éxito. Esto significa que cada elemento debe responder con algún tipo de mensaje ACK.
  7. [**Liviano**] Los protocolos que se definan deben ser livianos en cuanto al software necesario para su implementación. Se debe tomar en cuenta que los dispositivos que enviarán los datos se basarán en placas controladoras de poca capacidad, basadas en procesadores pequeños y de bajo consumo.

### **10.2.2.1. Módulo de Transmisión**

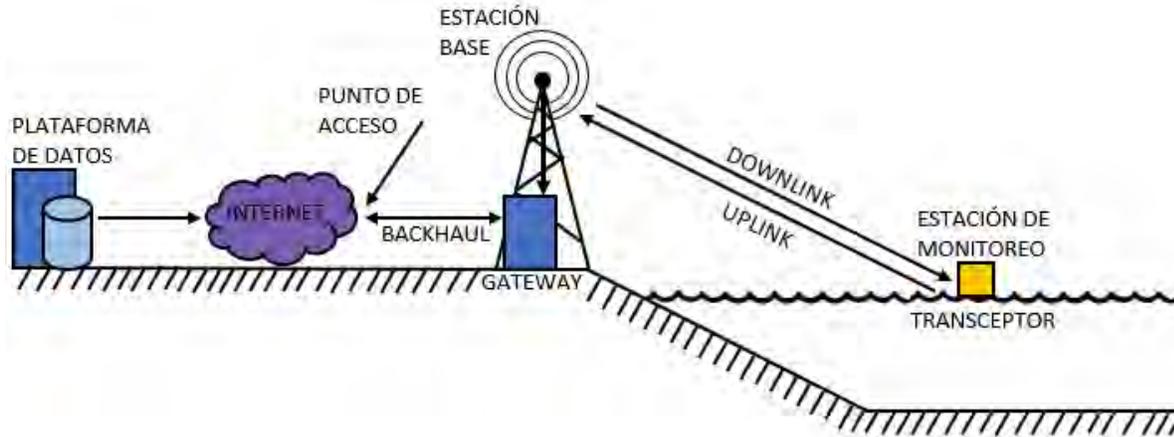
El objetivo de esta sección es describir los requerimientos de comunicaciones que permitan, en última instancia, llevar los datos recopilados por la estación de monitoreo hasta una plataforma de datos en la nube (accesible a través de Internet).

La comunicación entre la estación de monitoreo y la estación de tierra del Sistema de Observación del Océano de Apoyo a la Acuicultura (SOOAA) se enmarca en lo que se conoce como comunicación máquina a máquina (M2M: Machine to machine) o, más recientemente, como la Internet de las cosas (IoT: Internet of Things). Este tipo específico de comunicaciones tiene características únicas que lo diferencian de otros, tales como, las comunicaciones de voz y video, así como comunicaciones transaccionales, tales como, navegación Web, comunicaciones de texto (chat), etc. Por mencionar algunas de estas características:

- ✓ Baja velocidad de transmisión de datos.
- ✓ Comportamiento de tráfico plano. La distribución de la transmisión de datos a lo largo del tiempo no se verá afectada por fenómenos externos, tales como los que ocurren en las comunicaciones entre personas.
- ✓ Posibilidad de retransmisión de datos que resulten corruptos.
- ✓ Capacidad de almacenar los datos cuando las condiciones de comunicación se vean afectadas por ejemplo por fenómenos climáticos, y transmitir cuando las condiciones sean favorables. Esto, con el fin de mantener la continuidad de las series respectivas.

En los últimos años se ha desarrollado un tipo de tecnología de transmisión de datos ad-hoc a la Internet de las cosas, denominado LPWA (LowPower Wide Area: Redes de amplia cobertura y dispositivos de bajo consumo). En este informe se describirán algunas tecnologías LPWA, comparándolas entre sí en base a criterios que se estandarizarán. Así mismo, también se describirá otro tipo de tecnologías que, si bien es cierto, no son las más eficientes para el objetivo planteado, podrían ser utilizadas exitosamente en la comunicación entre la estación de monitoreo y la estación base en tierra, o bien, entre la estación base y puntos de acceso a Internet (backhaul).

Las comunicaciones IoT se establecen en una topología “estrella”, esto es: todos los dispositivos transceptores se comunican directamente a su estación base, sin pasar por otros dispositivos. En el contexto de este informe, siempre es posible asociar las lecturas de todos los sensores de una misma estación de monitoreo y utilizar un único transceptor para transmitir todos los datos a la estación base. De esta forma, la topología estrella se entenderá como la capacidad de que múltiples estaciones de monitoreo se puedan comunicar con una misma estación base. Esto es muy deseable ya que algunas de las estaciones de monitoreo estarán ubicadas en el agua, lo que imposibilita otro tipo de topologías, como por ejemplo “Mesh”, en la que las señales se transmiten de un transceptor a otro, en saltos cortos, hasta llegar a la estación base.



**Figura 17. Esquema general del sistema de transmisión de SOOAA.**

El esquema general del sistema de transmisión SOOAA (Figura 17), está conformado por las siguientes partes:

- ✓ **[Plataforma de datos]** El conjunto de servidores de datos o computadores que, junto con el software ad-hoc, permitirán el almacenamiento, procesamiento y análisis en tiempo real de los datos provenientes de las estaciones de monitoreo SOOAA. También comprende los equipos y software ad-hoc que permita la publicación, a través de la Web, de los datos y/o resultados obtenidos.
  
- ✓ **[Internet]** Se conoce por Internet el conjunto de redes de comunicación interconectadas que utilizan la familia de protocolos TCP/IP. Esto hace posible que las redes físicas heterogéneas que la componen formen una red lógica única de alcance mundial. También se utiliza el término Nube, para denotar, específicamente, una familia de servicios que pueden ser entregados a través de Internet.

- ✓ **[ISP: Internet Service Provider]** Se refiere a compañías privadas que entregan servicios de Internet. Habitualmente, compañías de telefonía celular, o compañías especializadas en conexiones dedicadas.
- ✓ **[Punto de acceso (a Internet)]** En el contexto de este informe se utilizará el término “punto de acceso” (o access point, en inglés) como el equipamiento técnico dispuesto en un punto geográfico que permite llevar datos a Internet. Los puntos de acceso, pueden ser inalámbricos o cableados y son utilizados por los ISP para llevar los datos de sus clientes a Internet.
- ✓ **[Backhaul]** Este término se refiere al tipo de comunicaciones que se utilizará para llevar una señal desde su estación base hasta un punto de acceso a Internet.
- ✓ **[Estación base]** De manera genérica se utilizará el término “estación base” para referirnos al equipamiento técnico ubicado en tierra, desde el cual se transmitirá hacia la estación de monitoreo y se recibirán las transmisiones provenientes de la estación de monitoreo. En algunos casos, a la estación base se le denomina “**Gateway**”, denotando su capacidad para traducir las señales desde un tipo de red de aire a otro tipo de red que puede ser de aire o cableada, que en este contexto se denomina backhaul y que permite llevar los datos hasta un punto de acceso.
- ✓ **[Transceptor]** Dispositivo electrónico encargado de la recepción y transmisión de una comunicación.
- ✓ **[Downlink]** Desde el punto de vista de un transceptor, se refiere a la conexión de comunicaciones que permite recibir datos desde la estación base.

- ✓ **[Uplink]** Desde el punto de vista de un transceptor, se refiere a la conexión de comunicaciones que permite transmitir datos a la estación base.
- ✓ **[Estación de monitoreo]** La estación que contiene los sensores capaces de recopilar las variables de interés y donde se ubica el transceptor, como por ejemplo un anclaje, o una estación meteorológica.
- **Diferentes tipos de comunicación**

No se evaluará la amplia gama de alternativas de comunicación disponibles en el mercado, sino que se enfocará específicamente en aquellas tecnologías de comunicación que tengan algún nivel de viabilidad para el objetivo de este Proyecto.

- A. **Satelital** La opción satelital es recomendable en los casos extremos en los que el costo de backhaul es restrictivo para el proyecto. Se pueden concentrar los datos de la estación de monitoreo y transmitir desde la misma estación de monitoreo directamente al satélite. La tecnología satelital también puede ser usada como alternativa de backhaul; es decir, se puede utilizar una tecnología eficiente para atender más de una estación de monitoreo desde una misma estación base en tierra y utilizar tecnología satelital como medio de backhaul cuando otras tecnologías resulten restrictivas en su costo al encontrarse muy lejos de puntos de acceso a Internet.
- B. **Punto a Punto** Este tipo de comunicación requiere que la antena de la estación base y la antena del transceptor de la estación de monitoreo se encuentren alineadas entre sí, lo que resulta poco probable, dadas las condiciones de oscilación en las que muy probablemente se encontrarán las estaciones de monitoreo.

C. **Celular** Se pueden utilizar siempre que exista cobertura garantizada en la zona geográfica (en el mar) en donde se ubiquen las estaciones de monitoreo.

D. **LPWAN** Antena de bajo consumo de energía y área amplia de conectividad.

- a. *SigFox*: Disponible en algunas localidades desde 2017. La licencia de operación en Chile está en manos de un operador telefónico. Se requiere contratar el servicio.
- b. *RPMA (Ingenu)*: Disponible en algunas localidades desde 2017. La licencia en Chile está en manos de un operador ISP. Se requiere contratar el servicio.
- c. *LoRa*: No depende de ningún operador, puede ser adquirida y administrada en forma privada. Se paga una sola vez y su costo es bajo.

Para comparar los diferentes tipos de comunicación entre la estación base y la estación de monitoreo se utilizaron las Tablas 7, 8 y 9. Algunos de los aspectos que se tuvieron en consideración para comparar las diferentes alternativas son:

- ✓ Requerimientos de backhaul.
- ✓ Necesidad de línea de vista.
- ✓ Velocidad de transmisión de datos (Uplink).
- ✓ Espectro de frecuencia.

**[Línea de Vista o Line of Sight]** Se refiere a tecnologías de comunicación que necesitan una trayectoria libre de obstrucciones entre el transmisor y el receptor.

En relación a la velocidad de transmisión de datos, nos interesa específicamente la comunicación entre la estación de monitoreo y su estación base (Uplink), ya que, la mayor parte del tiempo, la estación de monitoreo transmitirá datos, en tanto que la recepción de datos desde la estación base (downlink) podría ser necesaria de forma esporádica. Tal como se ha señalado, los requerimientos de velocidad de transmisión de datos para SOOAA son mínimos.

**Tabla 7. Comparación de los diferentes tipos de tecnología de comunicación y sus requerimientos de backhaul.**

<b>Tipo de tecnología</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Requerimientos de Backhaul</b>
Satelital	Iridium	No requiere. Los datos pueden llegar a cualquier Plataforma existente en Internet.
	Inmarsat	
Punto a punto	VHF	Más que para la comunicación Estación Base – Estación de Monitoreo, estas tecnologías son más apropiadas como medio de comunicación backhaul.
	UHF	
	Micro-ondas	
	Cable Submarino	
Celular	2G (GPRS)	No requiere, porque el servicio completo lo entregan operadores telefónicos.
	3G (EDGE)	
	4G o LTE	
LPWAN	SigFox	No requiere, porque el servicio completo lo entrega un operador telefónico.
	RPMA (Ingenu)	No requiere, porque el servicio completo lo entrega un operador ISP
	LoRa	Sí requiere

**Tabla 8. Comparación de las diferentes tecnologías de comunicación considerando la velocidad de transmisión de datos.**

<b>Tipo de tecnología</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Radio de Cobertura</b>	<b>¿Requiere Línea de Vista?</b>	<b>Velocidad de transmisión de datos</b>
Satelital	Iridium	Global	No	Hasta 10 kbps
	Inmarsat	Global	No	Hasta 128 kbps
Punto a punto	VHF	6-8 Km	Sí	19,2 kbps/38,4 kbps
	UHF (SATEL)	6-8 Km	Sí	115,2 kbps
	Micro-ondas	30 Km	Sí	Típicamente, 2 -10 Mbps.
	Cable Submarino (Fibra óptica)	Hasta 80 Km	-	Típicamente en el orden de los 10 Gbps
Celular	2G (GPRS)	3 – 6 Km	Depende de la frecuencia asignada.  Mientras más baja, mayor será su capacidad de penetración (mayor alcance)	26.8 kbps
	3G (EDGE Clase 4 y superiores, HSPA)			EDGE: 108-384 kbps. HSPA: 6–23 Mbps.
	4G o LTE (Cat 3)			50 Mbps.
LPWAN	SigFox	Típicamente, entre 10 – 15 Km.	No	100 bps
	RPMA (Ingenu)		Sí	41,03 kbps
	LoRa	50 Km en condiciones de laboratorio o casos excepcionales.	No	37,5 kbps

**Tabla 9. Comparación de las diferentes tecnologías de comunicación considerando el espectro de frecuencia de transmisión.**

Tipo de tecnología	Ejemplos	Tipo de espectro
Satelital	Iridium	El uso de bandas de frecuencias satelitales está regulado internacionalmente. Las licencias respectivas están manejadas por los proveedores de servicios satelitales que operan cada una de las tecnologías disponibles.
	Inmarsat	
Punto a punto	VHF	Requieren de autorización de Subtel
	UHF	
	Micro-ondas	
	Cable Submarino	No aplica
Celular	2G (GPRS)	Utilizan bandas de frecuencias licenciadas por Subtel.
	3G (EDGE)	
	4G o LTE	
LPWAN	SigFox	Utilizan bandas de frecuencia compartidas. Podrían estar sujetas a interferencia proveniente de otras fuentes de emisión. Cuentan con estrategias que disminuyen las probabilidades de interferencia.
	RPMA (Ingenu)	
	LoRa	

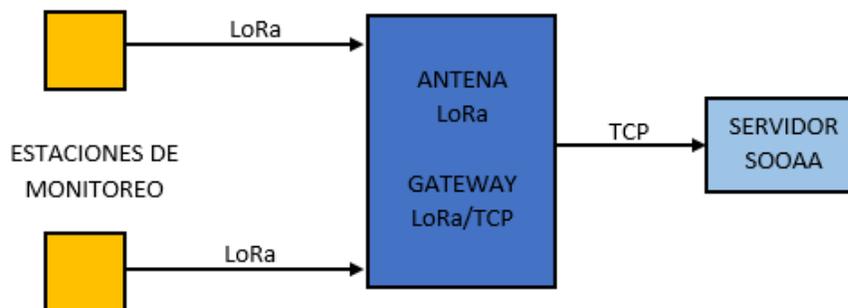
#### 10.2.2.2. Módulo de Recepción

De acuerdo a lo expuesto en el punto anterior, se asume que la función de transmisión de los datos desde las estaciones de monitoreo está soportada por un canal que provea una conexión basada en TCP/IP. Sobre esta base se analizan algunas posibilidades de protocolos de capa de aplicación que aseguren el envío y recepción de los valores de las variables monitoreadas.

Si bien, el requerimiento 1 (Independencia) planteado anteriormente establece la independencia entre las funciones, se define como aceptable asumir que el canal de

comunicación ofrecerá, al menos, una conexión punto a punto de tipo TCP, debido al altísimo nivel de estandarización de este protocolo (requerimiento 2: Estándar).

Se debe considerar que la definición del Sistema de Transmisión establece los mecanismos necesarios para que el Sistema de Recepción pueda asumir que ya se cuenta con un canal TCP para el envío de los valores monitoreados hacia el servidor. En particular, para el caso de las estaciones de monitoreo que no tengan acceso a señales de antenas celulares, se propone el uso de un sistema de transmisión serial basado en una comunicación Lora desde la estación de monitoreo hacia una antena o estación base (ubicada en la costa), la que cumplirá, adicionalmente, con la funcionalidad de Gateway hacia el servidor central, mediante una conexión TCP, idealmente, a través de conexión a red celular (backhaul, debido a los costos de una conexión satelital). A continuación se presenta un esquema que representa esta configuración:



**Figura 18. Esquema de la configuración de un sistema de transmisión serial basado en una comunicación LoRa.**

La implementación de esta solución está descrita en el punto 10.5.1 de este documento. Para efectos del sistema de recepción, se asume que las invocaciones serán mediante TCP,

independiente que las estaciones de monitoreo envíen directamente sus mediciones o lo hagan a través de un Gateway LoRa/TCP.

- **Protocolo Nativo en base a sockets**

Es posible definir un protocolo ad-hoc en base a conexiones a nivel de sockets TCP/IP. El protocolo puede establecer mecanismos de confirmación de recepción de datos (ACK) y encriptación. Es óptimo en cuanto a tamaño de los paquetes de envío / confirmación se logra utilizando un protocolo binario.

En cuanto a las velocidades y cantidad de datos que se transmiten, esta alternativa es la óptima; sin embargo, de acuerdo al requerimiento 2 (Estándar) esta opción es la menos recomendada. Si se define un nuevo protocolo ad-hoc sobre TCP/IP, cada nuevo dispositivo que se integre a la red de monitoreo deberá implementar el software de integración.

### **1.- Protocolo MQTT**

El protocolo MQTT (<http://mqtt.org/>) ha sido aceptado desde el año 2013 como un estándar del grupo OASIS. Se enfoca en la transmisión óptima (tamaño) de paquetes entre máquinas sobre una conexión TCP.

Este protocolo soporta además la transmisión segura mediante SSL sobre TCP.

MQTT es un protocolo del tipo “publish/subscribe”, en donde cada participante se registra en tópicos de interés y tiene acceso a los datos enviados por los otros participantes hacia ese tópico. Esto permite la implementación de sistemas en donde varios participantes tienen acceso inmediato a la información enviada por cada uno de ellos.

Cabe destacar que, en el caso del Sistema de Monitoreo propuesto, esta funcionalidad (publish/subscribe) no es necesaria, ya que es de naturaleza centralizada. Un sistema de este tipo podría implementarse como servicios en el servidor central SOOAA (clúster) para que luego otras entidades interesadas puedan tener acceso automático (M2M) a la información en línea.

MQTT define los aspectos de transmisión de los paquetes, y cómo ellos se entregan y reparten entre los participantes del sistema, pero deja abierto el contenido de los mensajes. No se establecen formatos acerca de los datos que se transmiten, sino que sólo la forma de transmitirlos y distribuirlos.

Según lo anterior, y considerando que no se requiere de un protocolo del tipo publish/subscribe para esta solución, se estima que el nivel de estandarización alcanzado por este protocolo no es tan alto respecto de otros actuales (REST/HTTP) como para su utilización en este Proyecto. Si bien, la optimización en la cantidad de información que se transmite es mejor (en comparación a REST/HTTP), las transmisiones serán mediante conexiones celulares, lo que no establece mayor diferencia. Se debe recordar que entre las estaciones de monitoreo que no tengan conexión y sus antenas base, se usará una conexión LoRa con un protocolo binario nativo (estas conexiones son muy lentas y la optimización del tamaño de los paquetes es un requerimiento fundamental).

Si se determina en algún momento que se requerirá de una conexión muy lenta y/o costosa entre las estaciones de monitoreo (o los Gateways LoRa/TCP) y el servidor central, MQTT es un protocolo que debe ser considerado.

## **2.- Web-Services (SOAP 1.1)**

El protocolo SOAP 1.1 sobre un transporte TCP agrega la estandarización necesaria sobre los sockets con un protocolo nativo.

El protocolo SOAP 1.1 (<https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508/>) se basa en documentos XML para empaquetar la información de los mensajes dentro de un “sobre”. El protocolo define además los mecanismos de validación (esquemas) de los datos que se envían.

SOAP 1.1 agrega estándares de seguridad que permiten garantizar la identidad de una o ambas partes dentro de una comunicación, junto a la encriptación de los datos que se transmiten.

Este protocolo contempla, en forma integrada, el mecanismo de confirmación de recepción de los datos, lo que significa que el cliente (estación de monitoreo) se asegura que los datos son recibidos luego de cada invocación al servidor.

Una de las características principales de este protocolo es que la estructura de los mensajes queda determinada por el protocolo, agregando documentos de validación y definición de tipos de datos propios (compuestos). Si bien esta característica es útil para APIS abiertas, en donde se desea asegurar la integridad en integraciones entre múltiples organizaciones, este protocolo está siendo cada vez menos utilizado debido a que las mismas restricciones sobre las estructuras de los datos, junto a la burocracia necesaria para que cada nuevo cliente de los servicios se integre, colocan una carga extra en la implementación de estos clientes de los servicios. Si bien, la rigidez en la definición de las estructuras de los datos que se transmiten

asegura su validez antes de ser enviados, esta misma característica hace difícil introducir modificaciones en los contratos de los servicios sin afectar a los clientes que ya están en funcionamiento.

A pesar de que SOAP se declara como un protocolo liviano, el software requerido por el lado del cliente de los servicios no es simple ni liviano, por lo que no hay implementaciones para controladores muy básicos. Esto es debido a la carga de memoria y CPU que requieren los “parsers” y validadores XML (validar contra WSDL y/o esquemas).

En cuanto a la adopción y uso de este protocolo, cabe mencionar que hasta hace algunos años era de los más utilizados, sin embargo, su adopción ha retrocedido debido a las complicaciones antes mencionadas. La gran mayoría de las APIs nuevas no están soportando este protocolo hoy en día.

### **3.- API REST/ JSON sobre HTTPS**

Un API de tipo REST (Representational State Transfer) corresponde a la exposición de servicios asociados a operaciones comunes sobre entidades. Se basa en las operaciones ya definidas en el protocolo HTTP (PUT, GET, POST, DELETE) el que se usa como transporte. Las operaciones son parte de la definición de los servicios, lo que resulta en la normalización y estandarización de los contratos de los servicios. Por ejemplo, una operación GET sobre una URL /cliente?rut=999 se asume que consulta los datos (GET) de un cliente identificado por su RUT.

Las operaciones de tipo REST son independientes del mecanismo de serialización de los datos que se envían y reciben durante una operación. El formato de serialización más

utilizado en la actualidad es JSON, debido a su simpleza, su bajo peso (relativo, en comparación a XML, aunque muy superior a un formato binario) y su flexibilidad.

Actualmente las APIs basadas en REST / JSON alcanzan al 70% de los servicios públicos que se exponen en la web (<https://stormpath.com/blog/rest-vs-soap>).

Los parsers JSON son muy livianos y mucho más eficientes que los parsers XML, ya que no requieren validaciones más allá de las sintácticas. Están soportados para controladores muy pequeños (por ejemplo, para un procesador ATmega328, disponible en placas Arduino).

Si los requerimientos REST /JSON se ejecutan sobre un canal seguro HTTPS (HTTP sobre SSL) se asegura la identidad de una o ambas partes y la encriptación de los datos que viajan.

HTTP define un sistema de confirmación ACK como un código de respuesta a los “requests”. Si el cliente de una invocación REST sobre HTTP o HTTPS recibe un código 200, puede asumir que el servidor recibió los datos que él envió.

- **Resumen de la Funcionalidad de Recepción**

Se han presentado tres opciones de implementación de protocolos que permiten contar con una comunicación segura para el envío de los datos de las variables obtenidas desde las estaciones de monitoreo hacia un servidor centralizado. En este punto se resumen las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, se presenta una tabla comparativa respecto a los requerimientos que se plantearon al inicio de esta sección, y se propone finalmente una alternativa como el estándar que debería utilizarse en el sistema de monitoreo SOOAA.

- A. **Sockets sobre TCP/IP.** De las opciones planteadas ésta es la óptima en cuanto a utilización de recursos (memoria, CPU, tráfico de red). Esta opción es, al mismo tiempo, la de más bajo nivel. De hecho, las otras dos alternativas se basan en ésta (están construidas sobre sockets TCP/IP al ser usadas sobre un transporte HTTP). Al ser una propuesta de bajo nivel, debe definirse en detalle un protocolo de serialización de los datos y de confirmación de recepción, además de los mecanismos de encriptación. Cada nueva integración de un dispositivo diferente al sistema de monitoreo debe incluir el desarrollo del software necesario para implementar el protocolo que acá se defina, con los riesgos, costos, demoras y dificultades asociadas a cualquier desarrollo de software de bajo nivel. Debido a este último punto, se descarta la opción de la utilización de un protocolo ad-hoc de bajo nivel basado en sockets TCP/IP.
- B. **MQTT.** Protocolo con cierto nivel de estandarización en el área de las comunicaciones para IoT desde el año 2013. Apto para sistemas de mensajería basados en un protocolo del tipo publish/subscribe. Optimiza el tamaño de los paquetes que se envían entre las estaciones de monitoreo (o sus Gateways) y el servidor. Existen implementaciones Open Source (Mosquitto) para servidores (brokers) y clientes. El nivel de estandarización de este protocolo no es tan alto como uno basado en REST/HTTP, para el que existen actualmente muchas más opciones y facilidad de integración. Sin embargo, si se considera que el tamaño de los paquetes que se transmiten es muy importante (por ejemplo, si hay conexiones satelitales) entonces se debe considerar esta opción por sobre REST/HTTP. Respecto a la confirmación de la recepción, el protocolo permite asegurar que el mensaje es

enviado al broker, sin embargo, el broker y el servidor final de base de datos (BigData) no son parte del mismo servidor (mismo proceso) por lo que el protocolo no puede asegurar que el servidor de datos pudo almacenar los mensajes enviados dentro de la misma llamada. Esto ocurre porque es posible que en el momento de la recepción, el servidor no esté suscrito al tópico asociado a la estación de medición (por ejemplo, debido a actualización o reinicio) y el protocolo no establece un mecanismo de persistencia (temporal) de los mensajes para los clientes que se suscriban al broker luego de recibido algún mensaje, por lo que éstos podrían llegar a perderse.

C. **SOAP 1.1.** Es un protocolo estándar de alto nivel. Es independiente del transporte (transmisión). A pesar de declararse liviano, es (en cuanto a recursos de memoria, CPU y tráfico de red) el más pesado de los que acá se evalúan. El peso de las bibliotecas necesarias para los dispositivos cliente lo hacen muy difícil de soportar en dispositivos pequeños, con controladores de recursos limitados. Por otra parte, como se mencionó anteriormente, el uso de este protocolo (al igual que su sucesor SOAP 1.2) se está reduciendo cada vez más, debido a las dificultades (burocráticas) que implica su implementación (formatos de documentos, validaciones, políticas de seguridad, etc.). Los contratos de servicios son difíciles de cambiar una vez definidos, por lo que quedan muy estáticos y dificultarían a futuro introducir cambios en la mensajería. Debido a que se desea proponer una alternativa que sea perdurable en el tiempo, y dadas las desventajas del peso y restricciones de implementar cambios, se descarta esta opción para el sistema de monitoreo.

**D. REST/JSON sobre HTTPS.** En cuanto al peso (memoria del cliente, CPU y tráfico de red) ofrece un punto medio entre la implementación nativa vía sockets y servicios web SOAP 1.1. Los contratos de los servicios son altamente flexibles. Esta flexibilidad en el caso del Sistema de Monitoreo es una ventaja, ya que los desarrollos de las integraciones serán en un ambiente controlado (no hay clientes externos consumiendo los servicios). La seguridad está dada por el transporte (HTTPS). Se propone el uso de certificados en el destino (servidor) para evitar suplantación de identidad, dado que los dispositivos cliente no tendrán la capacidad de procesar esta lógica de validación. Como se mencionó anteriormente, las APIs basadas en este protocolo son cada vez más usadas, alcanzando actualmente al 70% de las APIs públicas. Esto se debe, en gran medida, a la facilidad de integración con ellas. Es debido a este alto nivel de estandarización y conocimiento, junto a que hay implementaciones para prácticamente todos los lenguajes de programación y dispositivos (incluyendo controladores de recursos limitados). La principal desventaja de esta opción es su flexibilidad en la definición de los contratos de los servicios, sin embargo, dado que el ambiente del sistema de monitoreo es controlado, esa desventaja no lo afecta.

La Tabla 10, resume la satisfacción de los requerimientos planteados para la función de recepción del sistema de monitoreo en línea por cada una de las tres alternativas planteadas en esta sección.

**Tabla 10. Comparación de los diferentes protocolos de acuerdo a los requerimientos necesarios para la recepción de datos de SOOAA.**

	<b>Sockets TCP/IP  Protocolo Nativo</b>	<b>MQTT</b>	<b>SOAP 1.1 / HTTPS</b>	<b>REST / JSON  HTTPS</b>
<b>1. Independencia</b>	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple
<b>2. Estándar</b>	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>3. Seguridad</b>	Cumple: Debe implementarse	Cumple	Cumple	Cumple
<b>4. En Línea</b>	Cumple: Debe implementarse mecanismo	Cumple	Cumple	Cumple
<b>5. Contingencia</b>	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>6. Confirmación</b>	Cumple: Debe implementarse	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>7. Liviano</b>	Cumple	Cumple	No cumple	Cumple (parcialmente)

Se propone basar la implementación del sistema de monitoreo sobre un API diseñada en base a Requests HTTP con servicios REST y serialización de datos JSON. En particular, para el envío de los datos de las variables monitoreadas desde las estaciones de monitoreo, requests HTTPS del tipo POST.

Como se mencionó antes, el protocolo MQTT puede ser una alternativa que debe ser considerada si se estima que se utilizarán conexiones TCP de alto costo (por tamaño de paquetes enviados), como, por ejemplo, conexiones satelitales. Si se opta por la utilización de este protocolo, se propone la utilización de mensajes JSON con exactamente el mismo formato planteado para REST/HTTP. Se debe recordar que MQTT no especifica el contenido

de los mensajes, sino que sólo el protocolo de empaquetamiento y envío (publicación/subscripción) de los mensajes. Si se considera aceptable, es posible implementar ambos protocolos como métodos de “escucha” activa en todo momento por el servidor. MQTT es sólo un broker, no incluye la persistencia o almacenamiento de los mensajes. El servidor SOOAA puede recibir las mediciones desde las estaciones usando REST/HTTP, como acá se propone y, al mismo tiempo, mediante un broker MQTT. Ambos canales de escucha terminan almacenando los datos de las mediciones en el mismo repositorio, independiente del canal por el que se hayan recibido. De esta forma, para estaciones (o Gateways LoRa/TCP) que posean conexiones satelitales, es posible la utilización del protocolo MQTT, el que resultaría en menores costos operacionales.

Si bien, esta opción (como se muestra en la tabla anterior) no satisface el requerimiento de la independencia, se estima que ese requerimiento no es tan importante como los otros (es muy difícil proponer una alternativa viable en cuanto al transporte que no sea TCP/IP en estos días). La facilidad de integración de nuevos dispositivos al sistema de monitoreo (que agrupa casi todos los requerimientos y que resulta en menores costos), es considerada como el factor más importante en la implementación exitosa de este sistema, y por ello se propone basar las APIs de integración (recepción) en un protocolo REST / JSON sobre HTTPS.

### **10.2.2.3. Módulo de Almacenamiento**

Al inicio de esta sección se planteó una serie de requerimientos que deben satisfacer las funciones de transmisión, recepción y almacenamiento. Además de estos requerimientos comunes, es necesario plantearse (para un correcto análisis de alternativas) cuáles son las necesidades específicas del almacenamiento; es decir, por qué el sistema de monitoreo

---

requiere que se almacenen los datos de las variables monitoreadas. Una vez que se identifiquen estos requerimientos específicos de la función de almacenamiento, se presentarán alternativas actuales que permitan su implementación y se analizarán estas alternativas en base a los requerimientos comunes (a las tres funciones) y, en particular, su satisfacción de los requerimientos de almacenamiento.

- **Requerimientos Particulares del Almacenamiento**

Uno de los objetivos principales de la red de monitoreo es la determinación del impacto ambiental de la explotación de los sectores monitoreados por parte de la industria de la acuicultura. Esto requiere que se puedan ejecutar análisis estadísticos sobre series temporales de las variables, de manera individual (comportamiento de una variable) y agrupada (e.g. estudio de correlaciones). Los análisis requieren consultas sobre períodos de tiempo extensos y sobre ubicaciones particulares.

De lo anterior es posible establecer el siguiente requerimiento sobre la función de almacenamiento:

*Debe soportar las consultas y extracciones de datos necesarias para realizar análisis estadísticos sobre series temporales, incluyendo una o varias variables para puntos geográficos determinados.*

El requerimiento anterior puede, a su vez, detallarse más en los siguientes requerimientos:

- A1. Debe soportar grandes volúmenes de datos.
- A2. Debe ser eficiente en consultas temporales para una y varias variables.
- A3. Debe ser eficiente en consultas georreferenciadas para una y varias variables.

Para poder analizar la satisfacción de este requerimiento por las diferentes alternativas que se evaluarán, es necesario tener una aproximación de la cantidad de datos que se almacenarán y sobre los que el sistema debe funcionar de manera eficiente.

Para poder hacer esta estimación, se asume el siguiente comportamiento:

- ✓ Existen estaciones de monitoreo que pueden ser de ubicación fija (e.g. anclajes, boyas, estaciones meteorológicas) o dispositivos que se desplacen (e.g. Gliders).
- ✓ Cada estación monitorea un promedio de 10 variables.
- ✓ Cada 5 minutos se envía el estado (valor) de las 10 variables hacia el servidor central.
  - Existen 20 estaciones de monitoreo.
- ✓ Un registro de monitoreo en el servidor incluye la ubicación geográfica (latitud, longitud) y los valores para las 10 variables entregadas por el punto de medición.

Se asume que el costo de obtener una o todas las variables de la estación es el mismo, por ello, cada 5 minutos se envía el estado completo del punto de medición (los valores de todas sus variables).

Con estos datos, se obtiene que cada estación de monitoreo genera 288 registros en un día. Si consideramos 20 estaciones de monitoreo, diariamente, la base de datos crecerá en 5.760 registros, lo que equivale a 2.102.400 registros anuales. Considerando un tiempo de vida de 10 años de la solución (sin actualización de tecnología), y un crecimiento en la plataforma (cantidad de estaciones) gradual en el tiempo hasta el doble de las iniciales, el total de registros queda en el orden de los 50 millones. Cabe destacar que la cantidad de registros que se almacenarán es muy baja en relación a cualquier plataforma actual orientada a BigData,

las que están preparadas (por definición) para soportar consultas eficientes sobre conjuntos de miles de millones de registros.

Si suponemos que cada registro se almacena en formato ASCII (normalmente se almacenan en binario, por lo que esta estimación está sobrevalorada) cada registro tiene la forma:

{Tiempo:9999999, lat: 99.99999, lon: 99.99999, variable1:99.99999, variable2:99.99999,...}

Podemos estimar en 250 bytes por cada registro almacenado. El tamaño final dependerá de la cantidad de índices que se definan de acuerdo a las consultas. Podemos asumir al menos, un índice temporal, uno para georreferenciación, y algunos índices por algunas de las variables. En un caso pesimista, el tamaño de los índices podría ser igual al del registro. Podemos asumir entonces que cada registro puede tener un tamaño de 500 bytes o (para simplificar) medio Kbyte de peso.

De acuerdo a nuestra estimación de 50 millones de registros, la cantidad de espacio requerido para el almacenamiento es de alrededor de 25 Gigabytes.

Según este análisis, los requerimientos A1, A2 y A3 al hacer referencia a grandes volúmenes de datos, son apropiados en la implementación de SOOAA.

El sistema de monitoreo debe incluir en su inicio el conjunto de variables definidas en la Ley de Pesca y Acuicultura, además de otras que se requieren debido a su importancia en la determinación del impacto medioambiental, y en los aspectos productivos de la industria de la acuicultura. Obviamente se proponen variables que son posibles de medir, de acuerdo a la disponibilidad técnica de sensores que permitan su monitoreo con un grado de precisión aceptable. La industria tecnológica asociada a la electrónica del monitoreo de sensores está

en constante evolución (en estos tiempos con un avance muy rápido). El sistema de monitoreo que se plantee y, en especial el sistema de almacenamiento, debe ser capaz de soportar la inclusión dinámica de nuevas variables, en cualquier momento del tiempo, sin afectar a los datos anteriormente capturados. De igual forma, se espera que el número de estaciones de monitoreo (boyas, estaciones meteorológicas u otros) vayan aumentando en el tiempo, de tal forma de cubrir el área monitoreada con una mayor precisión.

De acuerdo a lo recién expresado, se agrega el siguiente requerimiento particular a la función de almacenamiento:

- A4. Debe soportar la inclusión de nuevas variables y nuevas estaciones de monitoreo.

Muchas de las variables monitoreadas son relevantes para los procesos productivos de los mismos centros de cultivo. Por ejemplo, existen niveles de temperatura y concentraciones de oxígeno óptimos para acelerar el crecimiento de algunas especies. Debido a que los valores que son almacenados serán utilizados las mismas industrias que los generan, de acuerdo a ciertas restricciones de acceso (ubicación, por ejemplo, en donde cada agrupación tiene acceso a los datos de sus sectores). De acuerdo a esta funcionalidad, se agrega el siguiente requerimiento:

- A5. Publicación de datos restringida por niveles de acceso.

La variación repentina en los valores de algunas de las variables monitoreadas puede ser muy importante, tanto para la propia industria como para la pronta reacción ante posibles daños medioambientales. El sistema de almacenamiento debe incluir la posibilidad de disparar alertas ante ciertos eventos que se puedan configurar en base a los valores de las variables.

Por ejemplo, una compañía o agrupación puede estar interesada en recibir una alerta automática si durante la última hora móvil el nivel de oxígeno disuelto ha disminuido más de un 20%. Las alertas deben ser de tipo humano (notificaciones por SMS, correo) o automático (posibles de recibir en los sistemas de la parte interesada para ejecutar acciones automáticas, como, por ejemplo, la inyección de oxígeno). De acuerdo a esto, se agrega el siguiente requerimiento particular a la función de almacenamiento:

- A6. Debe soportar la generación de alertas de acuerdo a eventos configurables sobre los valores de las variables monitoreadas.

En resumen, además de los requerimientos comunes planteados (1-7) para las funciones de transmisión, recepción y almacenamiento, se plantean los siguientes requerimientos exclusivamente para la función de almacenamiento del sistema de monitoreo SOOAA.

- A1. Debe soportar grandes volúmenes de datos.
- A2. Debe ser eficiente en consultas temporales para una o más variables.
- A3. Debe ser eficiente en consultas georreferenciadas para una o más variables.
- A4. Debe soportar la inclusión de nuevas variables y nuevas estaciones de monitoreo.
- A5. Publicación de datos restringida por niveles de acceso.
- A6. Debe soportar la generación de alertas de acuerdo a eventos configurables sobre los valores de las variables monitoreadas.

Si bien, las estimaciones de tamaño de base de datos hacen posible enfrentar el almacenamiento del Sistema de Monitoreo con un servidor de datos relacional, se propone el uso de una alternativa de tipo Big Data, ya que el rendimiento será superior y soporta un mejor grado de escalabilidad en relación a costos en hardware y software base.

---

El concepto de Big Data incluye, no sólo las características de almacenamiento (soporte de bases de datos del orden de los Petabytes), sino que además las herramientas asociadas de análisis comunes sobre estos volúmenes de datos, flujos de procesamiento y algoritmos predictivos o de clasificación basados en Machine Learning. De acuerdo a las necesidades iniciales de la red de monitoreo, acá se ha propuesto el modelo de consultas y extracciones para realizar análisis externos, junto con el análisis en línea para la detección de eventos que generen alertas. El foco del siguiente punto será la posibilidad de ejecutar análisis (aún no determinados) sobre los datos capturados, por lo que las herramientas que provean las plataformas para estos análisis no son tan relevantes como el hecho de que se puedan usar herramientas externas (o exportar los datos para usar otras herramientas) para la realización de estudios y análisis que posteriormente podrían ser automatizados e incluidos en la misma plataforma. Por ejemplo, si los análisis que se hagan sobre los datos capturados determinan correlaciones importantes entre variables, es posible automatizar la generación de nuevas alertas en el sistema en base a esos estudios.

- **Plataformas Big Data basadas en la Nube**

Las principales compañías de software de clase mundial están actualmente ofreciendo servicios de Big Data en la Nube, entre ellas IBM, Oracle, Microsoft, Google y Amazon (AWS). Para efectos de este análisis, se consideran las tres que más mercado tienen: Microsoft Azure, AWS y Google. Se puede ver una comparación de estos servicios en:<http://searchdatacenter.techtarget.com/es/cronica/Comparacion-de-servicios-de-big-data-entre-AWS-Azure-y-Google>.

Los aspectos comunes a todas las plataformas son:

---

- Almacenamiento de grandes volúmenes de datos. Eficiencia en consultas temporales y georreferenciadas.
- Herramientas y ambientes de análisis sobre el volumen de datos, incluyendo productos para Machine Learning.
- Paneles (dashboard) de Visualización y herramientas de exportación.

En particular, las tres plataformas se basan en Apache Hadoop, proyecto Open Source que permite el procesamiento de volúmenes muy grandes de datos, dividiendo las tareas en subprocesos que pueden ser resueltos en servidores de bajo costo. La importancia de esta propuesta es que permite usar recursos disponibles y más baratos para resolver problemas para los que normalmente se necesitarían clústers o plataformas HPC, lo que permite, finalmente, que estos servicios puedan ser ofrecidos en modalidad “Nube”. Hadoop es una implementación Open Source del modelo Map-Reduce, utilizado ampliamente en computación paralela (<https://es.wikipedia.org/wiki/MapReduce>)

El repositorio final en que cada plataforma almacena los datos es también variable, incluso cada plataforma presenta, a su vez, varias opciones, dependiendo de la cantidad y estructura de los datos que se desean almacenar.

Cada plataforma ofrece sus propias herramientas de análisis de datos (BI y ambientes de programación para los análisis, basados en Hadoop por ejemplo). La visualización de los datos es también con herramientas nativas de cada plataforma, cada una de ellas ofrece dashboards configurables y herramientas de exportación.

Si bien, la base que usan las tres plataformas es un producto Open Source, esto se utiliza sólo para la ejecución de los análisis y consultas que se deben desarrollar en ambientes propietarios, utilizando IDEs basados en los productos de cada uno de ellos. Eso significa

que tanto el requerimiento 1 “Independencia”, como el requerimiento 2 “Estándar” no están satisfechos.

Respecto al requerimiento 3 “seguridad de la información”, ésta se satisface a bajo nivel, ya que las comunicaciones y APIs siguen siendo encriptadas y con certificados que evitan suplantación de identidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los datos quedan finalmente almacenados en servidores fuera del país (inicialmente en U.S.A., pero que podrían moverse (por razones de costo) a otras regiones). El acceso a esos datos estará autorizado y/o restringido según leyes de otro país, las que podrían cambiar en forma independiente a los contratos que se convengan con los proveedores del servicio en la Nube. Desde este punto de vista, no es posible asegurar el acceso a los datos en todo momento, ni la restricción (privacidad) de la información, si se estima necesaria.

El requerimiento 4 “En Línea” se satisface completamente, ya que la principal ventaja de esta plataforma es el aseguramiento de la alta disponibilidad, incluyendo el up-time y la tolerancia a fallos.

El requerimiento 5 “Modo Contingencia” afecta a las comunicaciones por el lado de los dispositivos y a la capacidad de almacenar temporalmente las mediciones hasta recuperar la conexión. Estas plataformas permiten la recepción de datos en forma unitaria o masiva, por lo que satisfacen también este requerimiento.

La confirmación (requerimiento 6) está también asegurada, ya que se cuenta con APIs REST (en todas las plataformas) que aseguran la correcta recepción de los datos enviados.

El requerimiento 7 “Liviano” aplica al lado cliente (dispositivos que envían los datos). En este caso, las APIs que publican las plataformas son REST (entre otras) las que son soportadas por dispositivos livianos, según el análisis de la sección anterior.

Los requerimientos particulares de almacenamiento de datos desde el A1 a A3 están también resueltos por estas plataformas, ya que están orientadas a grandes volúmenes de datos y a la eficiencia en las consultas sobre estos.

Respecto al requerimiento A4, dentro de las diferentes alternativas que ellas ofrecen como repositorio para el almacenamiento de los datos, existen repositorios no estructurados (también llamados “no SQL” o “no Relacional”). El uso de repositorios no estructurados permite almacenar registros en la forma de documentos con una cantidad variable de campos por cada uno de ellos. Para el caso del Sistema de Monitoreo, son obligatorias, al menos, las variables de ubicación geográfica (latitud, longitud) y el tiempo. Por cada estación monitoreada se pueden agregar los estados (valores) de las variables que se monitoreen.

El requerimiento A5 de “publicación restringida por niveles de acceso” no está resuelto completamente por ninguna de las plataformas, tal como se necesita; sin embargo, todas ellas ofrecen las herramientas necesarias para que puedan ser desarrollados usándolas. En particular, no se espera que los dashboards y servicios de publicación que ofrecen estas plataformas estén disponibles directamente a los usuarios finales de los datos (incluso a las agrupaciones de acuicultores de la zona), sino que se construyan portales que publiquen la información de acuerdo a “consultas” al repositorio. Se debe recordar que el fuerte de estas plataformas es el análisis sobre grandes conjuntos de datos, incluyendo algoritmos de

aprendizaje automáticos, y no necesariamente la creación automática de portales de consulta para usuarios finales.

**Tabla 11. Resumen del nivel de satisfacción de las tres plataformas Big Data para los requerimientos genéricos y particulares de SOOAA**

	<b>Nivel de Satisfacción de las tres plataformas</b>
<b>1. Independencia</b>	Ofrecen APIs REST que lo independizan de la transmisión y recepción
<b>2. Estándar</b>	No Cumple. Sólo APIs estándares, pero son ambientes de desarrollo propietarios
<b>3. Seguridad</b>	Cumplen en transmisión y asegura que no hay suplantación de identidad; sin embargo, no se puede asegurar (por motivos políticos, no técnicos) que la información estará siempre disponible, ni que su acceso será restringido. Como ejemplo: un juzgado en U.S.A. podría determinar que se requiere conocer el nivel de alguna variable en productos importados desde Chile, y el proveedor estaría obligado a entregar los datos.
<b>4. En Línea</b>	Cumple
<b>5. Contingencia</b>	Cumple
<b>6. Confirmación</b>	Cumple: Debe implementarse
<b>7. Liviano</b>	Cumple, aplica a las APIs por el lado de los dispositivos
<b>A1. Grandes volúmenes</b>	Cumple
<b>A2. Consultas Temporales</b>	Cumple
<b>A3. Consultas geo-referenciadas</b>	Cumple
<b>A4. Dinámico</b>	Cumple si se usan repositorios no estructurados
<b>A5. Publicación Restringida</b>	No cumplen en forma nativa. Ofrecen ambientes de desarrollo para poder implementarlos
<b>A6. Alertas</b>	Requieren desarrollo sobre las plataformas en ambientes propietarios para poder implementarlas.

Las plataformas mencionadas incluyen flujos de procesamiento de datos. Esto permite colocar algoritmos interceptores de la información que se almacena en los repositorios.

Usando estos flujos programables es posible implementar sistemas de alerta en base a los valores que se están recopilando en línea.

En resumen, las tres plataformas presentan características equivalentes para su evaluación en este proyecto (hay diferencias en varios puntos, pero que no afectan directamente a los requerimientos del Sistema de Monitoreo). La Tabla 11, resume los requerimientos genéricos y particulares de SOOAA.

- **Base de datos no relacional**

Las bases de datos relacionales incluyen algoritmos de verificación de integridad referencial que normalmente no son necesarios en los casos en que se desea procesar grandes volúmenes de datos, y que agregan tiempos de procesamiento que dejan fuera su uso para este tipo de soluciones. Al igual que estos mecanismos de verificación de integridad, hay otros como validación de rangos de fecha y tipos de datos que en un modelo no estructurado no aplican por definición.

Una base de datos no estructurada permite que cada registro que se almacene pueda tener una estructura diferente a los otros. Las validaciones de los campos, o incluso entre diferentes registros, no son responsabilidad del motor de base de datos, a diferencia de un servidor relacional, sino que de la aplicación (software) que los administra en el repositorio.

Dependiendo de la cantidad de datos que se desea almacenar y consultar, el diseño de las soluciones puede considerar el uso de clústers de servidores de bases de datos y de particiones en la forma de colecciones temporales, espaciales o por unidades de negocio.

Una base de datos No Relacional corresponde sólo al componente de almacenamiento y consultas de la solución. No incluye por sí mismo herramientas para alertas ni análisis sobre los datos. Dependiendo del tipo de servidor que se escoja, hay herramientas disponibles para estas otras funciones, o son posibles de desarrollar sobre los servicios de consulta de datos.

Para satisfacer los requerimientos de publicación restringida de los datos, futuros análisis sobre la información capturada y la emisión de alertas en base a eventos configurables, es necesario el desarrollo de software a medida. Esto es válido tanto para la alternativa de servicios de Big Data en la nube como para la utilización de un servidor No Relacional.

Los dos motores de bases de datos documentales orientados a soluciones Big Data que actualmente son los más utilizados y difundidos son MongoDB y Elasticsearch. El primero corresponde a una implementación en lenguaje C++ de un repositorio de objetos BSON (Json binario) basado en indexación, caché y optimización sobre consultas agregadas, mientras que el segundo corresponde a una implementación Java basada en el indexador de texto Lucene (Apache). Ambas alternativas son de tipo Open Source y son capaces de cumplir las demandas de acuerdo a las estimaciones de este proyecto.

Ambas alternativas de repositorio no relacional ofrecen APIs REST para la consulta y administración de los documentos almacenados. Esto independiza la función de almacenamiento de las otras dos (recepción y transmisión) por lo que cumplen el requerimiento 1 “Independencia”.

Las dos alternativas presentadas son Open Source, muy bien documentadas y altamente utilizadas a nivel mundial. Su nivel de aceptación es muy alto y pueden considerarse estándares dentro de su área. El Requerimiento 2 “Estándar” lo satisfacen.

---

Al utilizar un API REST sobre un canal seguro, el requerimiento 3 relativo a Seguridad de los datos queda cubierto. El acceso físico a los datos queda, además, restringido por los sistemas de seguridad del sistema operativo que aloja a los servidores.

Usando cualquiera de las dos alternativas propuestas es posible crear, a bajo costo, una solución tolerante a fallas (mediante nodos de replicación) y de alta demanda. Esto asegura que los datos puedan ser transmitidos y recibidos en línea, por lo que el requerimiento 4 queda satisfecho.

El modo contingencia (requerimiento 5) queda también cubierto, debido a que la carga de almacenar temporalmente los datos, si no hay conexión, es de las estaciones de monitoreo (dispositivos con loggers), en tanto que el servidor deberá ser capaz de aceptar lotes de datos que no pudieron ser enviados en línea.

La confirmación de la recepción (Requerimiento 6) está dada por el mecanismo de recepción (API REST). Si se logran insertar los datos en el repositorio, se envía el código respuesta 200 (HTTP/OK) como confirmación.

El requerimiento 7 (Liviano) queda también cubierto, debido a que existen implementaciones para dispositivos de capacidad reducida de clientes para APIs REST.

Los requerimientos particulares de almacenamiento A1-A3 quedan también resueltos por estos servidores. La cantidad de registros y el tamaño esperado de ellos, permiten asegurar que cualquiera de estas dos alternativas cumpla con el almacenamiento de estos volúmenes y las consultas rápidas sobre datos temporales y georreferenciados. No es necesario contar con grandes servidores para la solución al almacenamiento y publicación del Sistema de

Monitoreo. A pesar de que las soluciones de este tipo ofrecen varios mecanismos de escalabilidad para asegurar su rendimiento ante volúmenes crecientes, se estima que no son necesarios en este caso, que la cantidad de datos es relativamente baja respecto de lo acostumbrado en este tipo de aplicaciones. Los mecanismos de nodos y/o replicación se pueden utilizar para ofrecer la característica de tolerancia a fallos y alta demanda (muchos usuarios concurrentes) si es necesario, más que para conseguir manejar volúmenes de datos que nos son necesarios.

**Tabla 12. Resumen del nivel de satisfacción de las bases de datos no relacional para los requerimientos genéricos y particulares de SOOAA.**

	<b>Nivel de Satisfacción de las tres plataformas</b>
<b>1. Independencia</b>	Ofrecen APIs REST que lo independizan de la transmisión y recepción
<b>2. Estándar</b>	Productos altamente utilizados, documentados, abiertos (Open Source) y conocidos por la comunidad.
<b>3. Seguridad</b>	Cumplen por los canales de transmisión. El acceso final a los datos está restringido por el sistema operativo
<b>4. En Línea</b>	Cumple
<b>5. Contingencia</b>	Cumple
<b>6. Confirmación</b>	Cumple.
<b>7. Liviano</b>	Cumple, aplica a las APIs por el lado de los dispositivos
<b>A1. Grandes volúmenes</b>	Cumple
<b>A2. Consultas Temporales</b>	Cumple
<b>A3. Consultas geo-referenciadas</b>	Cumple
<b>A4. Dinámico</b>	Cumple.
<b>A5. Publicación Restringida</b>	No es funcionalidad nativa del producto. Se ofrecen APIs para desarrollarlo en aplicaciones externas.
<b>A6. Alertas</b>	No es funcionalidad nativa del producto. Se ofrecen APIs para desarrollarlo en aplicaciones externas.

Los productos propuestos soportan documentos no estructurados, por lo que el requerimiento A4 (dinámicos) queda cubierto y se podrían agregar dinámicamente nuevas variables sin afectar a los datos anteriormente almacenados. La única restricción a este punto (en el caso de Elasticsearch) es que no puede haber índices afectados por los nuevos campos.

Tanto la publicación restringida (A5) como las alertas (A6) no son funciones incluidas en estos productos, sin embargo, al igual que en las plataformas basadas en la nube, están las herramientas (APIs) necesarias para ser programadas dentro de la solución final del sistema de monitoreo. La satisfacción de los requerimientos es equivalente, por parte de los productos analizados, se resume en Tabla 12.

- **Resumen y propuesta para función de Almacenamiento**

Las funcionalidades ofrecidas por una solución Big Data basada en la nube, y las que se pueden obtener usando un repositorio no estructurado, son equivalentes, de acuerdo a las necesidades iniciales de este Proyecto. Proyectando a futuro las necesidades, éstas podrían crecer por el lado de la publicación de los datos, agregando, por ejemplo, aplicaciones móviles, y por el lado del análisis de la información, incluyendo predicciones en base a algoritmos de Machine Learning.

Las plataformas en la nube ofrecen, dentro de su stock, algunos productos orientados a estas funciones. Algunos son fácilmente configurables y otros requieren de desarrollo en el ambiente propietario de cada plataforma.

Para la alternativa de repositorio no estructurado también existen productos equivalentes, los que son, a su vez, de tipo Open Source, que ofrecen funcionalidades equivalentes (por

ejemplo, el producto Apache Spark incluye la biblioteca MLLib – Machine Learning Library, que ofrece implementaciones de estos algoritmos y que son rápidamente integrables a repositorios MongoDB o Elasticsearch).

Se considera que la imposibilidad de asegurar que los datos serán siempre accesibles y que se podrá restringir el acceso a ellos por parte de organizaciones externas, impone una restricción demasiado fuerte como para optar por una solución Big Data basada en la nube. Por otra parte, en términos funcionales, las soluciones basadas en repositorio No Relacionales junto a herramientas de análisis externas (de ser necesario), cubren la misma funcionalidad entregada por los servicios de Big Data en la nube.

Uno de los principales atractivos de las soluciones basadas en la nube es su bajo costo. No se requieren grandes inversiones iniciales, y se paga sólo por lo que se consume. Para el caso de este proyecto, de todas formas, habría una inversión inicial en los desarrollos necesarios para las consultas básicas de información (las que se decidan como básicas para iniciar el proyecto).

Los productos que acá se proponen como repositorios No Relacionales son Open Source, y pueden instalarse sobre sistemas operativos libres (Linux), por lo que no hay costos asociados a software base. Los desarrollos, a medida que deban realizarse para la versión inicial del Sistema, deberían ser incluso de un costo inferior en comparación a los productos propietarios que se deben utilizar para las soluciones en la nube, debido al nivel de estandarización y conocimiento público de las herramientas, dado su carácter de código abierto.

La otra característica de las soluciones en la nube es su alta disponibilidad. Las alternativas de repositorios No Relacionales ofrecen configuraciones que permiten implementar una plataforma de alta disponibilidad. En el caso de Elasticsearch es posible configurar clústers de nodos, mientras que para MongoDB existe la replicación entre servidores.

Los costos estimados relativos al sistema de almacenamiento, incluyendo las funcionalidades básicas de publicación de datos con acceso restringido y con tolerancia a fallos, se pueden estimar como sigue (para una solución basada en repositorios No Relacionales):

- ✓ 2 Servidores, 6 núcleos, 32 Gb RAM, 1 TB disco. App. M\$6.
- ✓ Desarrollo del software portal básico, integraciones: App. UF 1000.

Una estimación del costo del proyecto, por el lado del servidor (sin considerar en este punto el costo de las estaciones de monitoreo) es alrededor de UF1300, incluyendo hardware de balanceo de carga.

Si bien, ambos productos propuestos ofrecen funcionalidades similares, Elasticsearch nace, como una extensión Big Data a un motor de búsqueda textual, su fuerte está más orientado a las consultas necesarias para análisis relacionados con áreas de marketing (e.g. análisis y procesamiento de twitteos). Por otra parte, la configuración de un ambiente replicado, tolerante a fallas es un poco más simple en MongoDB.

#### **10.2.2.4. Definición del Sistema óptimo de Transmisión, Recepción y Almacenamiento.**

En este punto se resumen las definiciones de las funciones de transmisión, recepción y almacenamiento, y se propone un diseño preliminar de un sistema de software que integra estos aspectos.

De acuerdo a lo analizado y concluido en el punto 10.2.2.1 de este documento, el sistema de transporte (funcionalidad de transmisión) podrá variar para cada punto de medición, pudiendo ser desde redes LoRa, accesos GPRS, WIFI, Satelital, etc. El requerimiento final, es que el sistema de transmisión permita una comunicación TCP punto a punto y, sobre ella, la activación de un protocolo HTTPS. En esta sección se asume la existencia de un sistema de transmisión que provee la funcionalidad recién explicada.

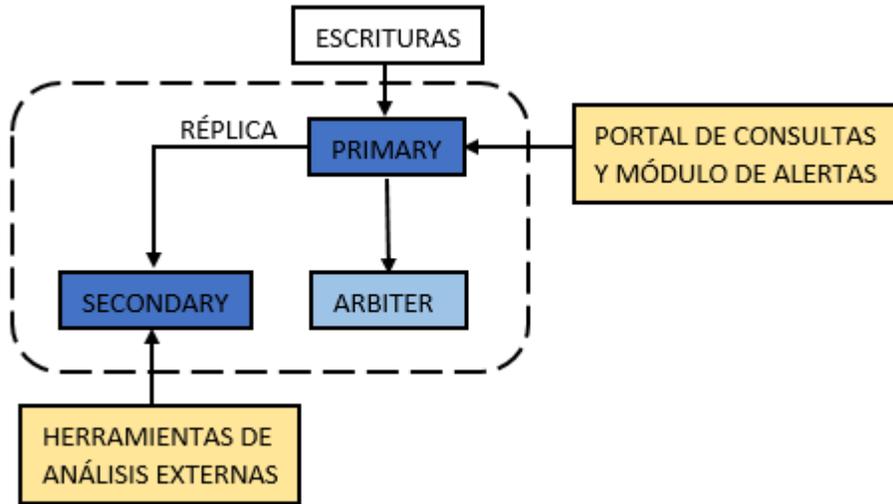
Se requiere como funcionalidad adicional a la recepción y almacenamiento (al menos la posibilidad de exportar o disponer de los datos para análisis), un portal de configuraciones (crear estaciones de monitoreo, configurar usuarios y sus accesos, monitoreo de puntos activos, etc.), y un portal público de consultas de acuerdo a privilegios de usuarios.

Siguiendo la línea de software abierto, sin costos en licencias y ampliamente conocidos y probados, se propone el desarrollo de una aplicación Java EE 7 que pueda ser ejecutada sobre un servidor JBossWildfly 10.1.0.

Se propone el uso de dos servidores de aplicación, que incluyan cada uno un JBossWildfly y un MongoDB. El primer servidor se define como el servidor primario del “Replica Set” de MongoDB, y el segundo como un servidor “Secundario”. Se puede usar un tercero (un

proceso dentro de otro servidor sin base de datos real) como “Árbitro” para aportar al proceso de selección del nuevo servidor primario en el caso de ocurrir una falla.

La siguiente figura muestra un esquema de los servidores propuestos.



**Figura 19. Esquema de servidores propuestos para SOOAA**

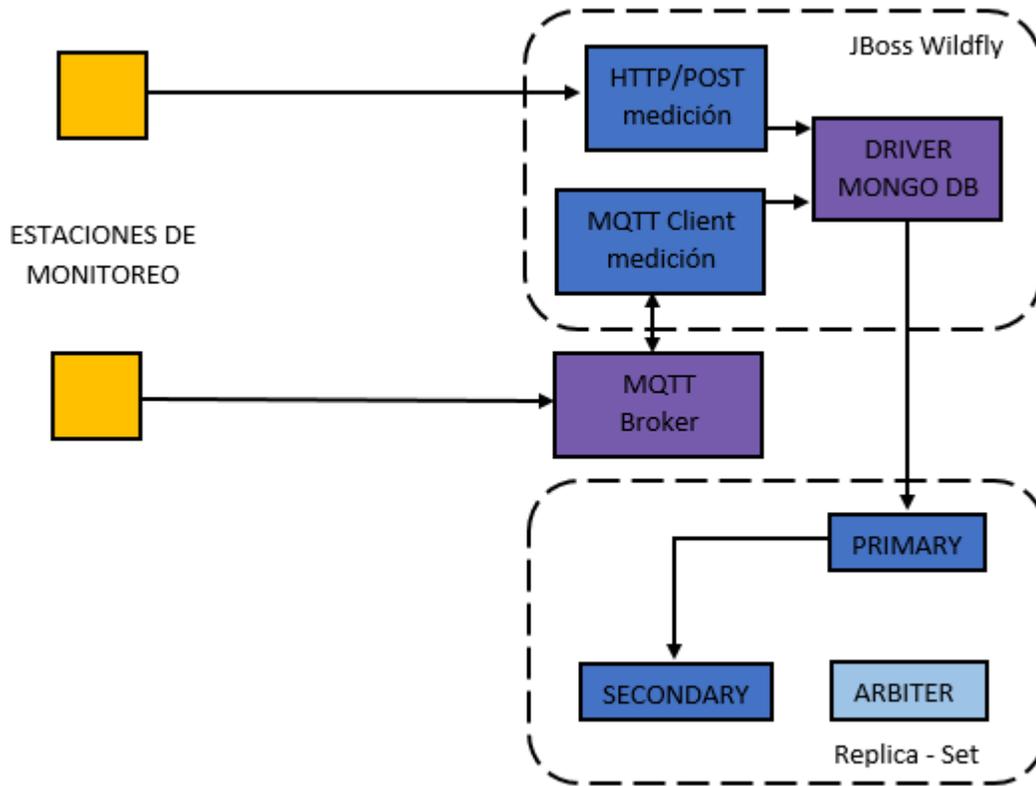
Las capacidades de réplica de MongoDB se utilizan para asegurar el soporte de fallas de uno de los servidores. En estos casos el servidor “secondary” asume la cabeza del grupo de réplica. Además, se utiliza para distribuir la carga y disponibilizar los datos capturados a procesos externos de análisis, de tal forma que éstos puedan realizar consultas sobre un servidor diferente al dedicado a producción (consultas y alertas).

Si bien, existen proyectos externos que proveen de APIs REST para MongoDB, no es aconsejable abrir a la red de las estaciones de monitoreo el acceso a los servidores documentales. Como se propone el uso de un servidor de aplicaciones, por motivos de seguridad, se propone implementar como parte de la aplicación Java EE 7 el punto de acceso

REST, que exponga un servicio de recepción para las estaciones o boyas y se encargue de actualizar el repositorio.

Como se mencionó en el punto anterior, se propone opcionalmente utilizar un Broker MQTT (e.g. el producto Mosquitto, Open Source) para las estaciones de monitoreo o Gateways (LoRa) que cuenten con conexiones satelitales (si se instala este tipo de estaciones). Cabe considerar que la implementación del Broker y el “escuchador” que recibe e inserta los mensajes, se puede hacer en una segunda etapa. No es necesario contar con esta funcionalidad mientras no existan conexiones satelitales en el sistema. De la misma forma, y anticipándose a evoluciones tecnológicas futuras, gracias a la arquitectura de capas separadas que acá se propone, se podrán agregar nuevos protocolos de envío / recepción de los mensajes en el tiempo, sin afectar al funcionamiento del sistema completo, sólo incorporando nuevos “escuchadores” para estos nuevos protocolos.

Además de la recepción y almacenamiento mostrados en la figura anterior, la aplicación Java EE 7 debe encargarse de proveer un portal privado para la configuración de puntos de medición y usuarios, además de un portal público de consultas. Además, debe permitir configurar los eventos (por usuarios autorizados) e implementar la lógica de generación de alertas. Para almacenar estas configuraciones, la aplicación podría hacer uso de algún servidor liviano de base de datos relacional, sin embargo, para no introducir un punto único de falla al sistema, es posible utilizar al mismo MongoDB con colecciones especiales a estos propósitos, ya que se encontrarán también replicadas en el clúster.



**Figura 20. Propuesta del esquema general de Transmisión, Recepción y Almacenamiento de SOOAA.**

### **10.3. Proponer la ubicación geográfica más adecuada para la instalación de una red de monitoreo en línea, cuyo objetivo es monitorear las agrupaciones de concesiones de salmones.**

Para responder este objetivo, se estudió la dinámica oceanográfica de la X Región, estableciendo los principales modos de oscilación, que capturan de forma significativa y acoplada la viabilidad dominante.

Para abordar este objetivo, el estudio se dividió en tres pasos: 1) revisión bibliográfica sobre la dinámica de circulación de la X Región, 2) análisis de la estructura vertical (columna de agua) de las propiedades hidrográficas en la X Región y, 3) análisis satelital de la variabilidad acoplada entre la temperatura superficial del mar y la clorofila-a.

#### **10.3.1. Dinámica de Circulación en la X Región de Los Lagos**

La acuicultura (centros de cultivo) que se desarrolla dentro de la X Región de Los Lagos está permanentemente expuesta a la variabilidad ambiental, donde producto de la compleja topografía y batimetría se generan sistemas aislados, cuya dinámica oceanográfica puede diferir significativamente entre ellos.

**La X Región se extiende sobre un complejo sistema de golfos, canales, estuarios y fiordos, donde el aporte de agua dulce juega un rol preponderante en la dinámica de las corrientes.** El agua dulce (de origen fluvial, nival, pluvial o de deshielos (ventisqueros y/o glaciares)) fluye por la superficie hacia el interior de la región conocida como Mar Interior de Chile, modificando sus características termohalinas (temperatura/salinidad) a medida que avanza, producto de la mezcla turbulenta que ocurre en su límite inferior al entrar en contacto

con agua de origen oceánico, la que a su vez fluye hacia el interior del Mar Interior penetrando por la boca del Guafo.

La mezcla turbulenta, es un proceso que produce un intercambio vertical de las propiedades físicas de una masa de agua. En esta Región, la mezcla turbulenta provoca el ascenso de agua cálida y más salina (menor densidad), y el descenso de agua fría y dulce (mayor densidad), promoviendo una mayor entrada de agua externa al sistema (región) para compensar la pérdida de volumen producto del proceso de mezcla vertical. **Esta dinámica de circulación se denomina Circulación Estuarina, la cual está caracterizada por un patrón de circulación de dos capas** (Officer 1976; Dyer 1997; Farmer & Freeland, 1983). **Debido a que la intensidad de la circulación estuarina está principalmente vinculada al ingreso de agua dulce al sistema, donde parte de su variabilidad tiene una componente estacional, además de la modulación (variabilidad) producto del forzamiento mareal y atmosférico.**

#### Forzamiento Mareal de la Circulación:

Respecto del forzamiento mareal, en general, las costas de Chile presentan un régimen de mareas dominado por fluctuaciones semidiurnas (i.e. 12 horas). Esta frecuencia mareal, también observada en la X Región, domina la variabilidad diurna (alta frecuencia) de la circulación, y cuya propagación, al interactuar con la topografía irregular de la región, provoca la excitación de los componentes mareales de aguas someras a través de procesos no lineales (característicos de cada subcuenca) (Pugh, 2004), generando una variabilidad local de la circulación. La amplitud de la marea semidiurna es de ~2 m fuera del Mar Interior (sistema de fiordos y canales), pero al propagarse dentro del sistema, a través de la boca del

Guafo (alcanzando el seno Reloncaví), triplica su amplitud debido a que, por las características de la cuenca del Mar Interior, esta onda de marea entra en resonancia (Cáceres et al., 2003; Aiken, 2008).

Dentro de las subcuencas semicerradas de la Región, como el fiordo Reloncaví, Comau y Reñihue, el efecto de la marea en la boca de éstas se refleja como una oscilación vertical periódica de la superficie del mar (altura del nivel del mar), generando un gradiente de presión barotrópico desde la boca hacia la cabeza de los fiordos, forzando el movimiento de las corrientes de marea en esa dirección. Sin embargo, debido principalmente a un efecto friccional asociado a la geomorfología de las subcuencas, la amplitud del flujo barotrópico de marea disminuye a medida que se interna en éstas (la amplitud de la marea disminuye desde la boca hacia la cabeza de los fiordos).

Por otro lado, la oscilación vertical del flujo/corriente de marea produce que el agua transportada también fluctúe periódicamente, provocando hundimientos (descenso) y asomeramientos (ascenso) de la pycnoclina (cambio súbito de la densidad en profundidad) por cada ciclo mareal, generando la libre propagación de una onda interna denominada “marea interna”. La energía de la marea interna, si bien, presenta principalmente una variabilidad semidiurna, ésta puede propagarse a frecuencias más altas excitando/generando ondas de mayor frecuencia, las cuales poseen una mayor probabilidad de romperse y propagarse con ángulos más agudos en la vertical, incidiendo en la mezcla vertical al interior de la cuenca de un fiordo o canal (Inall & Gillibrand, 2010).

Además de la variabilidad de alta frecuencia dominada por la frecuencia semidiurna, existen evidencias de que una parte significativa de la variabilidad de la circulación estuarina en la

Región está vinculada a fluctuaciones submareales, asociadas a forzantes atmosféricos de escala sinóptica.

#### Forzamiento Atmosférico de la Circulación:

**Los vientos locales, presentan una variabilidad espacial afectada por la orografía y topografía característica de la Región. Es así, que los vientos sobre un fiordo tienden a alinearse con el terreno circundante hasta alcanzar una dirección predominante a lo largo del fiordo (efecto de encajonamiento).** Si los vientos soplan sostenidamente fiordo arriba, provocarán una acumulación de agua dulce hacia la cabeza del fiordo, y un flujo opuesto (hacia la boca del fiordo) en las capas intermedias. Por el contrario, si el viento sopla fiordo abajo, se intensifica la circulación estuarina a través de la mezcla vertical en la base de la capa superficial forzada por el viento, pudiendo contribuir en la renovación del agua profunda (Gillibrand et al. 1995). **Además, los vientos a lo largo del fiordo provocan una inclinación de la pycnoclina en la misma dirección,** profundizándose hacia la cabeza cuando éstos soplan fiordo arriba. Cuando los vientos se relajan, esta inclinación vuelve a su estado original, resultando a menudo en un seiche baroclíno (Arneborg & Liljebladh, 2001). Este tipo de respuesta de la columna de agua al forzamiento del viento ha sido observado en el fiordo Reloncaví, explicando la variabilidad de su circulación con periodos cercanos a 3 días (Castillo et al., 2017). Estos autores, en las corrientes dentro de este fiordo, también observaron una acumulación de energía espectral en la banda de ~10-15 días, la que, podría estar vinculada a la propagación de una oscilación de baja frecuencia externa, posiblemente forzada por componentes de marea de más baja frecuencia (e.g. quincenal) o por oscilaciones en el campo de vientos regional (e.g. marea de tormenta). En relación a las oscilaciones en el

campo de vientos regional, más al sur ( $\sim 47^\circ\text{S}$ ), a lo largo del canal Martínez, se han observado fluctuaciones de baja frecuencia de la pycnoclina ( $\sim 25\text{-}30$  días), que han sido asociadas a un seiche baroclíno generado por oscilaciones en el viento de período similar ( $\sim 25\text{-}30$  días) (Ross et al. 2015). Los autores vincularon esta variabilidad a eventos extremos de baja presión, asociados al modo anular baroclíno del hemisferio sur descrito por Thompson & Woodworth (2014).

#### Efecto del Agua Dulce en la Circulación:

El ingreso de agua dulce impacta en la intensidad de la circulación estuarina de la Región, provocando una mezcla vertical de la columna de agua. Los procesos de mezcla pueden asociarse a la turbulencia de tipo mecánica, principalmente producto de la actividad de las ondas internas. Sin embargo, dadas las características de las masas de agua que interactúan en la Región, principalmente agua estuarina y agua subantártica modificada (Silva & Palma, 2006), el sistema podría ser susceptible al desarrollo de mezcla por procesos de doble difusión, específicamente del tipo convectivo, donde la estructura térmica de la columna de agua se desestabiliza produciendo que agua más fría y dulce (mayor densidad) se sitúe sobre agua más cálida y salina (menor densidad), provocando un gradiente vertical de temperatura en el mismo sentido que el de salinidad (i.e. ambos aumentando con la profundidad), rasgo típico de sistemas donde dominan los procesos de difusión convectiva (You, 2002).

Coloma (2017), estudió el rol que posee la difusión convectiva en el flujo vertical de nutrientes en el fiordo Reloncaví, concluyendo que este proceso favorece la llegada de nutrientes a las capas superficiales. El mismo autor, comparó además la frecuencia de ocurrencia de la difusión convectiva entre un sistema semi-cerrado (fiordo Reloncaví) y un

sistema abierto (golfo Corcovado) durante dos ciclos de marea, observando que dentro del fiordo la difusión convectiva se presentó con una frecuencia  $>50\%$ , mientras que en el golfo Corcovado la frecuencia de ocurrencia no superó el 15%. Estos resultados son coherentes con los obtenidos más al sur (en las cercanías del canal Martínez) por Pérez-Santos et al. (2014), donde se concluyó que el proceso de difusión convectiva incide de forma significativa en la mezcla vertical, actuando como un importante mecanismo en la redistribución de calor en la columna de agua. Además, estos autores observaron que la frecuencia de los procesos de doble difusión presenta un gradiente meridional, siendo más frecuentes en la zona sur, debido al mayor aporte de agua fría y dulce.

**Como resultado de la revisión bibliográfica se obtiene que la dinámica de circulación en la X Región es de tipo Estuarina, y puede ser considerada como un flujo de dos capas. Debido a las características geomorfológicas de la Región, la dinámica de circulación estuarina no debe ser abordada sin un previo análisis de tipo subcuenca, el que debe considerar estudios de: vientos locales, aportes de agua dulce, el efecto de la marea, los rasgos de la cuenca (topografía y batimetría), y como éstos se relacionan entre sí, ya que la circulación estuarina puede llegar a ser dinámicamente diferente a lo largo de un mismo fiordo (e.g. Castillo et al. 2012).**

### **10.3.2. Estructura Vertical de las Propiedades hidrográficas en la X Región**

Las condiciones oceanográficas dentro de la zona sur de Chile se han monitoreado casi de forma estacional gracias a los esfuerzos de diversos investigadores durante las campañas CIMAR (Cruceros de Investigación Marina), proporcionando una amplia base de datos para el estudio de los procesos que controlan la variabilidad de la columna de agua en la zona.

De todas las campañas CIMAR efectuadas, 20 han situado sus estaciones de monitoreo dentro del área considerada por el presente Proyecto (Tabla 13), con varias de las estaciones manteniéndose operativas entre cada crucero, permitiendo comparaciones estacionales para la hidrografía de algunos sectores. Así mismo, durante las campañas se han realizado estudios de corto período con el propósito de resolver la variabilidad de alta frecuencia, específicamente la asociada a la marea, debido a que, ésta es uno de los principales forzantes de la dinámica oceanográfica en toda la región del Mar Interior Chileno.

El despliegue metodológico desarrollado durante las campañas CIMAR para resolver la variabilidad de alta frecuencia en la columna de agua, ha consistido en realizar lances iterativos de CTD (perfilador multiparámetro) con un intervalo temporal apropiado para capturar de manera robusta uno o más ciclos de la marea (criterios utilizados para determinar el intervalo de muestreo: Frecuencia de Nyquist,  $f_N$ , entre  $\sim 0,3 - 1$  cph, y Frecuencia Fundamental,  $f_0$ , entre  $\sim 0,014 - 0,04$  cph). Las estaciones donde este tipo de muestreo se ha llevado a cabo se conocen comúnmente como “estaciones YO-YO”.

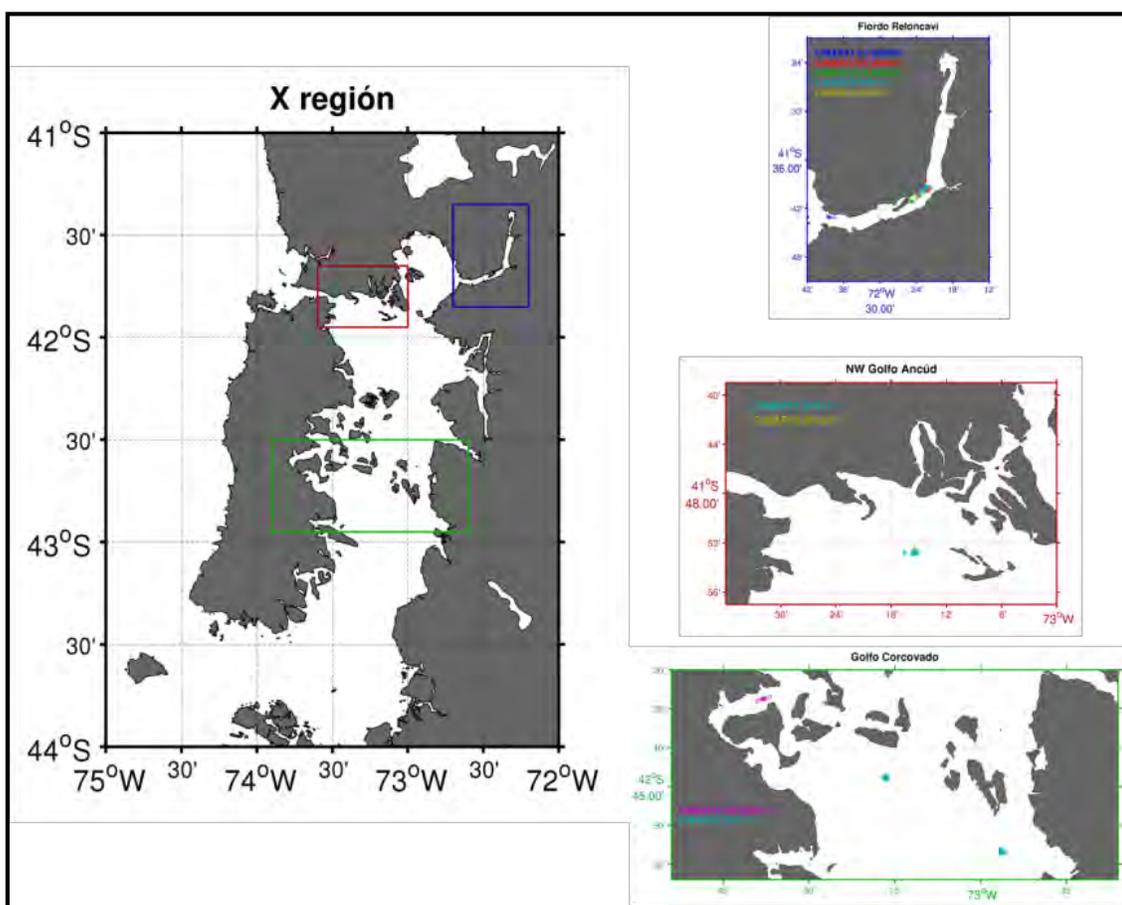
A través del análisis de perfiles verticales de temperatura (T), salinidad práctica ( $S_p$ ), densidad ( $\sigma_T$ ) y presión (P), obtenidos desde las estaciones YO-YO ubicadas dentro de la X Región (Tabla 14), se identificaron los estratos de mayor variabilidad, cubriendo de norte a sur: el fiordo Reloncaví, el golfo de Ancud, el canal Lemuy, el sur del canal Apiao y el sur del canal Desertores (Figura 21). Así mismo, para caracterizar la estructura vertical típica de invierno y/o primavera en cada sector, se utilizaron los perfiles promedio de T,  $S_p$ , y  $\sigma_T$ , y se analizaron los primeros cuatro modos verticales de las anomalías respecto a su promedio estacional de  $\sigma_T$ .

**Tabla 13. Campañas CIMAR que realizaron estaciones de monitoreo dentro de la X región.**

<b>Cruceros CIMAR</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha término</b>
CIMAR 01	18/10/1995	04/11/1995
CIMAR 04 I	28/09/1998	09/10/1998
CIMAR 04 II	26/02/1999	05/03/1999
CIMAR 07 I	08/07/2001	19/07/2001
CIMAR 07 II	13/11/2001	25/11/2001
CIMAR 08 I	06/07/2002	20/07/2002
CIMAR 08 II	16/11/2002	24/11/2002
CIMAR 09 I	09/08/2003	23/08/2003
CIMAR 09 II	07/11/2003	20/11/2003
CIMAR 10 I	21/08/2004	31/08/2004
CIMAR 10 II	12/11/2004	23/11/2004
CIMAR 11 I	13/07/2005	26/07/2005
CIMAR 11 II	11/11/2005	21/11/2005
CIMAR 12 I	10/07/2006	19/07/2006
CIMAR 12 II	04/11/2006	12/11/2006
CIMAR 13 I	27/07/2007	07/08/2007
CIMAR 13 II	02/11/2007	12/11/2007
CIMAR 17	17/10/2011	31/11/2011
CIMAR 18	17/06/2012	04/07/2012
CIMAR 19	04/07/2013	16/07/2013

**Tabla 14. Cruceros CIMAR y número de estación YO-YO utilizada en el análisis de la estructura vertical de la columna de agua.**

Crucero	Estación	N lances	Fecha inicial	Fecha final	Área geográfica
CIMAR 11-E1	04	5	20050716	20050717	Boca Reloncaví
CIMAR 12-E1	05	6	20060713	20060713	Mid. Reloncaví (desembocadura Puelo)
CIMAR 12-E2	05	9	20111106	20111107	
CIMAR 17	05	41	20111017	20111022	
CIMAR 19	05	18	20130704	20130707	
CIMAR 17	11	34	20111111	20111114	Golfo Ancud
CIMAR 19	11	35	20130713	20130715	
CIMAR 11-E2	CL07	9	20051116	20051117	Canal Lemuy
CIMAR 17	51	33	20111031	20111103	Sur canal Apiao
CIMAR 17	33	22	20111106	20111110	Sur canal Desertores



**Figura 21. Mapa de la X Región de Los Lagos. Dentro de los cuadros de color azul, rojo y verde, se indica la ubicación geográfica de cada estación YO-YO utilizada en el análisis de la estructura vertical de la columna de agua.**

### 10.3.2.1. Metodología para la estimación del perfil promedio y de desviación típica

Utilizando los  $N$  lances de cada estación considerada ( $k$  estaciones) se construyeron matrices

de  $T^k$ ,  $S_p^k$ , y  $\sigma_T^k$  con dimensiones  $i \times j$ :

$$T^k = \begin{bmatrix} T_{z_{min}j}^k & \dots & T_{z_{min}N}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{z_{max}j}^k & \dots & T_{z_{min}N}^k \end{bmatrix}_{i \times j} ;$$

$$S_p^k = \begin{bmatrix} S_{p_{z_{min}j}}^k & \dots & S_{p_{z_{min}N}}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{p_{z_{max}j}}^k & \dots & S_{p_{z_{min}N}}^k \end{bmatrix}_{i \times j} ;$$

$$\sigma_T^k = \begin{bmatrix} \sigma_{T_{z_{min}j}}^k & \dots & \sigma_{T_{z_{min}N}}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{T_{z_{max}j}}^k & \dots & \sigma_{T_{z_{min}N}}^k \end{bmatrix}_{i \times j} ;$$

Con  $i = z_{min}, \dots, z_{max}$ ; siendo  $z_{min}$  y  $z_{max}$  la profundidad mínima y máxima, respectivamente, y  $j = 1, \dots, N$ .

Desde estas matrices se obtuvieron los perfiles promedio:

$$\overline{T^k}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N T^k_{ij} ;$$

$$\overline{S_p^k}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_p^k_{ij} ;$$

$$\overline{\sigma_T^k}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sigma_T^k_{ij} ;$$

Y los perfiles de desviación típica:

$$T^{k'}_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (T^k_{ij} - \overline{T^k}_i)^2} ;$$

$$S_P^{k'} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (S_P^{kj} - \overline{S_P^k})^2};$$

$$\sigma_T^{k'} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\sigma_T^{kj} - \overline{\sigma_T^k})^2};$$

Ambos de dimensiones  $i \times 1$ .

### 10.3.2.2. Metodología para la estimación de los modos verticales

Las matrices de anomalía de densidad ( $\sigma_T^k$ ) se obtuvieron sustrayendo de  $\sigma_T^k$  su  $\overline{\sigma_T^k}$ . Este procedimiento remueve el efecto de la estacionalidad sobre la estructura vertical de densidad, posibilitando la agrupación matricial por cada  $M$  área geográfica, reduciendo de esta forma la cantidad de matrices ( $M < k$ ).

De cada  $M$  –ésima matriz de  $\sigma_T$  se obtuvo una matriz de covarianza espacial  $\mathbf{R}$  de dimensiones  $i \times i$ , que será utilizada para el análisis con Funciones Ortogonales Empíricas (EOF, por su sigla en inglés) (Björnsson & Venegas 1997):

$$\mathbf{R} = \sigma_T \times \sigma_T^T;$$

Resolviendo el problema del valor propio para  $\mathbf{R}$ , esta se descompuso en dos matrices, que siguiendo la nomenclatura de Venegas (2001), se denominaron  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{\Lambda}$ , ambas con las mismas dimensiones que  $\mathbf{R}$ :

$$\mathbf{R} \times \mathbf{E} = \mathbf{E} \times \mathbf{\Lambda};$$

Donde cada columna de la matriz  $\mathbf{E}$  corresponde a un vector propio:

$$E^M = \begin{bmatrix} E_{11}^M & \dots & E_{1z_{max}}^M \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{z_{max}1}^M & \dots & E_{z_{max}z_{max}}^M \end{bmatrix};$$

Teóricamente, los vectores propios son linealmente independientes y representan el patrón espacial (vertical en este caso) del  $n$  –ésimo modo seleccionado del análisis con EOF. La selección de los modos estuvo basada en el porcentaje de varianza (%var) que estos explicaron. Para ello se utilizaron los valores propios contenidos en la matriz diagonal ( $\Lambda$ ):

$$\Lambda^M = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^M & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \lambda_{z_{max}z_{max}}^M \end{bmatrix};$$

Obteniendo el %var de la siguiente forma:

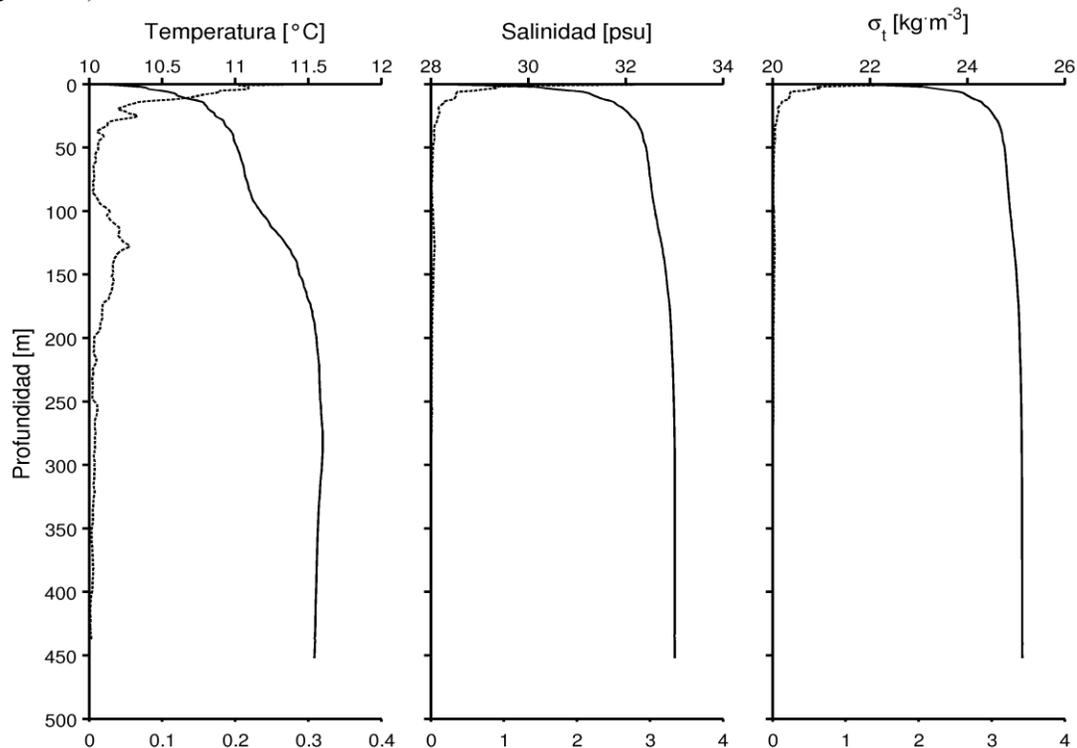
$$\%var = \frac{\lambda_i^M}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^M} \times 100;$$

### 10.3.2.3. Perfiles de invierno y/o primavera

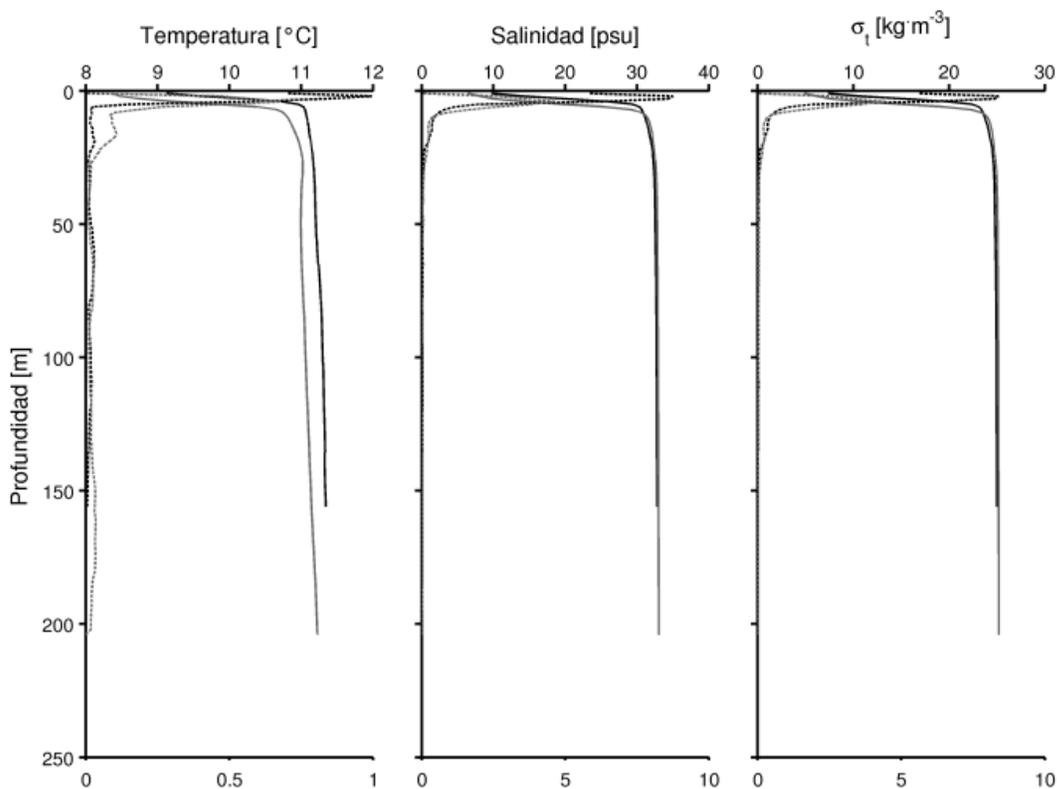
➤ *Fiordo Reloncaví*

Para el Fiordo Reloncaví se analizaron perfiles de Temperatura, Salinidad y Densidad durante tres inviernos (años 2005, 2006 y 2013) y dos Primaveras (años 2006 y 2011), lo cuales se presentan en las Figuras 22 a 24. Este sector analizado presenta una profundidad máxima de ~450 m). Durante el periodo invernal, en la boca del fiordo Reloncaví se observó una columna de agua estable, sin la presencia de una capa de mezcla. Entre 0 y 25 m de profundidad, lugar donde la desviación típica de temperatura, salinidad y densidad fue máxima, se observó una picnoclina (termoclina y haloclina), fluctuando desde ~21 kg·m<sup>-3</sup> (10,1°C y 28,5 psu) en superficie a ~24,5 kg·m<sup>-3</sup> (10,8°C y 32,5 psu) a 25 m. A mayor profundidad, tanto la salinidad como la densidad se mostraron cuasi-homogéneas, mientras

que la temperatura presentó un estrato cuasi-homogéneo entre 30 – 100 m de profundidad ( $\sim 11^\circ\text{C}$ ), luego una termoclina subsuperficial de menor magnitud que la superficial, alcanzando  $\sim 11,5^\circ\text{C}$  a 150 m. A mayor profundidad, la temperatura prácticamente no varió, sin embargo, bajo  $\sim 300$  m ésta presentó un leve descenso. Cabe destacar que a la profundidad donde se observaron los gradientes de temperatura, la desviación típica aumentó (Figura 22). Hacia el interior del fiordo tampoco se observó una capa de mezcla, si no que al igual que lo observado en su boca, existió una picnoclina (termoclina y haloclina). esta picnoclina presentó valores en superficie de  $\sim 3 \text{ kg m}^{-3}$  ( $\sim 8,5^\circ\text{C}$  y 5 psu) y en su base ( $\sim 10$  m de profundidad) de  $\sim 24 \text{ kg m}^{-3}$  ( $\sim 11^\circ\text{C}$  y  $\sim 31$  psu). En este estrato superficial la desviación de los perfiles fue máxima. A mayor profundidad la columna de agua fue prácticamente homogénea (Figura 23).

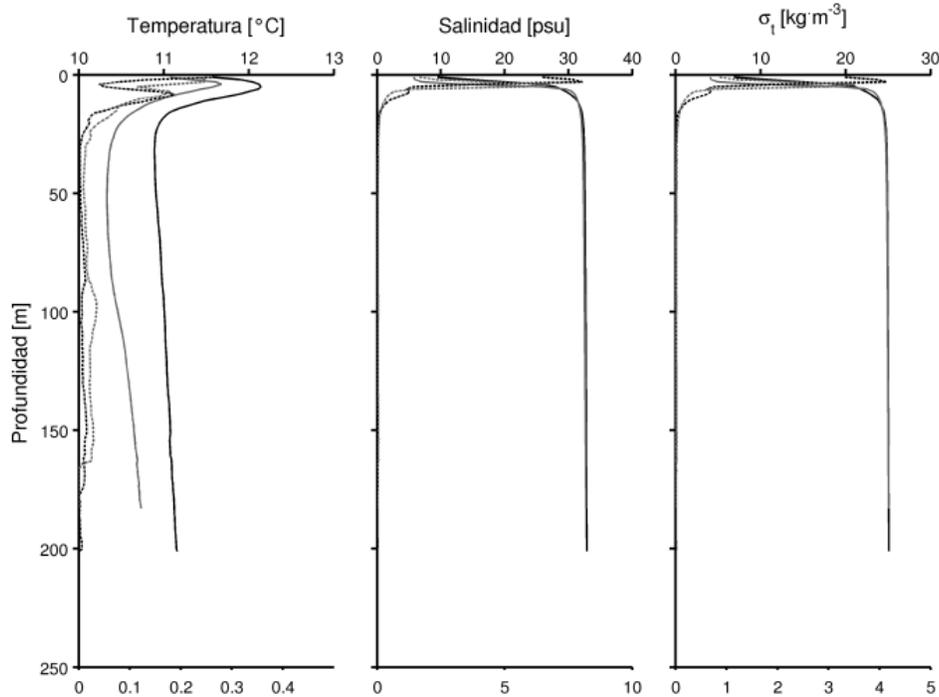


**Figura 22. Perfiles de invierno 2005, en la boca del fiordo Reloncaví. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar.**



**Figura 23. Perfiles de invierno 2006 (color negro) y 2013 (color gris), en las cercanías a la desembocadura del Río Puelo, en el fiordo Reloncaví. Las líneas continuas representan el promedio estacional, mientras que las líneas segmentadas representan su desviación estándar.**

Durante primavera, al interior del fiordo, la salinidad y densidad presenta una estructura vertical similar a la de invierno, sin embargo, entre 0 y 10 m de profundidad la temperatura mostró un aumento de  $\sim 1^\circ\text{C}$  (en ambas primaveras analizadas: 2006 y 2011), para luego disminuir hasta la misma magnitud a 25 m. Bajo ésta, la temperatura se mantiene cuasi-homogénea ( $\sim 11^\circ\text{C}$ ) hasta la máxima profundidad (Figura 24).



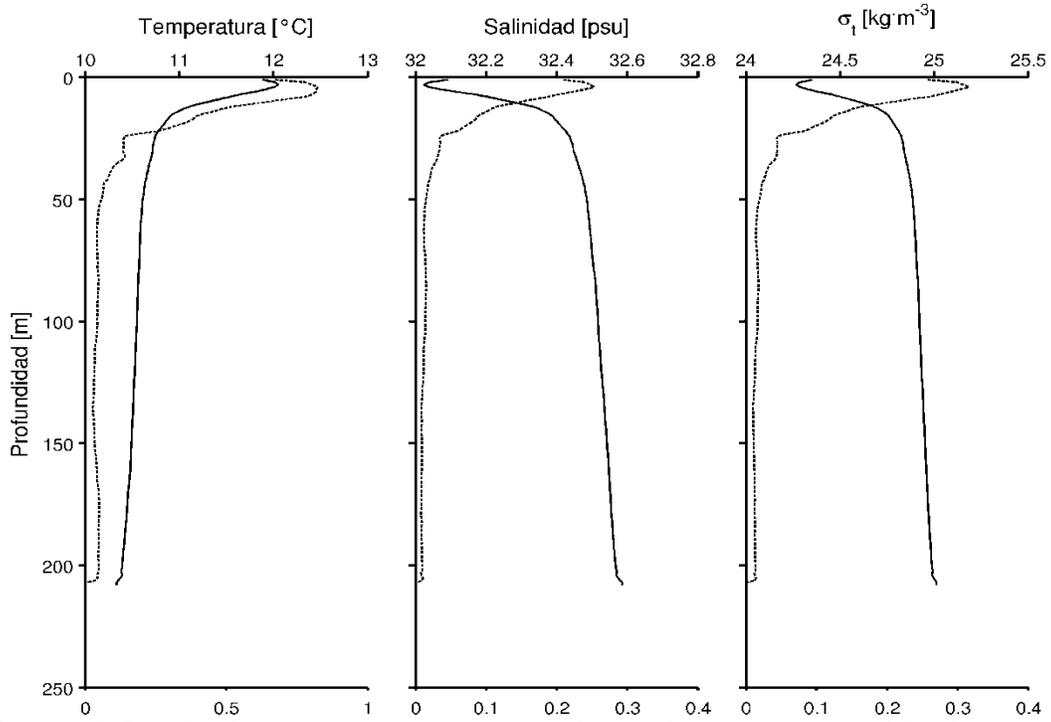
**Figura 24. Perfiles de primavera 2006(color negro) y 2011 (color gris) en las cercanías a la desembocadura del Río Puelo en el fiordo Reloncaví. Las líneas continuas indican el promedio estacional, mientras que las líneas segmentadas su desviación estándar.**

Desde los perfiles (invierno y primavera) analizados, es posible inferir que el aporte de agua dulce difiere a lo largo del fiordo Reloncaví, siendo más fría y dulce cerca de la desembocadura del Río Puelo. El aumento de temperatura observado en primavera (perfiles 2006 y 2011) se vincula al aumento de la insolación durante esta estación del año, sin efectos significativos sobre la salinidad ni la densidad de ese estrato. El aumento de la insolación en primavera también incrementa el aporte de agua dulce por medio del derretimiento del hielo en altura, lo que explicaría, en parte, la estructura vertical observada (estrato superficial). La estructura térmica en la boca del fiordo presentó a mayor profundidad (>150 m) rasgos que la separan de lo observado dentro del fiordo, sugiriendo un comportamiento de dos sistemas separados dentro del mismo fiordo.

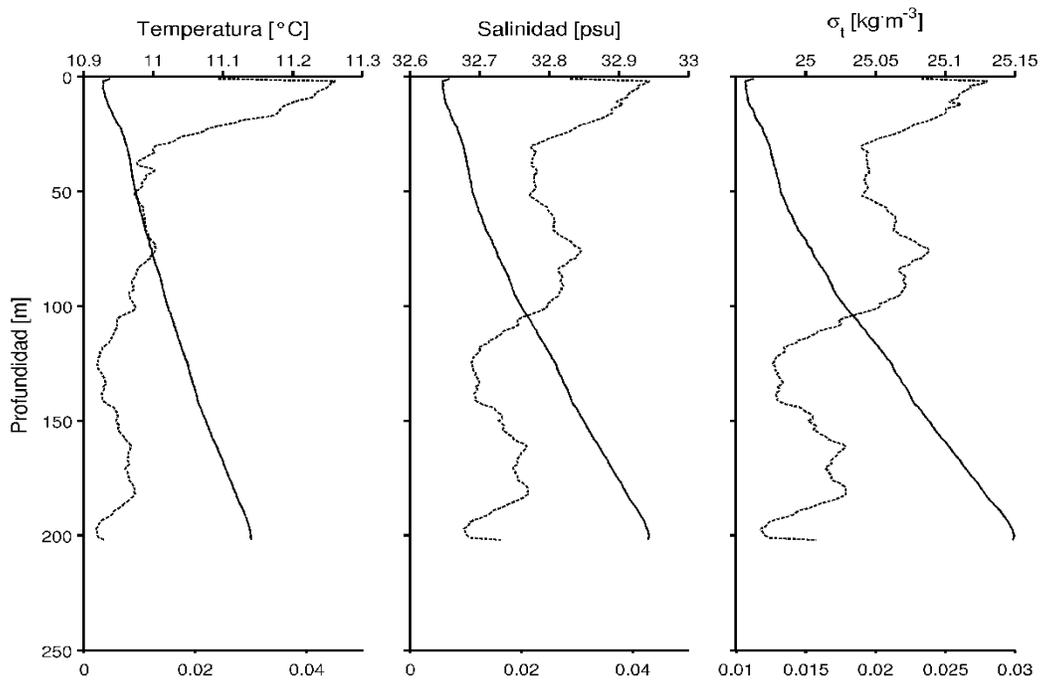
➤ *Noroeste del golfo Ancud*

Para el golfo de Ancud, se analizaron perfiles de Temperatura, Salinidad y Densidad durante el Invierno de 2013 y Primavera de 2011, los cuales se presentan en las Figuras 24 y 25. Los perfiles se sitúan al noroeste del golfo. Este sector a presenta una profundidad máxima de ~200 m) durante invierno, la temperatura y salinidad presentaron una estructura con un estrato superficial entre 0–5m compuesto por una termoclina positiva (aumento de temperatura con el aumento de densidad), y una haloclina y picnoclina negativas (disminución de salinidad con profundidad), definiendo esta capa como una zona termohalinamente inestable. Bajo 5 m de profundidad la columna de agua se mostró estable, con la temperatura disminuyendo y la salinidad aumentando en profundidad, y una picnoclina separando la capa inestable de la estable (Figura 25).

Durante primavera, también se observó una capa superficial inestable, siendo ligeramente más delgada que la observada en invierno (entre 0 y 3 m). Bajo esta profundidad, la estructura vertical de las tres variables difiere considerablemente de la de invierno, presentando gradientes positivos en todas ellas, siendo cuasi-homotermal (Figura 26).



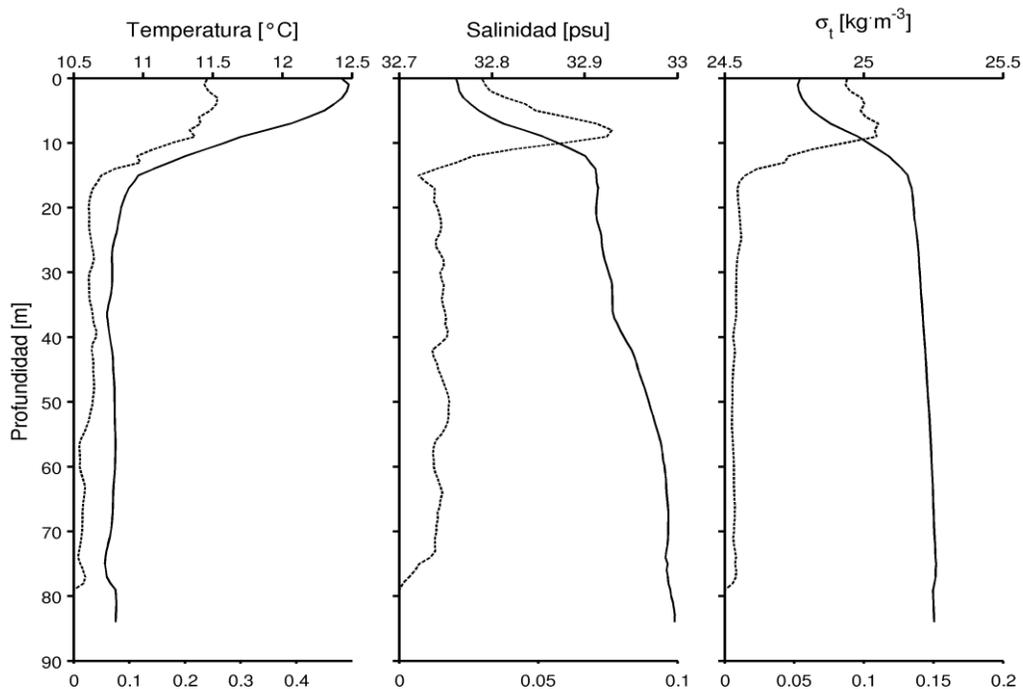
**Figura 25. Perfiles de invierno 2013, correspondiente al sector noroeste del golfo Ancud. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar.**



**Figura 26. Perfiles de primavera 2011 al noroeste del golfo Ancud. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar.**

➤ *Canal Lemuy*

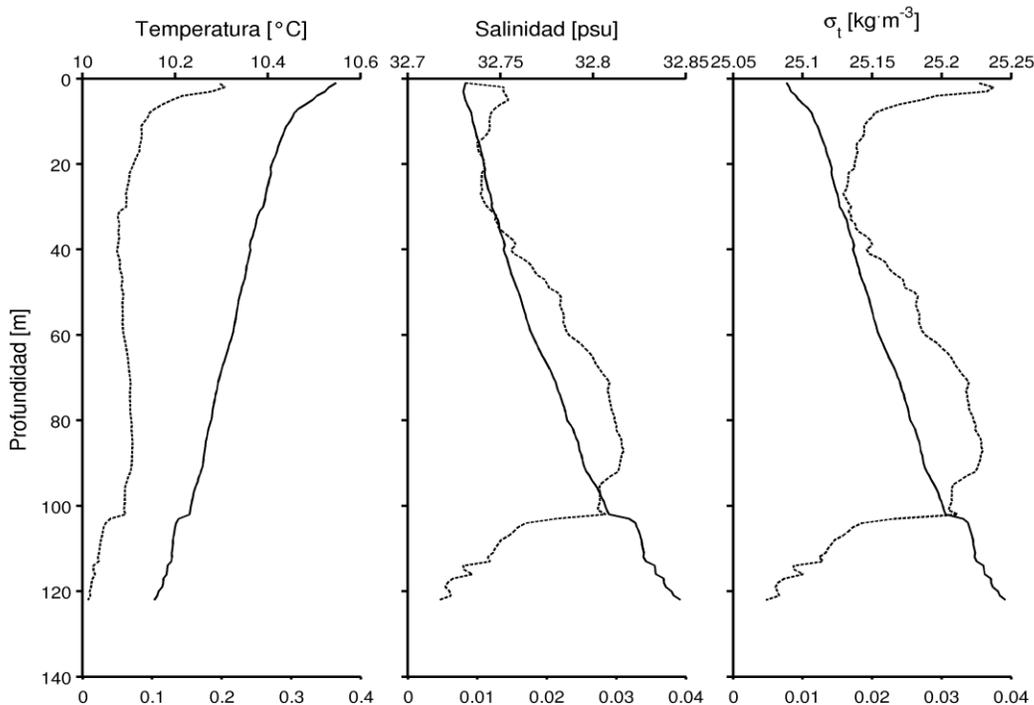
Para el Canal Lemuy, se analizaron perfiles de Temperatura, Salinidad y Densidad durante la Primavera de 2005 (Figura 27). Este sector presenta una profundidad máxima de ~90 m. Durante la primavera de 2005, este canal presentó una capa de mezcla bien desarrollada de ~7 m, con valores de ~12,4°C, 32,76 psu y 24,76 kg·m<sup>-3</sup>. Luego entre 8 y 15 m se observó una termoclina, haloclina y pycnoclina, con un descenso en la temperatura de ~1,5°C, y un aumento en salinidad y densidad de 0,15 psu y 0,35 kg·m<sup>-3</sup>, respectivamente. A mayor profundidad, la columna de agua se presentó cuasi-homogénea para las tres variables, sin embargo, la salinidad mostró un leve aumento pasando de ~32,9 psu entre 15 y 40 m a ~33 psu bajo esta profundidad (Figura 27).



**Figura 27. Perfiles de primavera 2005 en el canal Lemuy. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar.**

➤ *Sur del Canal Apiao*

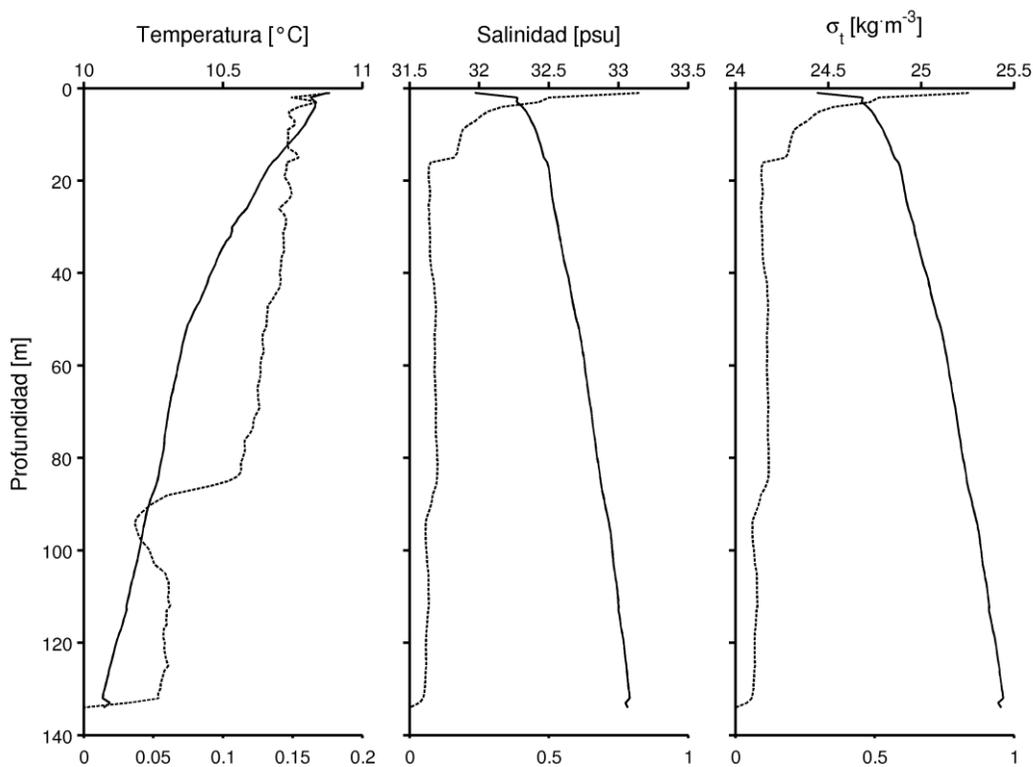
Para el Canal Apiao, se analizaron perfiles de Temperatura, Salinidad y Densidad realizados al sur del canal durante la Primavera de 2011 (Figura 28). Este sector presenta una profundidad máxima de ~120 m. En la primavera de 2011, al sur de este canal, en la parte norte del golfo Corcovado, la estructura vertical de la temperatura, salinidad y densidad se presentó sólo una termoclina, haloclina y picnoclina, sin gran diferenciación entre estratos. Cerca de la superficie, la columna de agua presentó temperaturas de ~10,5°C, salinidades del orden de 32,74 psu y densidades de ~25,1 kg·m<sup>-3</sup>. Bajo 100 m de profundidad, la temperatura fue de 10,2°C, la salinidad > 32,8 psu y la densidad de ~25,23 kg·m<sup>-3</sup> (Figura 28).



**Figura 28. Perfiles de primavera 2011 en el canal Apiao. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar.**

➤ *Sur del Canal Desertores*

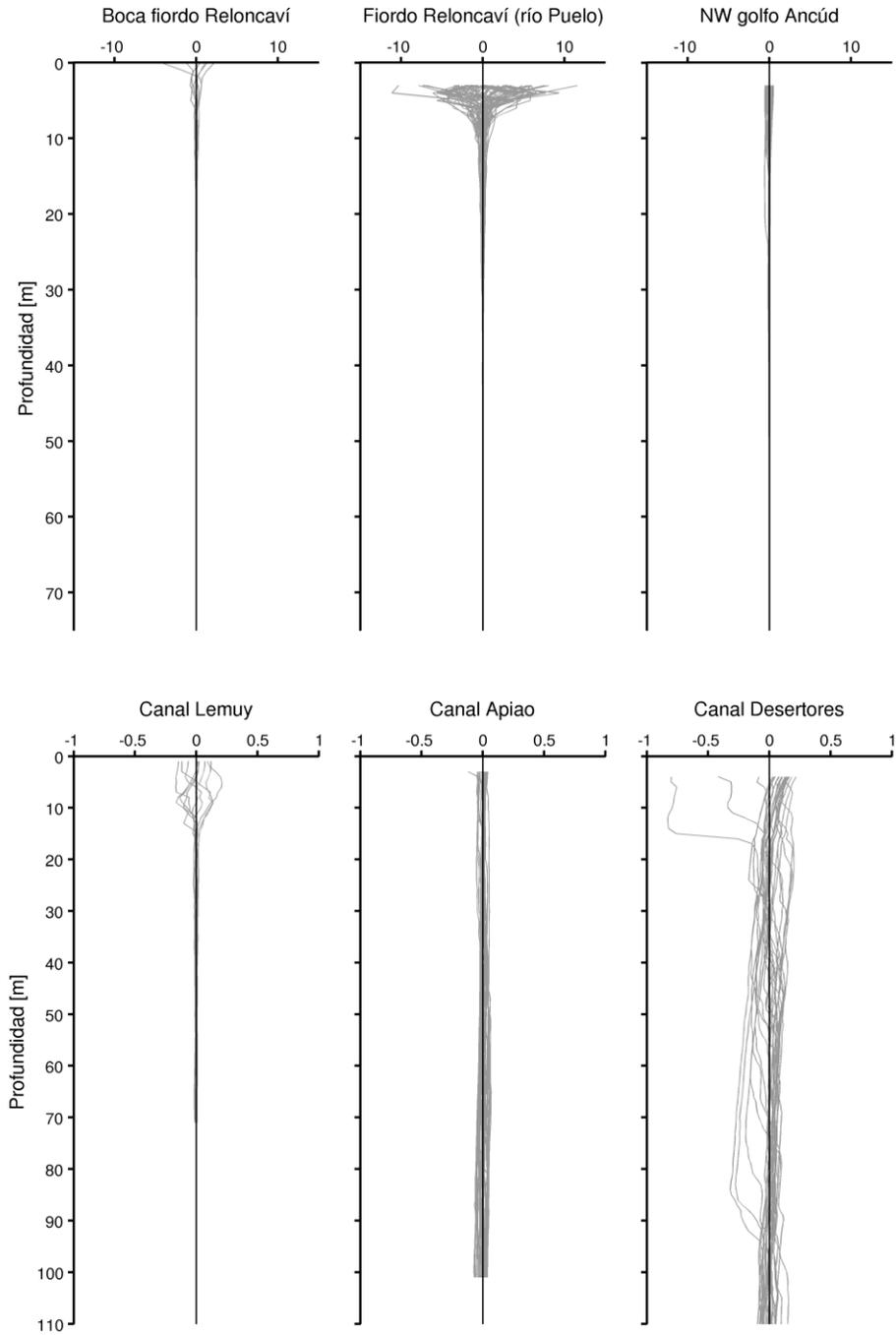
Para el Canal Desertores, se analizaron perfiles de Temperatura, Salinidad y Densidad durante la Primavera de 2011, los cuales se presentan en la Figura 29. Los perfiles se sitúan al sur del canal (golfo Corcovado). Este sector analizado presenta una profundidad máxima de ~140 m). El perfil de primavera 2011 para este sector presentó una capa superficial (0 – 4 m) compuesta por clinas en las tres variables. La columna de agua se observó estable, al igual que al sur del canal Apiao. Bajo 5 m las variables presentaron una razón de cambio gradual, pasando de ~10,8°C, ~32,25 psu y 24,7 kg m<sup>-3</sup> a 5 m de profundidad, a ~10,1°C, ~33 psu y ~25 kg m<sup>-3</sup> a 125 m de profundidad (Figura 29).



**Figura 29. Perfiles de primavera 2011 en el golfo Corcovado, al sur del canal Desertores. La línea negra continua representa el promedio estacional, mientras que la línea negra segmentada representa su desviación estándar.**

#### **10.3.2.4. Anomalías de los perfiles estacionales de densidad**

Las anomalías de todas las áreas evaluadas en el punto anterior presentaron la mayor amplitud en el estrato vertical de 0 – 20 m, exceptuando el sur del canal Desertores (golfo Corcovado), donde la mayor amplitud de la anomalía se observó entre 0 y 90 m de profundidad. La mayor amplitud de las anomalías se observó en el fiordo Reloncaví, próximo a la desembocadura del Río Puelo, oscilando en torno a  $\pm 7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , mientras que, las de menor amplitud se presentaron al sur del canal Apiao. Por otro lado, existe un cierto grado de similitud en la estructura vertical de las anomalías asociadas al fiordo Reloncaví y canal Lemuy, y entre las registradas al noroeste del golfo Ancud con las del canal Apiao, sin embargo, las primeras fueron de mayor amplitud que las últimas (Figura 30).



**Figura 30. Anomalías respecto al perfil estacional de densidad.**

#### **10.3.2.5. Modos verticales de variabilidad de las anomalías**

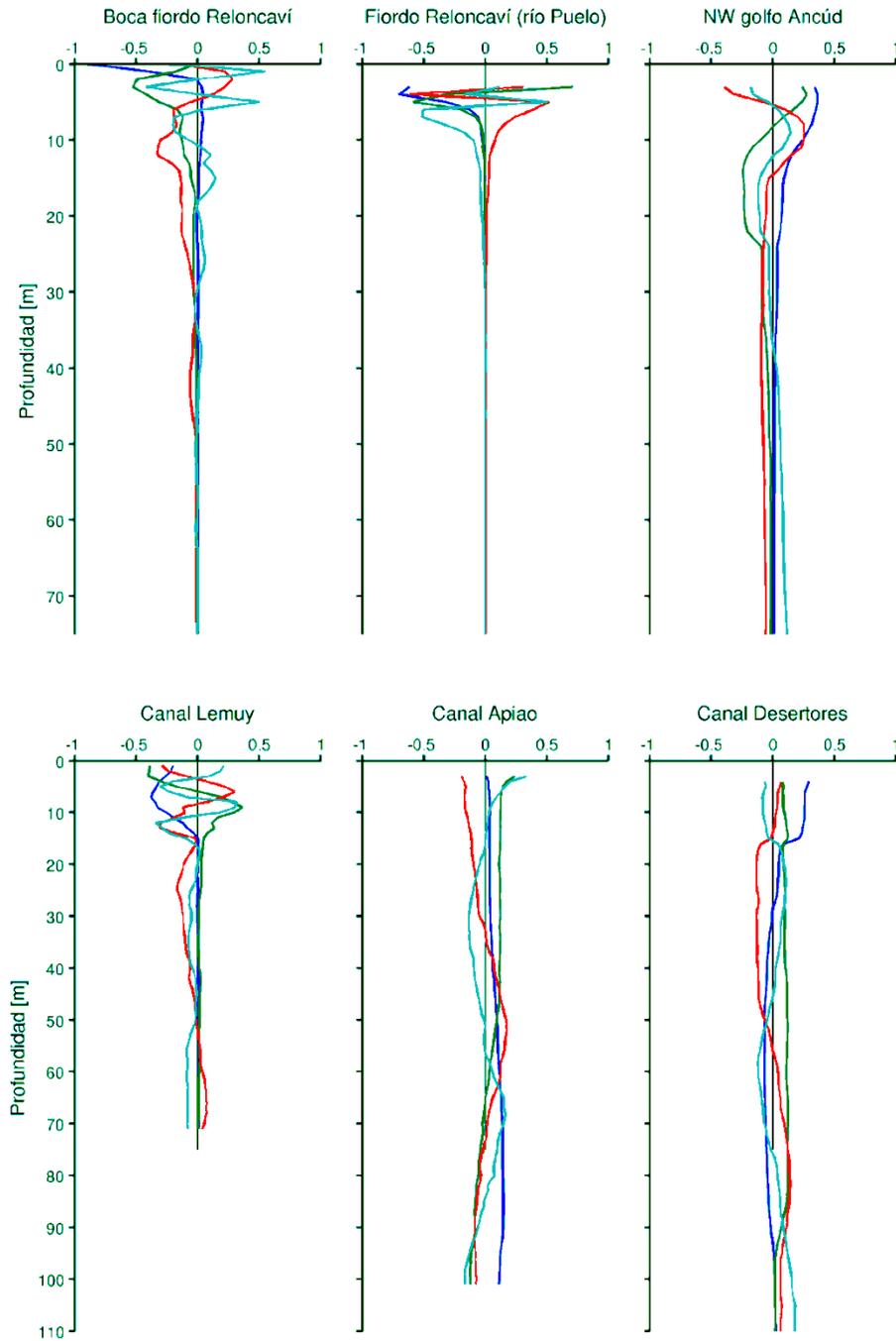
El porcentaje de varianza explicado por cada modo se muestra en Tabla 15. En todos los sectores analizados, exceptuando al sur del canal Desertores, el primer modo explicó sobre un 60% de varianza, mientras que en este último explicó ~40% de varianza. En el canal Lemuy el segundo modo explicó un cuarto de la variabilidad total, mientras que, al sur del canal Desertores, este explicó más de un tercio, con un valor próximo a su primer modo. En el canal Apiao este modo explicó sólo ~11% de su variabilidad.

Tal como se observó de manera gráfica en los perfiles de anomalía, la mayor amplitud de los cuatro primeros modos verticales de oscilación en el fiordo Reloncaví, noroeste del golfo Ancud y canal Lemuy se presentó en el estrato 0 – 30 m de profundidad. Sin embargo, al sur del canal Apiao el primer modo mostró máximas amplitudes a profundidades > 40 m (Figura 31).

Al sur del canal Desertores, este tipo de descomposición no parece cumplir con la regla/asunciones de las EOF (linealmente independientes) debido a que las fracciones de varianza explicadas por los dos primeros modos indican que éstos no se separan, si no que forman parte de uno, lo cual explicaría la variabilidad desde la superficie hasta 90 m de profundidad, con amplitudes levemente mayores entre 0 y 20 m (Figura 31).

**Tabla 15. Porcentaje de varianza explicada por los primeros cuatro modos verticales (EOFs) de las anomalías del perfil estacional de densidad.**

<b>Área geográfica</b>	<b>EOF1</b>	<b>EOF2</b>	<b>EOF3</b>	<b>EOF4</b>
Boca Reloncaví	82,8	13,2	2,2	1,2
Mid. Reloncaví	71,1	16,9	7,9	2,7
Golfo Ancud	68,7	14,2	5,1	3,9
Canal Lemuy	67,7	25	3,4	1,9
Sur canal Apiao	74,3	10,9	6,8	2,9
Sur canal Desertores	42,7	34,5	10,3	6



**Figura 31. Primeros cuatro modos (EOFs) verticales de las anomalías del perfil estacional de densidad. Las líneas azules, verdes, rojas y cían representan al primer, segundo, tercer y cuarto modo, respectivamente.**

De acuerdo con lo observado en el análisis anterior, dentro de la X Región la variabilidad vertical de las propiedades hidrográficas no se comportan homogéneamente, sin embargo, se logró observar algunas características que permiten tomar una decisión sobre qué estratos de la columna de agua deben ser resueltos mediante un muestreo verticalmente discreto.

Dentro de los canales y fiordos de la Región, y en aquellas áreas próximas a fuentes de agua dulce, el estrato de mayor variabilidad es el segmento entre 0 – 25 m de profundidad, respondiendo a un sistema de dos capas cuya pycnoclina presenta fluctuaciones forzadas por: *la variabilidad del ingreso de agua dulce (principalmente estacional), por la interacción de la onda marea con la geomorfología de la cuenca, por el viento, y por la interacción entre estos procesos.* Por otro lado, en aquellas zonas cuya batimetría permite un intercambio más profundo (i.e. fiordos y canales suficientemente profundos), el esquema clásico de dos capas asociado a la circulación estuarina puede verse modificado, presentando una capa más profunda de variabilidad significativa centrada en ~50 m (e.g. boca fiordo Reloncaví y canal Lemuy), la que se asociaría a la penetración de agua más densa (más salina) de origen oceánico. Este rasgo, en fiordos y canales someros, no será observado, ya que la profundidad (somera) impide el flujo libre de agua oceánica profunda, generando dentro de él un sistema aislado cuya renovación de agua profunda estaría sujeta a otros mecanismos, como, por ejemplo, a la generación de un salto hidráulico interno durante una intensa marea llenante (pleamar). Finalmente, en sistemas abiertos, como el golfo Corcovado, la columna de agua se observa altamente mezclada, donde incluso su variabilidad vertical es mayor bajo 50 m de profundidad (e.g. al sur del canal Apiao).

### **10.3.3. Variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar y la clorofila-a satelital en la X Región**

Debido a la susceptibilidad del área a los eventos de floración de algas nocivas, en esta sección se analizará la variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) y la clorofila-a (Clo-a) satelital, ya que éstas pueden utilizarse como *proxy* de la productividad primaria, considerando que parte de la variabilidad de la productividad primaria observada en la región, puede explicarse por el acoplamiento entre ambas variables. La caracterización de la variabilidad de ambas variables fue realizada con información satelital de ~13 años (2003-2016) de datos.

Para la Clo-a, se utilizó el producto L3 Chlorophyll-a Case I, de 4 km de resolución y registro semanal, generado y distribuido por GlobColour (<http://www.globcolour.info/>), el cual combina las misiones SeaWIFS, MODIS-Aqua, MERIS y VIIRS, mejorando la cobertura espacial y temporal del registro. Los pixeles sin datos en la base de Clo-a fueron interpolados usando el método DINEOF (Alvera-Azcárate et al. 2005), a través de una caja móvil estacional (~4 meses).

En el caso de la TSM, el producto seleccionado fue el GHRSSST L4 MUR (Multi-scale Ultra-high Resolution), producido por JPL PO. DAAC (Jet Propulsion Laboratory Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) de ~1km de resolución espacial y frecuencia diaria, el cual combina los registros de diversas misiones satelitales, sin discriminar en el tipo de sensor, integrando también datos obtenidos de forma *in situ* (e.g. boyas oceanográficas, registro de embarcaciones). Con el fin de que el campo de TSM sea comparable al de Clo-a, este fue llevado a su misma resolución espacial y temporal.

El método seleccionado para la identificación de los modos principales de variabilidad fue el “Multi-Taper Method – Singular Value Descomposition” (MTM-SVD), que si bien no es específicamente el mencionado en nuestra propuesta, la información que se obtiene de éste, en términos de descomposición de oscilaciones significativas de un campo, es más robusta, debido a que entrega el “Espectro de Varianza Local Fraccional (LFV)” del campo, cuya estimación se obtiene a partir de las densidades espectrales de todas las series de tiempo (estimadas usando el MTM), destacando las frecuencias de las oscilaciones que mostraron una correlación espacial significativa dentro del campo (aplicación de SVD en el dominio espacio-frecuencia). Además, el método permite reconstruir el campo de variabilidad y ciclo canónico de las oscilaciones asociadas a las frecuencias de interés (Mann & Park, 1999; Correa-Ramírez & Hormazábal, 2012).

Previo a la estimación del Espectro LFV el set de datos debe organizarse en una matriz bidimensional de la siguiente manera:

$$x_n^m = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & \dots & x_N^{(1)} \\ x_1^{(2)} & x_2^{(2)} & \dots & x_N^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{(M)} & x_2^{(M)} & \dots & x_N^{(M)} \end{bmatrix};$$

Donde cada fila corresponde a las series de tiempo de los sitios  $m = 1, 2, \dots, M$ , y corresponde al dato en el instante  $n = 1, 2, \dots, N$ . Para evitar cualquier tipo de predominancia numérica de alguna de las series de tiempo en la descomposición ortogonal, es conveniente normalizarlas removiendo su media ( $\mu^{(m)}$ ) y dividiendo por la desviación estándar ( $\sigma^{(m)}$ ) respectiva:

$$x'_n{}^{(m)} = \frac{x_n^{(m)} - \mu^{(m)}}{\sigma^{(m)}};$$

Siendo  $x'_n{}^{(m)}$  la matriz espacio-tiempo normalizada. Además, para evitar los efectos en la estimación espectral de las oscilaciones cuyo período sea más largo que el fundamental, se aconseja eliminar la tendencia lineal de las  $m$  series de tiempo previo a su normalización.

Como se mencionó anteriormente, a partir del Espectro LFV se identificarán las frecuencias de oscilación significativas dentro del área, contrastando este espectro con un Espectro LFV Basal obtenido mediante la técnica de “bootstrap”.

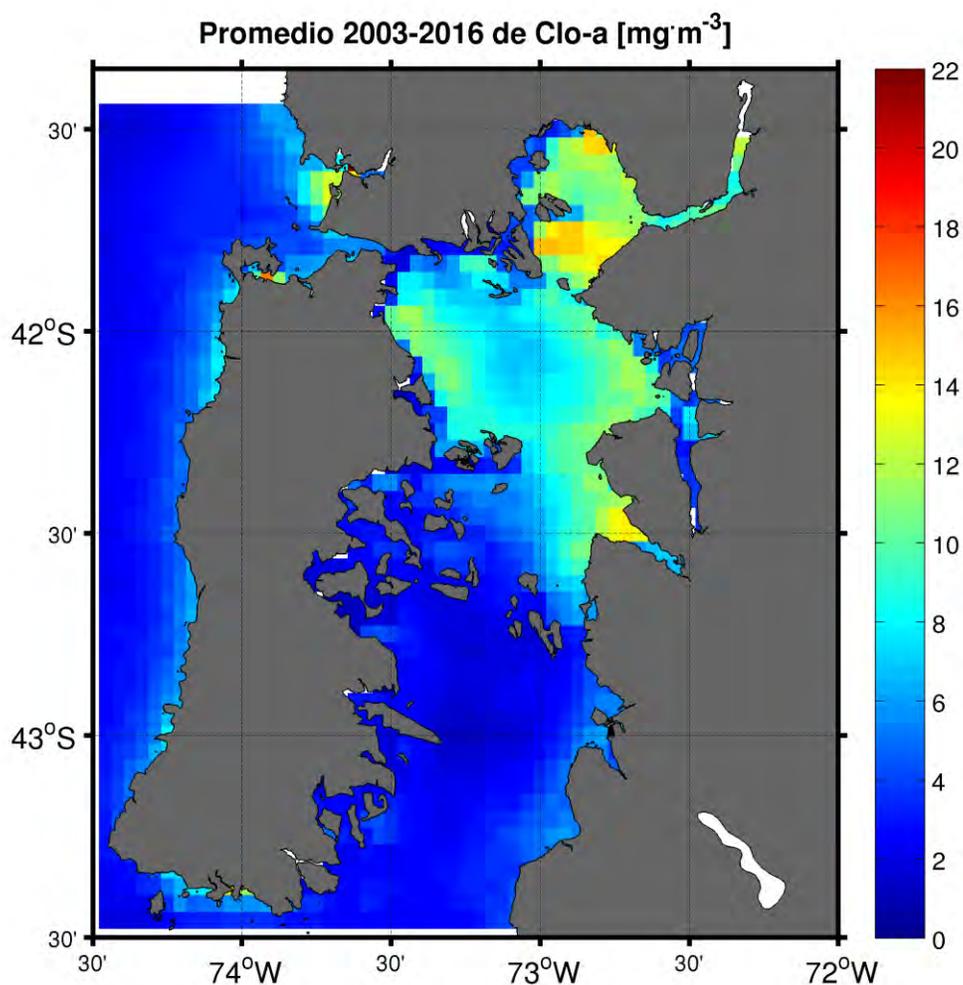
La capacidad de reconstruir el campo de variabilidad de una oscilación de interés viene dada por el resultado de la descomposición mediante el SVD, desde donde se obtiene una parte asociada a la variabilidad espacial, otra a la amplitud, y una última relacionada con la modulación principal de cada espectro estimado mediante el MTM, reflejando el comportamiento oscilatorio de la señal en el campo.

#### **10.3.3.1. Descripción de las características promedio de los campos de clorofila-a y temperatura superficial del mar satelital en la X Región.**

##### **➤ *Clorofila-a satelital***

La Figura 33, muestra el campo promedio de clorofila-a satelital en la X Región para un periodo de ~13 años (2003-2016). En la figura, se observan sectores cuyas concentraciones promedio de Clo-a superaron los  $10 \text{ mg m}^{-3}$ , estos corresponden a: el golfo Coronados, bahía Ancud y golfo Quetalmahue (máximas concentraciones,  $\sim 20 \text{ mg m}^{-3}$ ), el borde occidental y austral de isla Chiloé, el golfo Ancud, y el seno y fiordo Reloncaví.

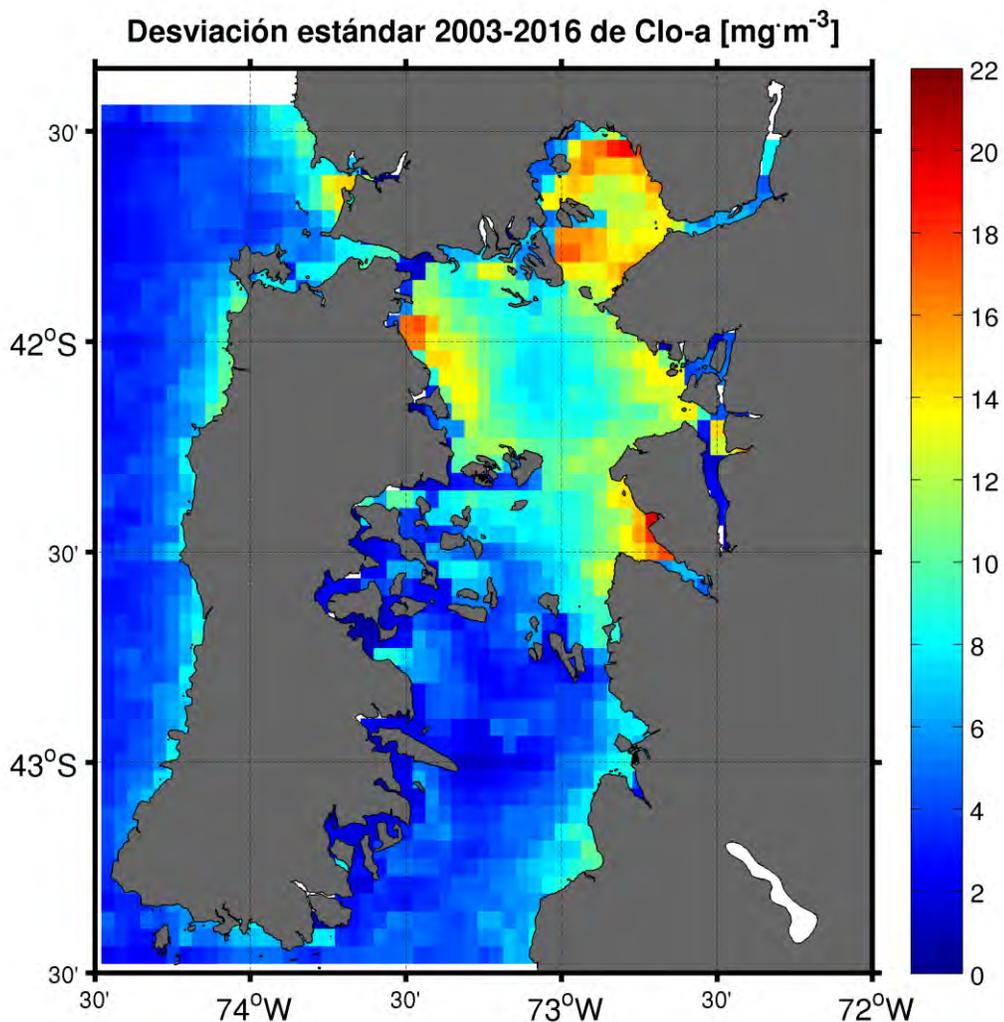
La región asociada al Mar Interior presenta una marcada división geográfica en relación a las concentraciones promedio de Clo-a, con las menores concentraciones ubicadas al sur del archipiélago de Chiloé e islas Desertores (golfo Corcovado) y mayores concentraciones al norte de éstas. Los máximos locales ( $>14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) se observaron en la desembocadura del fiordo Reñihue, en la boca del seno Reloncaví y al extremo norte de este mismo (Figura 32).



**Figura 32. Campo promedio (2003-2016) de clorofila-a satelital durante para la X Región.**

El campo promedio de la desviación estándar de Clo-a se presenta en la Figura 33. Las máximas desviaciones respecto del promedio se observaron asociadas con las áreas que presentaron una mayor concentración de Clo-a, mostrando un patrón promedio similar al de

sus concentraciones promedio, con áreas de mayor y menor desviación al norte y sur del archipiélago de Chiloé e islas Desertores, respectivamente (Figura 33).

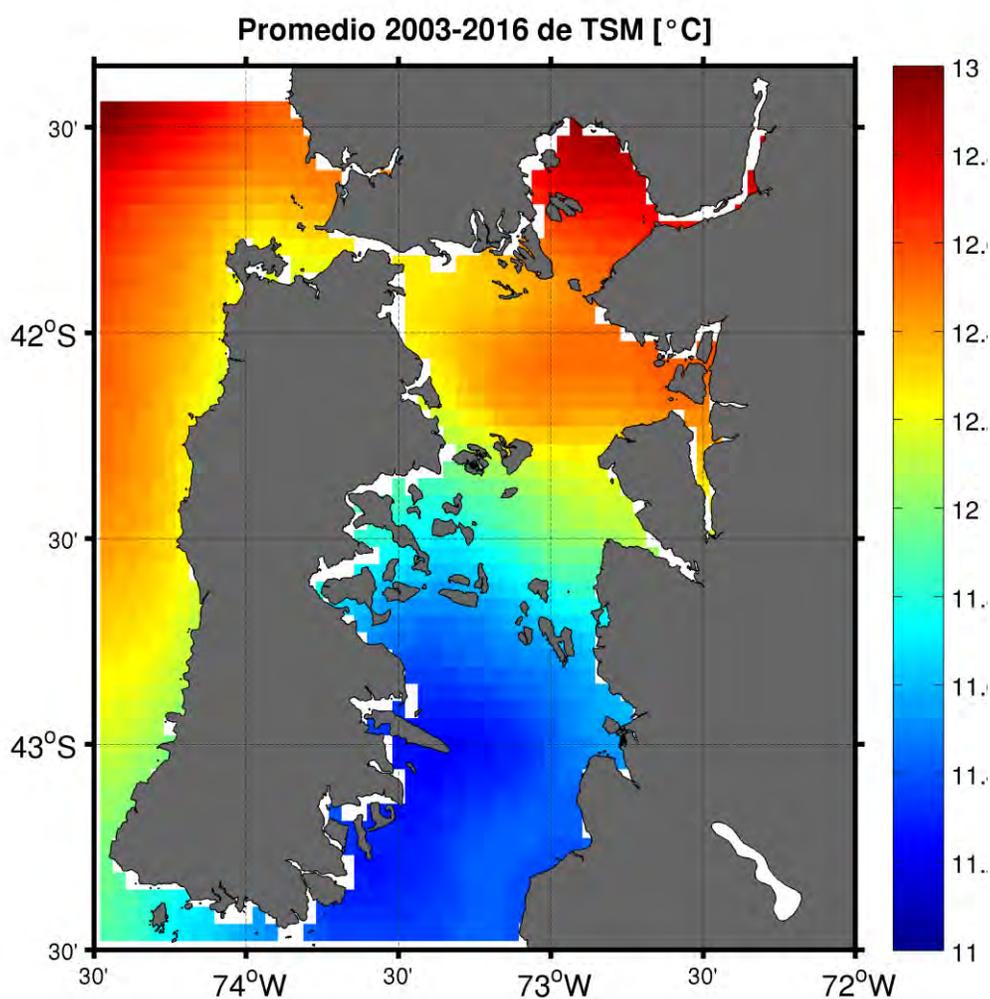


**Figura 33. Campo de desviación estándar de clorofila-a satelital durante el periodo 2003-2016 para la X Región.**

➤ *Temperatura superficial del mar*

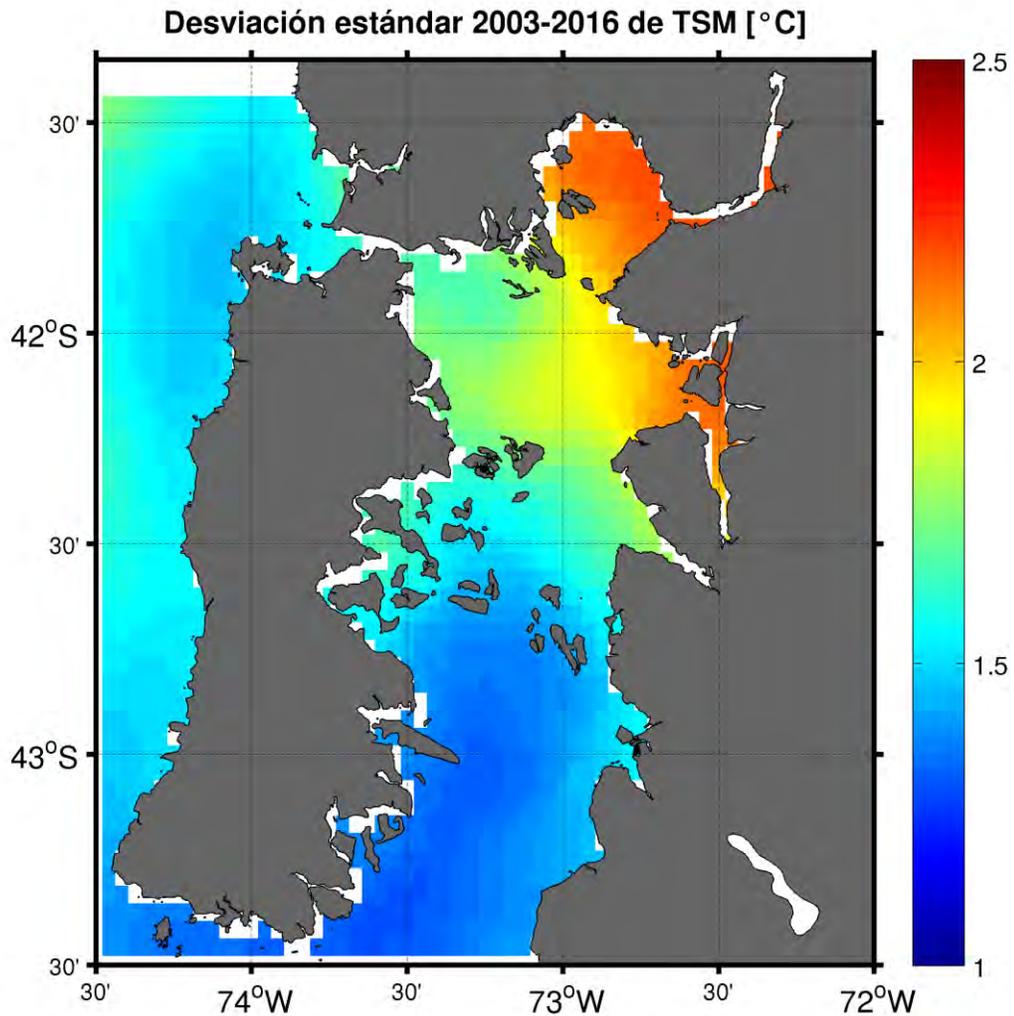
La Figura 34, muestra el campo promedio de la temperatura superficial del mar satelital en la X Región para un periodo de ~13 años (2003-2016). Fuera de la región de Mar Interior, la TSM presenta un gradiente meridional con temperaturas de ~13°C en su límite norte, las que

descienden paulatinamente a  $\sim 12^{\circ}\text{C}$  frente a la boca del Guafo. Dentro de la región del Mar Interior, este gradiente meridional se observa más marcado, presentando un patrón similar al observado para el campo promedio de las concentraciones de Clo-a, mediado por la presencia del archipiélago de Chiloé e islas Desertores. Se observaron temperaturas de  $\sim 13^{\circ}\text{C}$  en el seno y fiordo Reloncaví y de  $\sim 12^{\circ}\text{C}$  frente al fiordo Reñihue. La TSM promedio entre la boca del Guafo y el golfo Corcovado fue de  $\sim 11,2^{\circ}\text{C}$  (Figura 34).



**Figura 34. Campo promedio (2003-2016) de la temperatura superficial del mar para la X Región.**

El campo promedio de la desviación estándar de la TSM se presenta en la Figura 35. Las mayores desviaciones respecto del promedio se observaron en el seno y fiordo Reloncaví, y en el fiordo Comau, mientras que los menores valores de desviación se encontraron en el golfo Corcovado, boca del Guafo y al noroeste y suroeste de isla Chiloé (Figura 35).



**Figura 35. Campo de desviación estándar de temperatura superficial del mar satelital durante el periodo 2003-2016 para la X Región.**

### 10.3.3.2. Bandas significativas de variabilidad

#### ➤ Espectros LFV del campo de Clo-a y TSM

Los Espectros de Varianza Fraccional Local (LFV) de Clo-a y TSM, y su espectro conjunto, se muestran en las Figuras 36 a 38. El espectro LFV de la Clo-a presentó diversos peaks espectrales asociados a escalas interanuales, anuales, estacionales e intraestacionales, sin embargo, únicamente fueron significativos (por sobre el nivel de 95% de significancia) los centrados en la frecuencia anual y semianual (Figura 36).

En el LFV de la TSM, la banda anual dominó la variabilidad, siendo esta frecuencia la única significativa (por sobre el nivel de 95% de significancia) (Figura 37).

En el espectro conjunto de TSM y Clo-a, únicamente la banda anual fue significativa sobre un 95% de significancia (Figura 38).

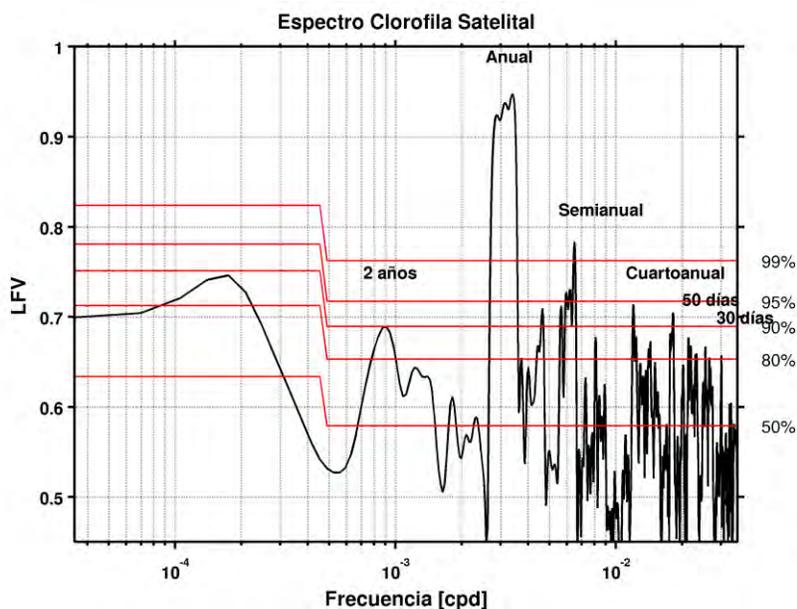


Figura 36. Espectro de varianza local fraccional del campo de clorofila-a satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia.

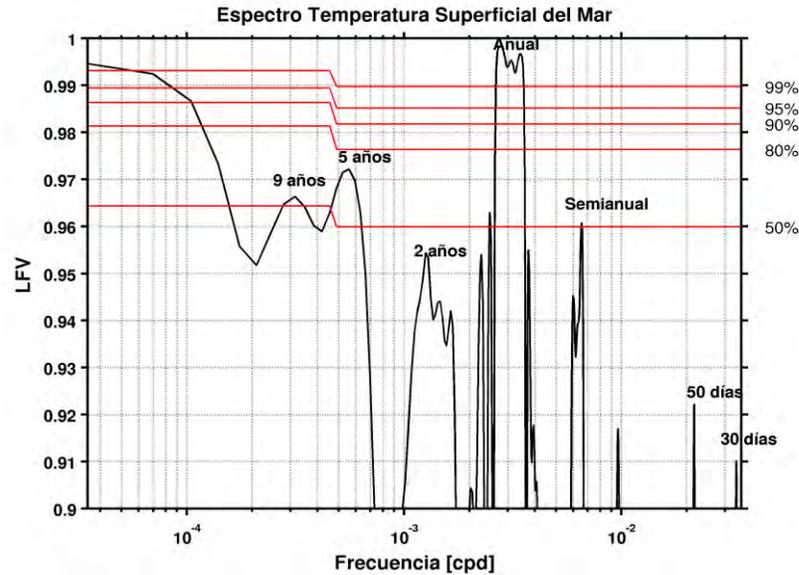


Figura 37. Espectro de varianza local fraccional del campo de temperatura superficial del mar satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia.

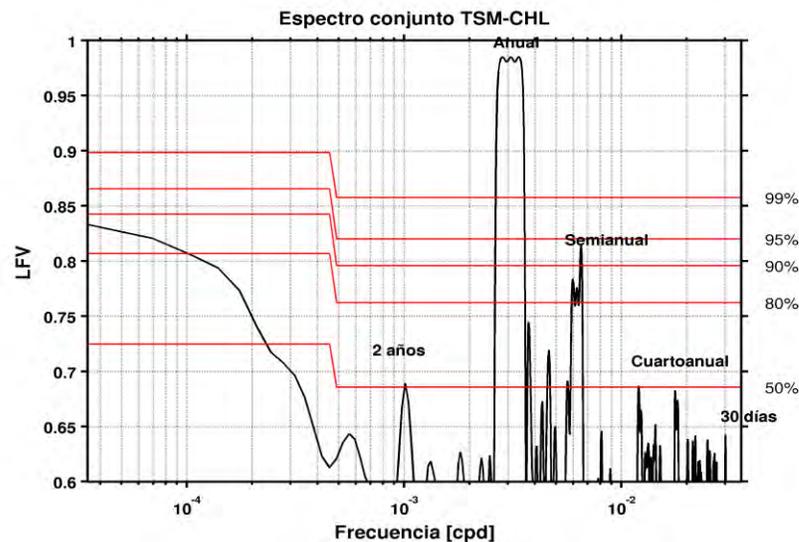


Figura 38. Espectro de varianza local fraccional del campo conjunto entre clorofila-a y temperatura superficial del mar en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia.

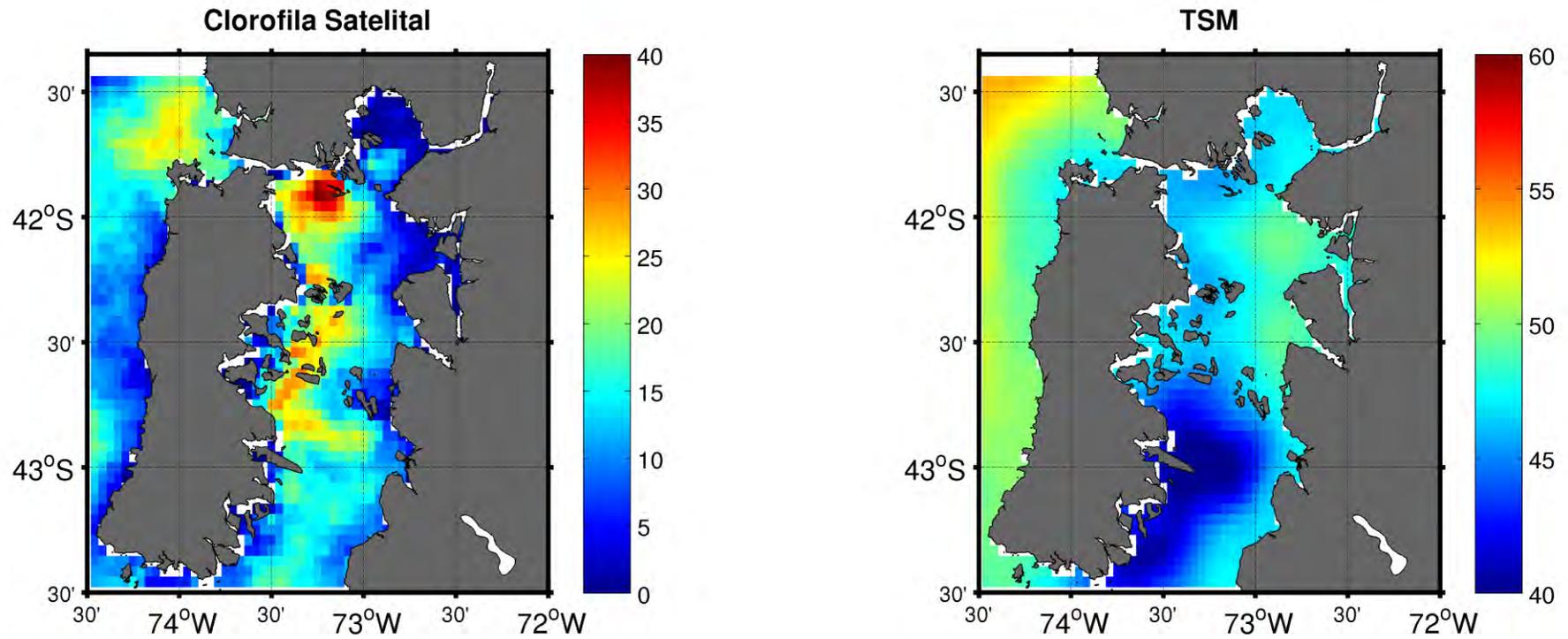
➤ *Patrón espacial y ciclo canónico de la banda anual*

En el patrón espacial de las oscilaciones anuales, mostraron que para la región no se observa una clara correspondencia espacial entre la Clo-a y la TSM. Para el caso de la Clo-a, las áreas

dominadas por la banda anual se observaron al noroeste del golfo Ancud, en la vecindad del archipiélago de Chiloé y en el límite occidental del canal Chacao, frente al golfo Coronados. Mientras que para la TSM, las fluctuaciones de tipo anual explicaron dentro de toda la región una fracción de varianza igual o superior al 40%, con mínimos valores en el golfo Corcovado (~40%) y máximos locales en las desembocaduras de los fiordos Reñihue y Comau (Figura 39).

Al reconstruir el ciclo anual de la Clo-a (Figura 40), se observa que, a comienzos de junio ( $0^\circ$ ) se presentan anomalías positivas de Clo-a al sur de la isla Chiloé, al norte del seno, dentro del fiordo Reloncaví, y en los fiordos Reñihue y Comau, y anomalías negativas frente a canal Chacao y dentro de los golfos Corcovado y Ancud. A fines de julio ( $45^\circ$ ), las anomalías positivas al sur de Chiloé comienzan a aumentar en magnitud y cobertura espacial, extendiéndose hacia el sector occidental del golfo Corcovado, para que ya a comienzos de septiembre ( $90^\circ$ ) se observen dentro de toda la región, con una franja de mayores amplitudes extendiéndose por toda la costa oriental de la isla Chiloé. Los máximos valores se presentan desde fines de octubre hasta comienzos de diciembre ( $135 - 180^\circ$ ) en el golfo Ancud, para luego disminuir de forma paulatina. A inicios de marzo ( $270^\circ$ ), se comienzan a observar nuevamente anomalías negativas en la concentración de Clo-a en la región interior.

El ciclo canónico de la oscilación anual en la TSM presenta un patrón de mayor escala, con ligeras variaciones en su amplitud, alcanzando máximos valores en el período de verano ( $180-225^\circ$ ) y mínimos en invierno ( $0-45^\circ$ ). La amplitud del ciclo anual es levemente mayor en el fiordo Comau y en el seno y fiordo Reloncaví (Figura 41).



**Figura 39. Patrón espacial de la oscilación anual en los campos de clorofila-a satelital (panel izquierdo) y temperatura superficial del mar satelital (panel derecho) en la X Región.**

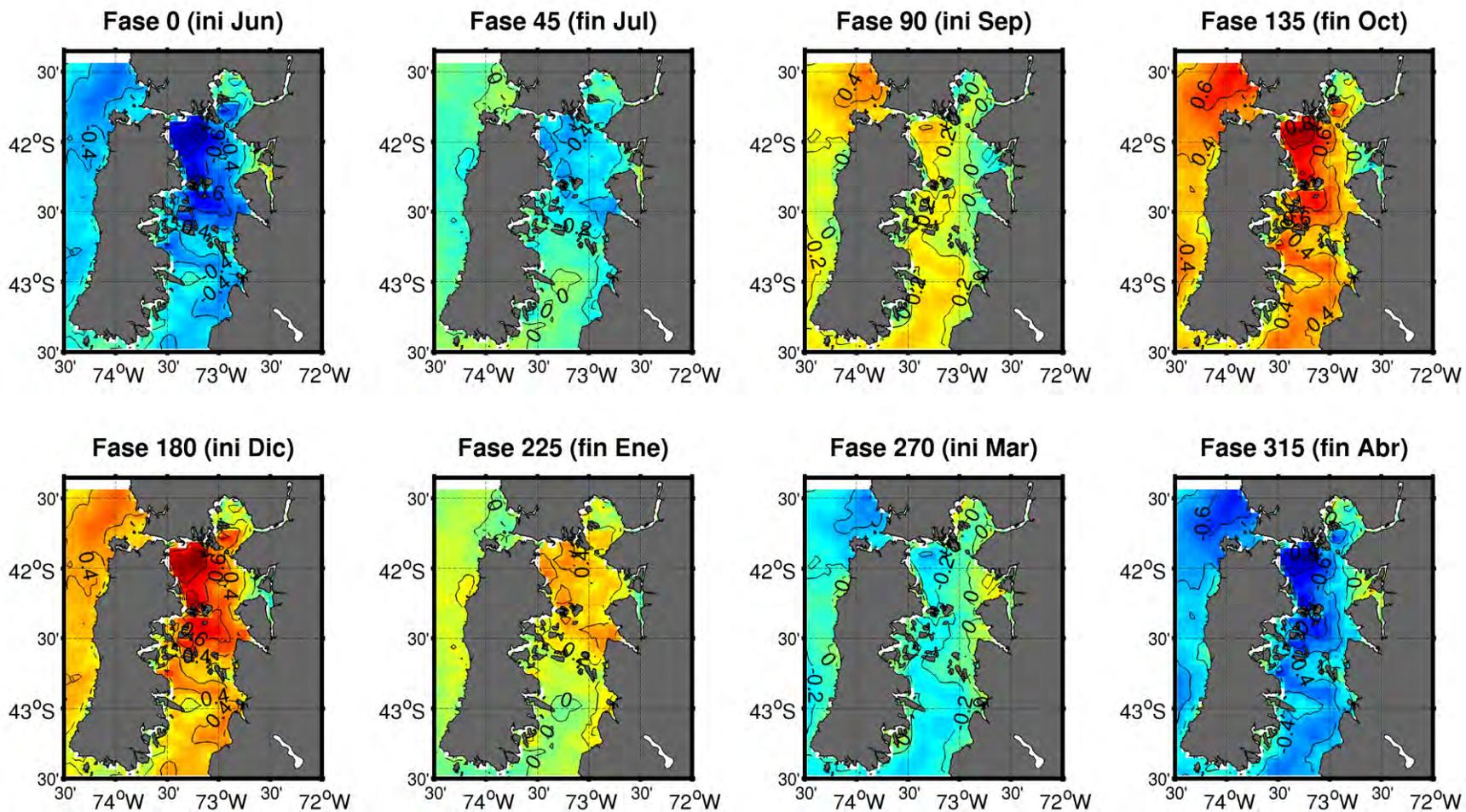


Figura 40. Ciclo canónico de la oscilación anual de la clorofila-a satelital en la X Región.

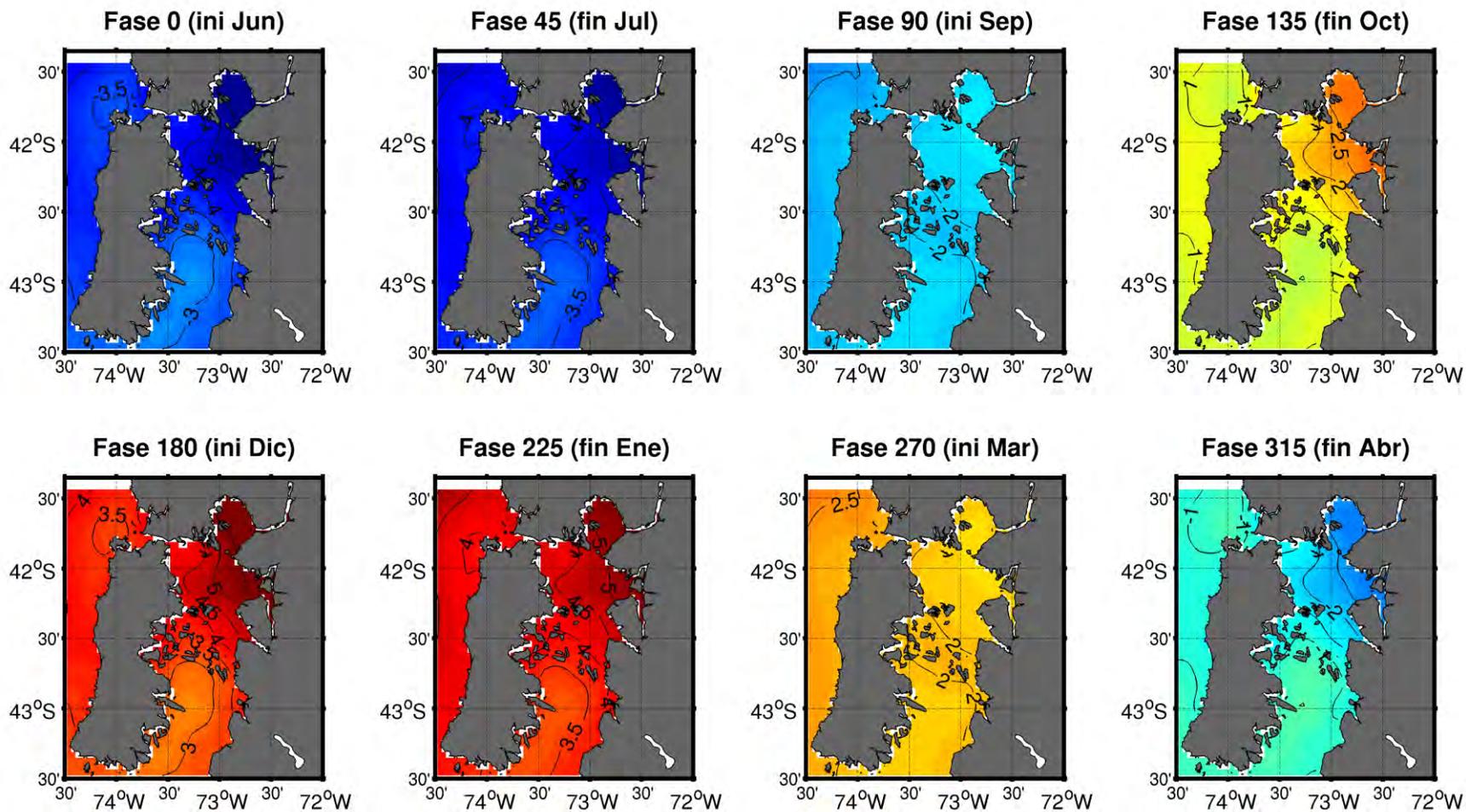


Figura 41. Ciclo canónico de la oscilación anual de la temperatura superficial del mar satelital en la X Región.

➤ *Espectros LFV del campo de anomalías de Clo-a y TSM respecto a su climatología*

Luego de eliminar la variabilidad anual, los espectros LFV logran destacar los picos espectrales enmascarados por esta banda de máxima energía. En la Clo-a se observan oscilaciones con períodos de ~2años, anuales, semianuales, estacionales e intraestacionales significativas (> 95% de significancia). Si bien, la banda anual fue removida (filtrada), aún se observa un pico espectral significativo en esta banda de frecuencia. En la banda intraestacional las oscilaciones en el campo de Clo-a con períodos de ~80, ~50 y ~30 días fueron significativas (Figura 42).

En el caso de la TSM, las fluctuaciones interanuales (~9, 5 y 2 años) fueron las más importantes (>99%), mientras que, a mayor frecuencia, sólo las oscilaciones con períodos de ~30 días fueron significativas (peak espectral con mayor contribución a la variabilidad del campo) (Figura 43).

El espectro conjunto entre el campo de anomalías de Clo-a y TSM, presentó picos significativos (>99%) en la banda interanual (~9, 5 y 2 años), anual, semianual, y para las oscilaciones de ~30 días (Figura 44).

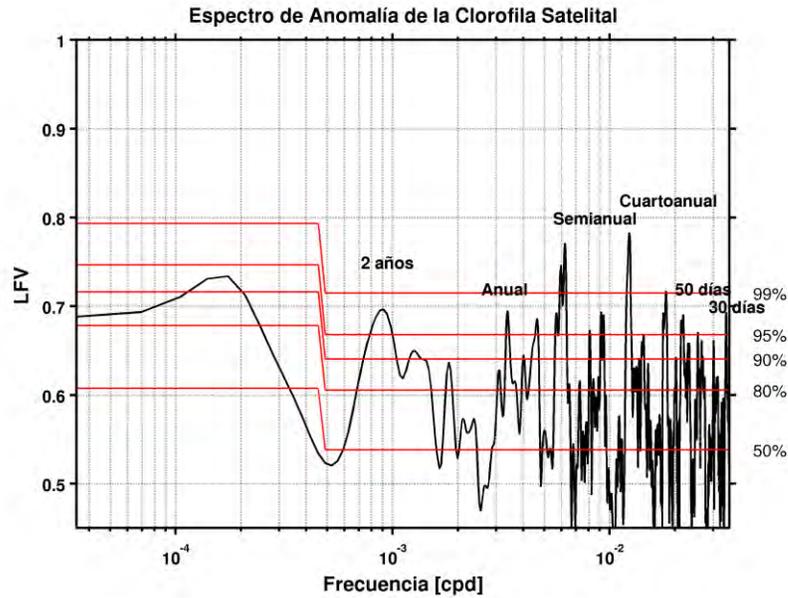


Figura 42. Espectro de varianza local fraccional del campo de anomalías de clorofila-a satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia.

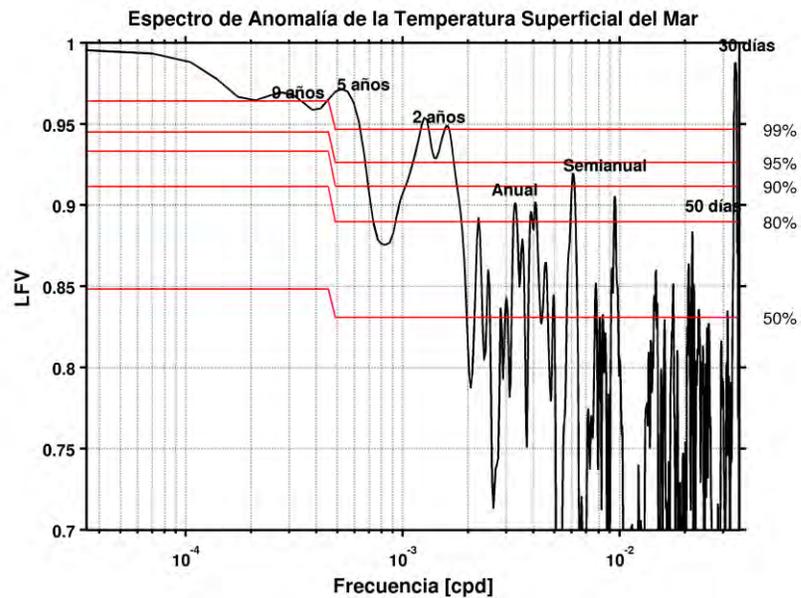
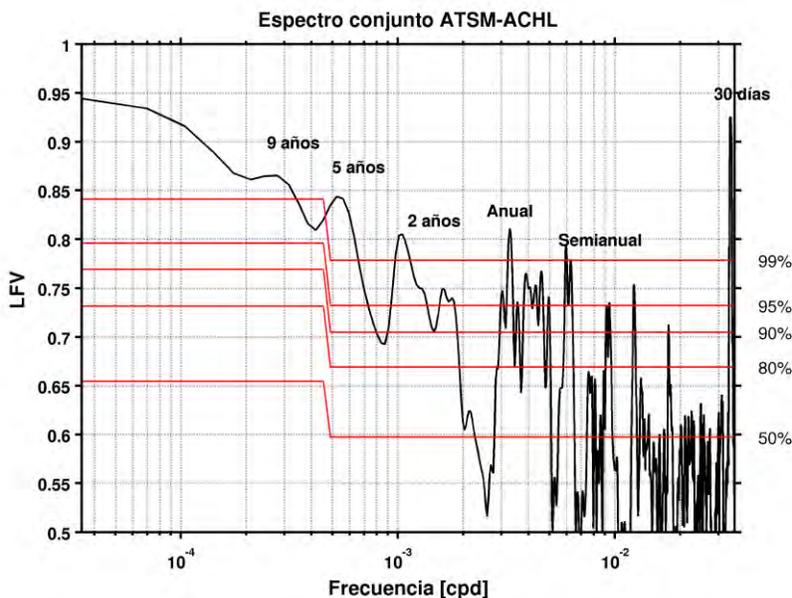


Figura 43. Espectro de varianza local fraccional del campo de anomalías de temperatura superficial del mar satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia.



**Figura 44. Espectro de varianza local fraccional del campo conjunto de anomalías entre la clorofila-a y la temperatura superficial del mar satelital en la X Región. Las líneas rojas delimitan los distintos niveles de significancia.**

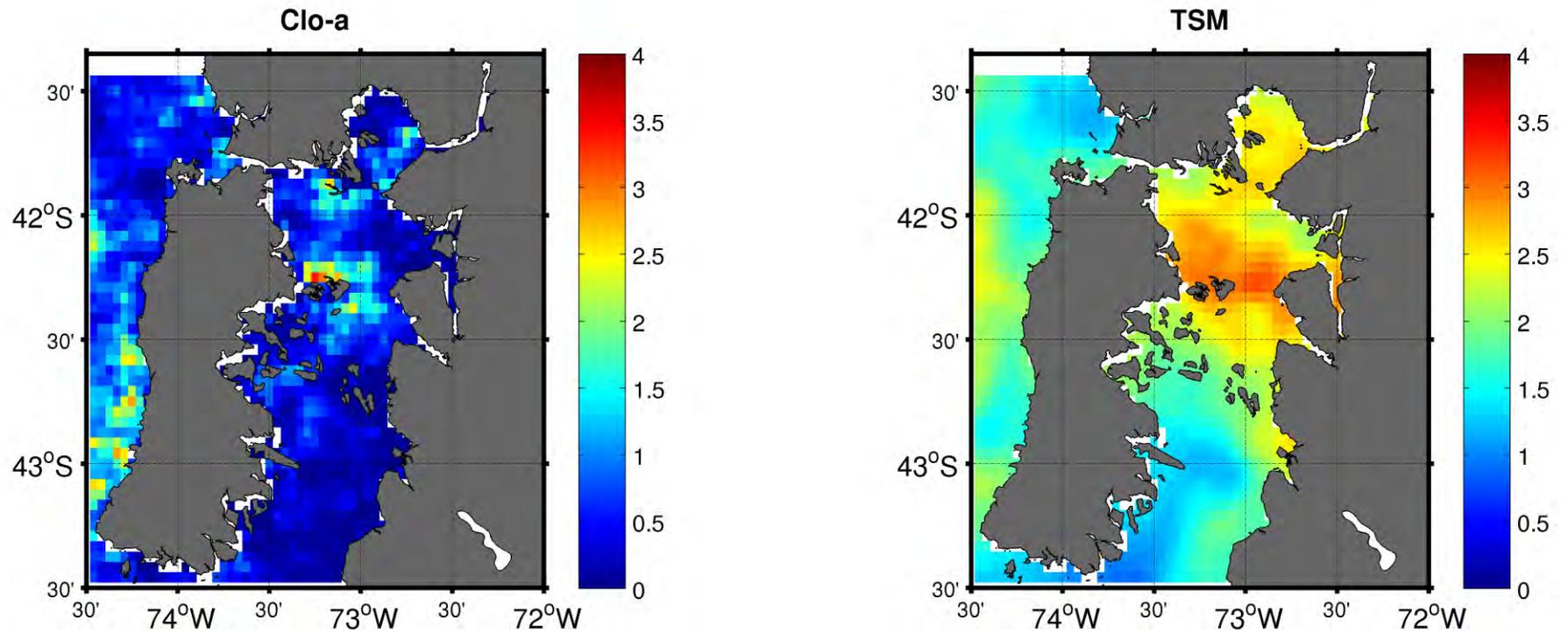
- *Patrón espacial y ciclo canónico de la banda de 30 días*

El patrón espacial y el ciclo canónico de la banda de frecuencia de 30 días para los campos de clorofila-a y temperatura superficial del mar satelital son presentados en las Figuras 45 a 47. Para la Clo-a, la frecuencia de oscilación de 30 días (mensual) presentó un patrón espacial con mayor variabilidad al suroeste de la isla Chiloé, al norte del golfo Ancud (próxima a la boca del fiordo Reloncaví), y al norte del archipiélago de Chiloé donde se observó el máximo, mientras que, para la TSM, la oscilación de 30 días presentó una mayor contribución a su variabilidad en el golfo Ancud, en el fiordo Comau y en el seno Reloncaví (Figura 45).

Respecto del ciclo canónico, la oscilación de ~30 días mostró durante su fase de 0° máximas anomalías positivas en las concentraciones de Clo-a en el borde occidental de isla Chiloé, en el golfo Ancud y dentro del seno Reloncaví. En la medida que el ciclo evolucionó (aumento de fase) estas áreas perdieron gradualmente su coherencia espacial, hasta alcanzar sus mínimas anomalías ~12-15 días después del inicio del ciclo, para luego, sobre el día 20, nuevamente aumentar, presentando el mismo patrón espacial. El golfo Corcovado no presentó cambios asociados a esta fluctuación (Figura 46).

En el caso del ciclo canónico de la TSM, la oscilación de 30 días no presentó grandes cambios de su magnitud dentro del área, mostrando anomalías positivas más elevadas 7,5 días desde el inicio del ciclo (90°), y mínimas ~20 días después (270°), con amplitudes levemente mayores en el golfo Ancud, fiordo Comau y seno Reloncaví (Figura 47).

El máximo interanual (~2 años) observado en el espectro conjunto, estuvo relacionado a fluctuaciones interanuales (oceánica), por lo que no se estudió su ciclo canónico dentro del desarrollo de este objetivo.



**Figura 45.** Patrón espacial de la oscilación de 30 días de los campos de clorofila-a (panel izquierdo) y temperatura superficial del mar (panel derecho) satelital en la X Región.

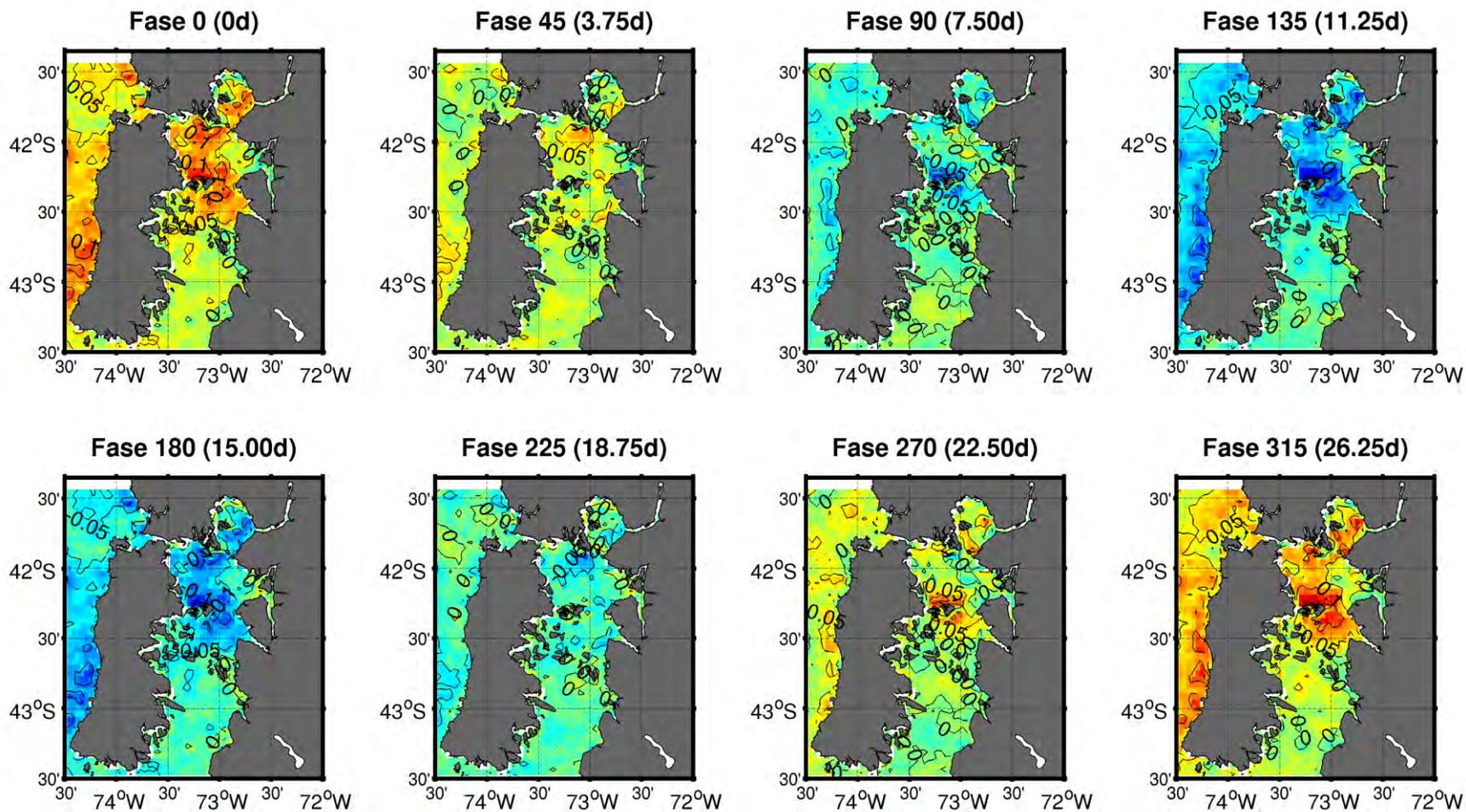


Figura 46. Ciclo canónico de la oscilación de 30 días del campo de clorofila-a satelital en la X Región.

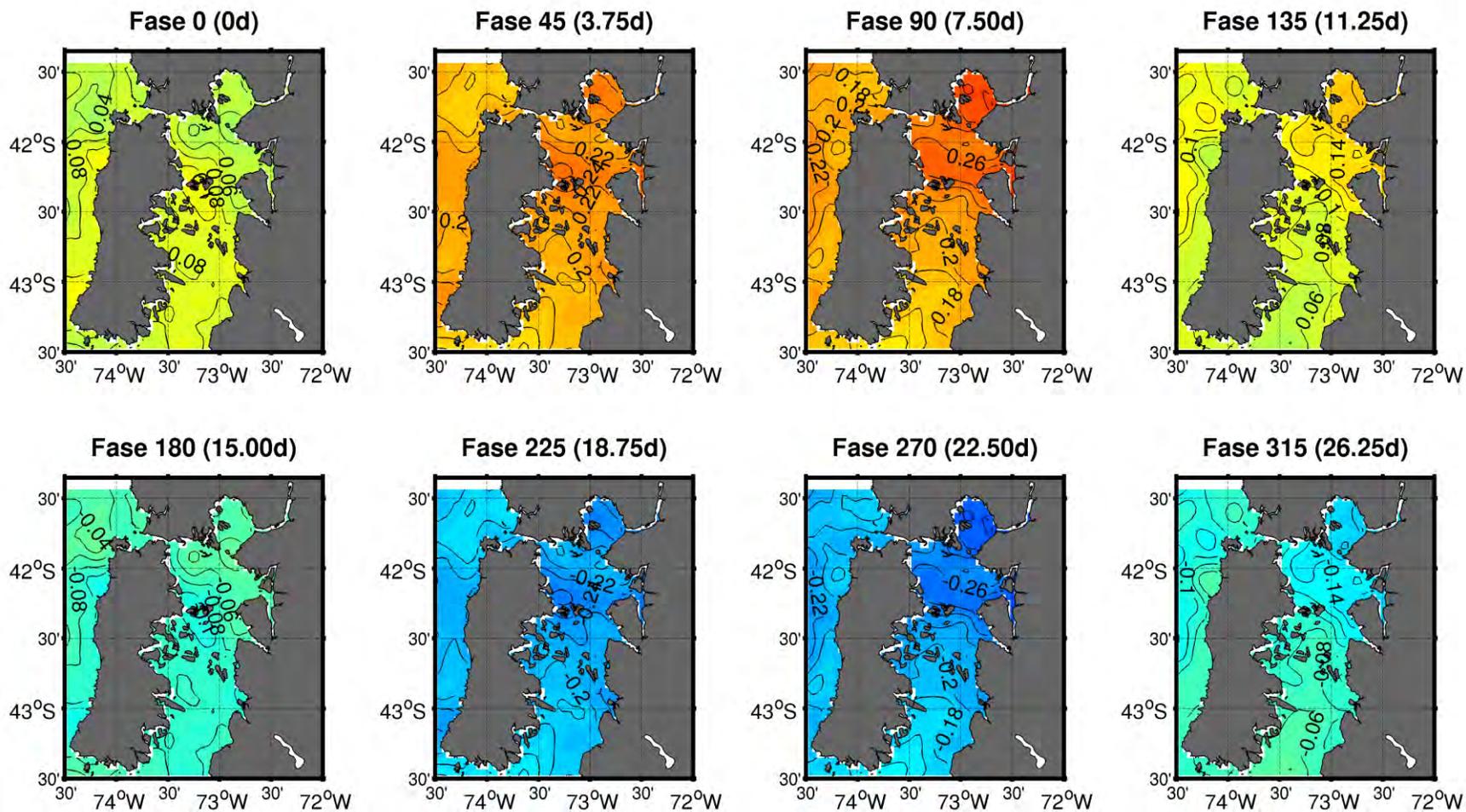
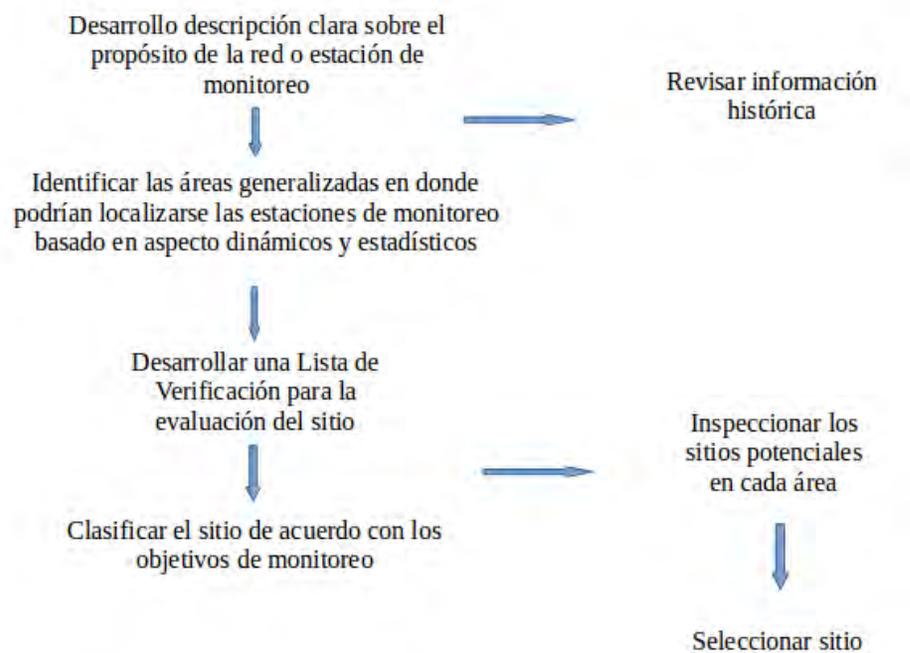


Figura 47. Ciclo canónico de la oscilación de 30 días del campo de temperatura superficial del mar satelital en la X Región.

### 10.3.4. Selección de los Sitios de instalación de las estaciones de monitoreo

En la selección de los sitios para la instalación de las estaciones de monitoreo se usó una combinación de varias metodologías, basadas en criterios asociados a: análisis estadístico, análisis hidrodinámico, cobertura comunicacional, accesibilidad al lugar y restricciones legales.



**Figura 48. Esquema de las diferentes acciones realizadas en la selección de los sitios de monitoreo.**

La Figura 48, muestra la metodología (acciones realizadas) para la selección de los sitios de monitoreo en la X Región. En la selección de los sitios de monitoreo: 1) se realiza una descripción del propósito de la red/estación de monitoreo (e.g. análisis del contexto/antecedentes de la región de estudio, sistemas de observación utilizados para el mismo propósito en otros lugares), 2) se identifican los potenciales sitios de monitoreo,

utilizando criterios basados en aspectos hidrodinámicos y estadísticos (referidos a información disponible), 3) se realiza una verificación de la selección del sitio (confección de un listado y despliegue de los sitios en mapas) para re-evaluar su pertinencia, 4) se clasifican los sitios de acuerdo a los objetivos del monitoreo, y 5) inspección de los sitios para realizar la selección definitiva. Cabe resaltar, que la calidad y cantidad de información disponible para realizar el análisis de selección de los sitios, es crítica, para lograr una apropiada selección (representatividad del sistema). En este trabajo se utilizó una combinación de los primeros cuatro pasos.

Luego de la selección del sitio, hay que proceder a verificar si existen restricciones legales. Sí llegase a existir alguna restricción de carácter legal, se debe proceder a relocalizar el punto de muestreo a un lugar cercano que proporcione la misma representatividad, previa consulta a expertos en la hidrodinámica de la región (oceanógrafos), y siempre resguardando mantener el propósito original de la selección de esa ubicación.

- **Métodos de selección del sitio**

Para identificar las áreas de monitoreo se deberán seguir dos métodos independientes de selección del sitio basado en los aspectos estadísticos y dinámicos:

**1) Análisis estadísticos:** A partir del estudio de la variabilidad vertical y horizontal de la columna de agua se identificaron los estratos y áreas cuya contribución de varianza fue significativa, para lo cual, se analizaron perfiles de temperatura, salinidad y densidad de la

columna de agua, sumado a datos de percepción remota (información satelital de temperatura superficial del mar y clorofila-a satelital), obteniendo sus principales modos de variabilidad.

**2) Análisis hidrodinámico:** Considerando las características topográficas y geomorfológicas de la X Región, se trabajó sobre una revisión de la bibliografía científica asociada a la dinámica oceanográfica, además de considerar la opinión técnico/científica obtenida durante el desarrollo de los talleres de expertos realizados para este proyecto. Se definieron los principales aspectos dinámicos de la circulación, y su impacto sobre las características hidrográficas y biogeoquímicas (oxígeno disuelto y nutrientes) de la Región.

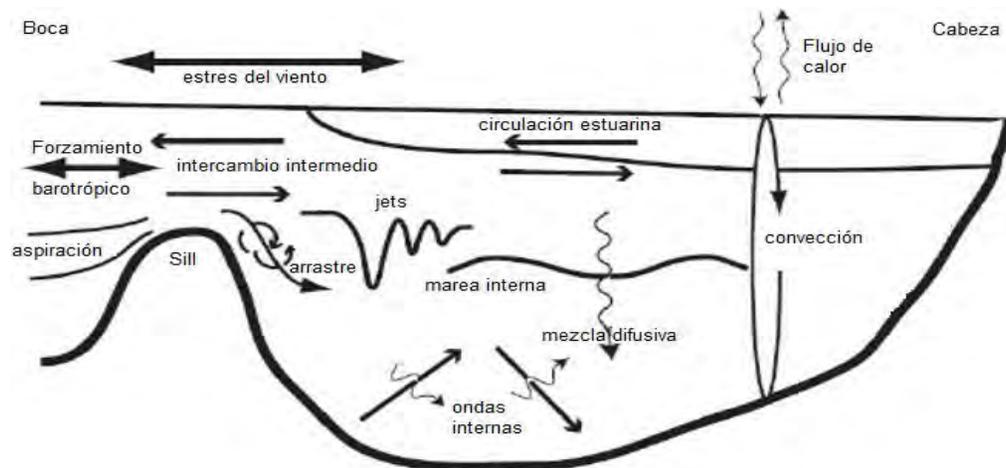
Los fiordos se pueden caracterizar principalmente por su estructura de densidad altamente estratificada, y su cuenca profunda y escarpada. Son formados en regiones de latitudes altas, cubiertas por capas de hielo del Pleistoceno, que se hicieron más profundos por la presión de las capas de hielo, generando en ellos una proporción anchura-profundidad pequeña, y una sección transversal casi rectangular, geomorfología generada por el avance y retroceso glacial (Dyer 1973; Syvitski et al., 1987). Este proceso dejó a los fiordos conectados con el mar abierto en forma directa o indirecta a través de los fiordos exteriores.

La dinámica que presentan los fiordos se caracteriza por la entrada de agua dulce, la cual proviene de diferentes fuentes tales como deshielo de glaciares, descarga de ríos, precipitaciones, entre otras. El aporte de agua dulce produce un gradiente de presión a lo largo del fiordo y asociado a este un flujo superficial que va en dirección desde la cabeza hacia la boca del fiordo. El transporte vertical de sal hacia arriba y de agua dulce hacia abajo, entre la capa superficial y profunda, está dado por la mezcla turbulenta. Esta mezcla fomenta

el ingreso de agua de mar hacia el fiordo bajo la capa superficial, generando un patrón medio de corrientes en dos capas, donde la capa superficial se dirige en dirección hacia la boca y la capa inferior hacia la cabeza. Esta circulación es conocida como **circulación estuarina o gravitacional** (Dyer, 1973; Officer, 1976; Valle -Levinson, 2010). Por otro lado, en los fiordos que poseen umbral (sill) se presenta una circulación profunda que puede estar desacoplada de la circulación estuarina cercana a superficie, debido a que este umbral generalmente limita el intercambio de agua profunda del fiordo y con esto su ventilación (Stigebrandt, 1981; Castillo, 2012). En un fiordo con un umbral superficial, el agua por encima del umbral se mezcla verticalmente y el flujo es dominado por corrientes barotrópicas, asociadas a las mareas, viento y perturbaciones meteorológicas. Generalmente las mareas predominan y el régimen de cambio refleja el ciclo de marea lunar, sin embargo, durante periodos cortos otros factores pueden ser más importantes, tales como el viento y la entrada de agua dulce. Por lo tanto, el flujo baroclínico entrante disminuye si el flujo barotrópico es hacia el mar y aumenta si el flujo es hacia la tierra. En fiordos con umbral profundo, la componente barotrópica puede ser insuficiente para revertir el flujo baroclínico y el flujo entrante continuará siempre y cuando la condición de densidad esté satisfecha. Un diagrama de los principales procesos que ocurren en un fiordo se muestra en la Figura 49.

Además del flujo de marea y las fluctuaciones de densidad, el viento es otro factor que influye en la mezcla y dinámica de las corrientes dentro de un fiordo. La influencia del viento sobre la circulación es doble, el viento crea una inclinación en la superficie, provocando corrientes barotrópicas que pueden aumentar o disminuir el flujo. El viento también puede

por advección, mover aguas a nuevas regiones, generando gradientes de densidad que producen un flujo barotrópico (Robins, 2008). El esfuerzo del viento produce energía cinética disponible para la circulación y la mezcla de la columna de agua, aunque suele estar limitado a las capas superficiales debido a una fuerte estratificación (Gillibrand, 1993). Generalmente la dirección predominante del viento es a lo largo del fiordo, debido a que es canalizado por sus laderas escarpadas.



**Figura 49. Representación gráfica de los principales procesos que se presentan al interior de un fiordo (modificado de Inall & Gillibrand, 2010).**

Las mediciones en diferentes sectores a lo largo de un fiordo son de gran importancia para tener una completa descripción de las condiciones actuales y los cambios que se puedan producir en las condiciones hidrológicas y ambientales derivadas del uso continuo de sus aguas, incluyendo los patrones de circulación. Esta circulación juega un rol importante en las características del fiordo, tanto en la cabeza como en la boca, siendo la responsable del transporte de una variedad de elementos químicos y/o material particulado o disuelto (natural

o a antrópico) como: oxígeno disuelto (indicador de la capacidad del sistema para procesar cargas orgánicas, así como de la condición fisiológica de los peces.), nutrientes, patógenos, larvas, etc., lo cual puede producir liberación de nutrientes a la columna de agua, cambios en las relaciones N:P, N:Si, cambios cualitativos y cuantitativos en el fitoplancton, efectos tróficos sobre la comunidad nectónica y bentónica, hipoxia, efectos tróficos (y sanitarios) de los peces escapados, entre otros. El intercambio de temperatura que se presenta a lo largo del fiordo también podría indicar las condiciones favorables para la proliferación de microalgas, como por ejemplo microalgas tóxicas. La variabilidad que presenta la temperatura y la salinidad permitiría evaluar los cambios en la estratificación, mezcla vertical y ventilación de la columna de agua. En la boca del fiordo conocer el comportamiento de las corrientes, permitiría diagnosticar el grado de ventilación y mezcla de la columna de agua, elementos claves en la construcción de los modelos de capacidad de carga. A lo largo del fiordo el comportamiento de las corrientes es necesario para conocer la procedencia y avance de alteraciones ambientales y poder diferenciar los cambios naturales de los producidos debido a la actividad acuícola. Variables como la salinidad y la temperatura en la boca, son trazadores importantes para determinar el ingreso de masas de agua oceánicas al fiordo y como se ven afectadas por la actividad humana.

Por lo tanto, considerando la geomorfología e hidrodinámica de la Región y sus efectos combinados sobre la circulación del ecosistema, es imprescindible realizar la medición en:

- ✓ Boca y cabeza de fiordos: Medir en centro de la sección transversal, de no ser posible, medir en un costado, lo más lejano de la costa posible.

- ✓ Sectores donde existan morrenas (estructuras de origen glacial) en la desembocadura de fiordos. Esta medición se debe realizar en la parte más somera de la sección transversal de la desembocadura, sobre la morrena
- ✓ Canales donde la circulación es más fuerte (mayor intensidad/velocidad de la corriente) o donde se desarrolle principalmente (i.e. mayor frecuencia, constante). Se deberá medir en el centro del fiordo, o en el punto más alejado de la costa posible, considerando una sección transversal del fiordo/canal.
- ✓ Regiones de intercambio de masas de agua entre mares interiores y océano adyacente (e.g. Canal Chacao). Se deberá medir en el centro del fiordo, o en el punto más alejado de la costa posible, considerando una sección transversal del fiordo/canal.
- ✓ Regiones donde los cambios geomorfológicos reflejen un importante cambio de circulación (e.g. Golfo de Corcovado, contricciones). Se deberá medir a ambos lados del cambio geomorfológico, captando así, el cambio de las condiciones hidrológicas. De ser posible en el centro del fiordo, o en el punto más alejado de la costa posible, considerando una sección transversal del fiordo/canal.

Una vez que se han seleccionado las áreas de monitoreo, mediante los análisis anteriores, se deberá definir el lugar definitivo para la instalación de la estación de monitoreo. Para esto se deberá realizar un análisis en terreno, en cada estación, considerando los siguientes criterios:

**1) Facilidad de Acceso:** Por la topografía irregular del área que dificulta el acceso a algunos lugares, este punto se convierte uno de los criterios clave al momento de seleccionar el sitio

de instalación de la estación de monitoreo, ya que éste debe permitir un adecuado acceso para la instalación y mantención de las estaciones de monitoreo (equipos de registro de datos).

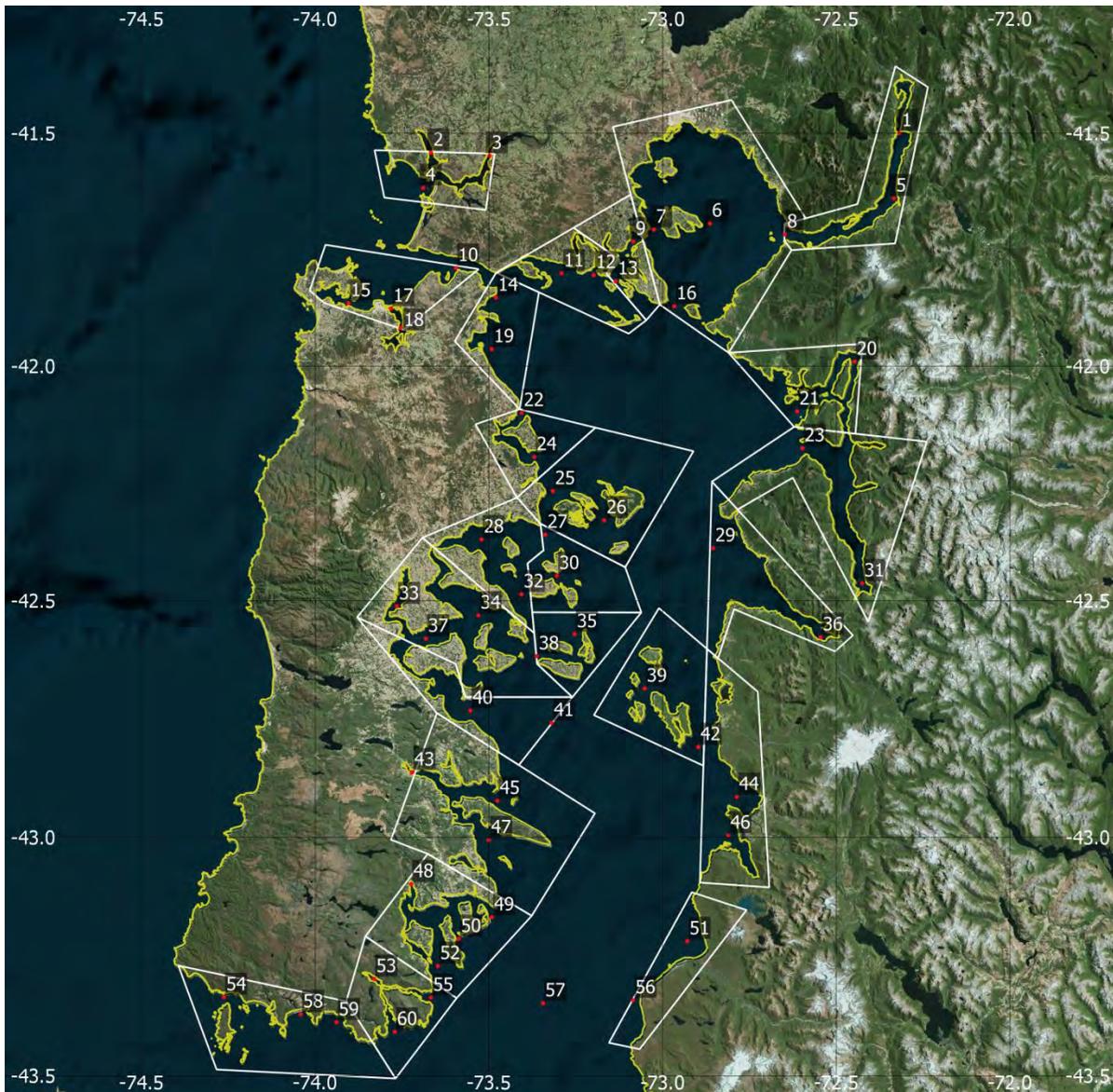
**2) Restricciones legales:** Este criterio evaluará las restricciones legales que pudieran afectar la instalación de una estación de monitoreo, ejemplo de esto, es el permiso que se debe solicitar a la autoridad marítima local para la instalación de boyas dado el alto tráfico de embarcaciones (seguridad de la navegación).

**3) Cobertura comunicacional:** debido a la existencia de numerosos y extensos lagos, fiordos y canales, numerosas islas (formando el Archipiélago de Chiloé), golfos, estuarios, y varios ríos navegables, la Región de Los Lagos no presenta las mejores condiciones para conexión a Internet, por lo que es necesario analizar cada uno de los puntos de medición individualmente, para determinar la mejor opción de comunicación, disminuyendo lo más posible los costos de conexión.

Basado en lo anterior, se elaboró un mapa con la ubicación más apropiada de las estaciones oceanográficas (Figura 50), clasificando cada sitio según las variables a medir (Tabla 16). Cabe destacar que éstas ubicaciones están definidas considerando únicamente los análisis estadísticos e hidrodinámicos. Por lo tanto, la ubicación final se deberá definir, en terreno, de acuerdo a los criterios de accesibilidad, legales y cobertura, los que deben ser estudiados caso a caso.

**Tabla 16. Variables a medir en cada estación de monitoreo oceanográfica.**

Estación de medición			Variables oceanográficas a medir en SOOAA									
Nombre	Longitud (°W)	Latitud (°S)	Variables exigidas por la Ley						Variables agregadas en proyecto SOOAA			
			Salinidad / Conductividad	Temperatura	Presión	Fluorescencia	Corriente	Turbidez	Oxígeno	Nutrientes	Presión de fondo	pH
1	-723.174.528	-414.995.423	x	x	x	x		x	x		x	
2	-736.665.610	-415.415.110	x	x	x	x		x	x			
3	-734.977.778	-415.480.556	x	x	x	x		x	x			
4	-736.890.397	-416.172.319	x	x	x	x		x	x	x		x
5	-723.338.688	-416.399.037	x	x	x	x		x	x			
6	-728.639.000	-416.940.000	x	x	x	x		x	x			
7	-730.249.449	-417.068.389	x	x	x	x		x	x	x		x
8	-726.474.009	-417.174.838	x	x	x	x		x	x	x	x	x
9	-730.838.457	-417.328.115	x	x	x				x			
10	-735.948.347	-417.895.753	x	x	x	x	x	x	x		x	
11	-732.903.280	-418.010.725	x	x	x	x		x	x			
12	-731.980.997	-418.046.657	x	x	x							
13	-731.349.550	-418.181.660	x	x	x	x		x	x	x	x	
14	-734.798.217	-418.531.405	x	x	x	x		x	x			
15	-739.041.707	-418.650.703	x	x	x	x		x	x			
16	-729.660.000	-418.716.000	x	x	x	x	x	x	x		x	
17	-737.815.807	-418.765.445	x	x	x	x		x	x	x		x
18	-737.537.862	-419.177.840	x	x	x	x		x	x	x		x
19	-734.918.066	-419.633.681	x	x	x	x			x			
20	-724.467.667	-419.902.417	x	x	x	x		x	x			
21	-726.122.870	-420.967.768	x	x	x	x		x	x	x		x
22	-734.057.771	-420.999.789	x	x	x	x		x	x			
23	-725.972.000	-421.753.000	x	x	x	x		x	x	x	x	x
24	-733.687.370	-421.940.454	x	x	x				x	x		x
25	-733.160.000	-422.667.000	x	x	x	x			x			
26	-731.677.499	-423.286.245	x	x	x			x	x	x	x	
27	-733.377.018	-423.594.306	x	x	x				x			
28	-735.209.000	-423.696.000	x	x	x	x		x	x	x		x
29	-728.545.000	-423.884.000	x	x	x	x		x	x		x	
30	-733.039.496	-424.470.638	x	x	x	x		x	x	x		
31	-724.252.000	-424.629.000	x	x	x	x		x	x		x	
32	-734.062.000	-424.860.000	x	x	x	x		x	x		x	
33	-737.651.015	-425.114.949	x	x	x	x		x	x		x	
34	-735.303.098	-425.310.702	x	x	x	x		x	x	x	x	x
35	-732.527.769	-425.706.672	x	x	x				x	x		
36	-725.448.128	-425.772.774	x	x	x	x		x	x		x	
37	-736.812.000	-425.803.000	x	x	x	x		x	x	x		x
38	-733.623.288	-426.173.901	x	x	x	x		x	x			
39	-730.515.226	-426.857.981	x	x	x	x			x			
40	-735.533.088	-427.325.991	x	x	x	x		x	x		x	
41	-733.192.800	-427.584.888	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
42	-728.971.427	-428.096.233	x	x	x	x		x	x		x	
43	-737.209.036	-428.630.765	x	x	x	x		x	x			
44	-727.863.025	-429.147.665	x	x	x	x		x	x			
45	-734.752.917	-429.229.999	x	x	x	x		x	x		x	
46	-728.110.000	-429.960.000	x	x	x	x		x	x			
47	-735.002.000	-430.058.000	x	x	x	x		x	x			
48	-737.236.703	-430.983.637	x	x	x	x		x	x			
49	-734.915.000	-431.682.000	x	x	x	x		x	x			
50	-735.867.916	-432.134.028	x	x	x	x		x	x			
51	-729.288.273	-432.184.277	x	x	x	x		x	x	x		x
52	-736.469.254	-432.702.456	x	x	x	x		x	x		x	
53	-738.306.096	-432.974.269	x	x	x	x		x	x		x	
54	-742.627.912	-433.356.418	x	x	x				x		x	
55	-736.671.000	-433.367.000	x	x	x	x		x	x	x		x
56	-730.845.701	-433.419.015	x	x	x	x		x	x		x	
57	-733.442.000	-433.482.000	x	x	x	x	x	x	x		x	
58	-740.414.965	-433.714.656	x	x	x	x			x			
59	-739.386.067	-433.880.839	x	x	x				x			
60	-737.706.000	-434.080.000	x	x	x	x		x	x			



**Figura 50. Distribución y numeración de las estaciones de monitoreo oceanográficas necesarias para un eficiente SOOAA. En blanco se observa la división administrativa de las concesiones de acuicultura utilizada para la distribución de las estaciones (mínimo 2 en cada división).**

**10.4. Diseñar un prototipo simple que permita la medición de variables oceanográficas, e instalar dicho prototipo en algún punto geográfico indicado en el punto 10.3.**

El diseño del prototipo simple para la medición de variables meteorológicas/oceanográficas se ha abordado como una aproximación modular, es decir, que permita el intercambio de elementos sensores (independiente de las distintas tecnologías de los sensores que se puedan llegar a implementar/incorporar). La aproximación modular requiere de un esfuerzo de integración para cada una de las tecnologías (elementos sensores), tanto en el manejo de los datos, como en el manejo de la energía requerida por cada uno de los elementos del sistema.

Basado en las características técnica que debe tener un sistema de observación del océano, los lugares de medición definidos, y las condiciones establecidas para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema de observación, se diseñó, implementó y desplegó un prototipo simple de un sistema de medición de variables meteorológicas/oceanográficas. Para esto el diseño fue realizado en forma modular, de tal forma que permita el intercambio de elementos/sensores (independiente de las distintas tecnologías de los sensores que se puedan implementar/incorporar). Dentro de este contexto es importante considerar que un prototipo es una visión preliminar del producto final, es un modelo operable, fácilmente ampliable y modificable, que tiene todas las características propuestas/deseadas, pero realmente es un modelo básico, que no tiene que ser perfecto ni poseer alta fidelidad, pero debe permitir detectar problemas/fallas a ser mejoradas en desarrollos posteriores, las que permiten llegar al producto final. Los prototipos permiten evaluar productos, requisitos de usuarios y definir

alternativas. Un producto final, a diferencia de un prototipo, es aquel producto que ha sido sometido a variadas pruebas de control, pasando por varios prototipos diferentes antes de ser comercializado y cuyos costos son muy diferentes. Por ejemplo, la boya oceanográfica instalada al este de la isla Guar, al centro del seno Reloncaví, es un producto comercial que contempla la gran mayoría de las variables consideradas en SOOAA, y cumple con los requisitos de calidad de los sensores y transmisión de datos en tiempo real, pero tiene un costo superior a cien millones de pesos (136 millones para la compra e instalación de la boya y 27 millones para el mantenimiento anual).

El prototipo observacional, diseñado e implementado por la ECM, se instaló en las dependencias de la Empresa Salmones Multiexport, ubicada en la zona de Llaguepe, Región de los Lagos, durante periodo comprendido entre el 23 de marzo y 25 de mayo de 2018. Este prototipo consideró tres aspectos fundamentales a evaluar en su desarrollo:

1. Construir un dispositivo de integración de bajo costo, que integre distintos modelos y marcas de sensores oceanográficos, para medir las variables y comunicar dichas mediciones a una central.
2. Probar tecnología de punta orientada a IoT, (del inglés, Internet of Things).
3. Evaluar el efecto del biofouling sobre los sensores.

#### **10.4.1. Definición del Funcionamiento Modular del Sistema SOOAA**

En general, **el Sistema de Observación se compone de: las estaciones de monitoreo, el canal de transmisión y el sistema de recepción y almacenamiento (servidor central)**

(Figura 51). Debido a que el mismo software (y hardware que lo soporta) es el que implementa las funciones de recepción, almacenamiento, consultas, publicación, alertas y disponibilización para análisis, al servidor central (clúster replicado) se le denominará simplemente SC.



**Figura 51. Diagrama simplificado de SOOAA.**

Las estaciones de monitoreo: son las responsables de registrar/capturar los valores de las variables monitoreadas, almacenarlas temporalmente (hasta 30-35 días) en caso de que falle la transmisión de los datos al servidor central (modo de contingencia), y finalmente transmitirlos a SOOAA.

El canal de transmisión: como fue detallado en el punto 10.2.2, puede ser variable, dependiendo de las condiciones geográficas y de conectividad de cada lugar de monitoreo, por lo tanto, se requiere que el canal de transmisión provea de una comunicación (al menos punto a punto) TCP que pueda soportar un protocolo HTTPS corriendo sobre él.

SC: corresponde a dos servidores físicamente separados, capaces de actuar en modo tolerante a fallos como un único sistema, y que tiene varias funciones: a) recibir los datos de las variables monitoreadas, b) responder la confirmación de esta recepción al punto de medición,

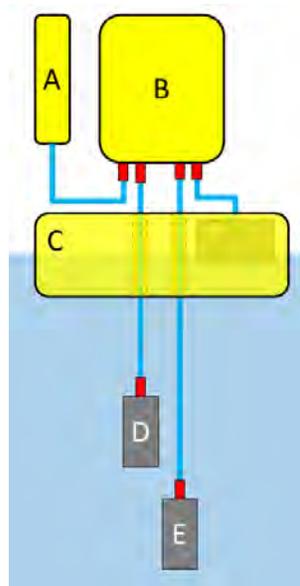
c) almacenar los valores en un repositorio documental, d) publicar los resultados, e) analizar los datos, y f) disparar alertas.

En su implementación, el prototipo se presenta además 3 subsistemas: Estación de Monitoreo, Estación Base y Plataforma de datos.

#### **10.4.1.1. Subsistema Estación de Monitoreo prototipo**

Debido a la complejidad y los desafíos que presenta implementación de una estación de monitoreo oceánica, se consideró instalar un prototipo de este tipo para probar los diferentes sistemas.

La estación de monitoreo prototipo está conformada de la siguiente manera:



**Figura 52. Módulos del subsistema Estación de monitoreo prototipo**

En la Figura 52 podemos observar el modelo del subsistema de Estación de Monitoreo, el que a su vez se encuentra dividido en cinco módulos:

#### **A. Módulo de generación de energía prototipo**

Los requerimientos energéticos de la estación de monitoreo para el número y tipo de sensores que se utilizarán es, en el peor de los casos, 0.96 kWh por día. Existen 2 posibilidades viables de generar energía en la zona de instalación de la estación de monitoreo, a partir de energía solar, y a partir de energía eólica. Potencialmente, podría obtenerse energía a partir del mar; sin embargo, no se explora esta alternativa ya que en la investigación no fue posible encontrar dispositivos comerciales aptos para este propósito. Para realizar los cálculos de potencial de generación eléctrica de la zona de interés se utilizó las herramientas “explorador solar” y “explorador eólico” de la Universidad de Chile. Se debe mencionar que la información que entregan estas herramientas no está disponible para puntos en el océano, por lo que los cálculos se hicieron para puntos dentro de la costa en la latitud de interés (Tabla 17).

Si bien, el tipo de generación de energía de la estación de monitoreo no tiene necesariamente que ser excluyente; es decir, podría ser híbrida; para los propósitos de este prototipo, se optó por favorecer el recurso solar, ya que, en un escenario de peor caso, permitiría generar la potencia necesaria para la estación de monitoreo prototipo. Se optó por un conjunto de paneles solares KoningSonne, policristalino, que tuvieron que ser acondicionados para mejorar su protección ante las condiciones ambientales en las que deberá operar.

**Tabla 17. Punto de interés**

Latitud (°S)	Longitud (°W)	Radiación solar (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Magnitud del viento (m/s)	Generación fotovoltaica (kWh/día)	Generación eólica <sup>1</sup> (kWh/día)
-42,6461	-73,2156	2,33 <sup>2</sup>	4,48 <sup>3</sup>	1,8866	0,432
-43,429	-73,6633	2,29 <sup>4</sup>	5,53 <sup>5</sup>	1,8666	0,432

En los sistemas de generación de energía eléctrica, ya sean solares o eólicos, se debe considerar un dispositivo electrónico que administre, de manera automática, la cantidad de corriente eléctrica que se le suministrará a la batería para cargarla o para mantener su carga cuando no se esté consumiendo energía (flotación). Este dispositivo se denomina Regulador de Carga. El equipo escogido es el controlador fotovoltaico de 30Ah del proveedor Chisol.

### **B. Cúpula de comunicaciones prototipo**

Este módulo tiene por misión concentrar las mediciones efectuadas por los sensores y almacenarlas temporalmente hasta que pueda transmitir las a la estación base. También se utiliza este módulo para la administración de energía de la estación de monitoreo. La cúpula de comunicaciones (Figura 53) está compuesta por los siguientes elementos:

- Switch de datos: Un switch de datos genérico de 4 bocas, que puede ser conectado en cascada con otros del mismo tipo si se requiere aumentar la capacidad de sensores de la estación de monitoreo.

<sup>1</sup> Considerando el generador eólico marino Boreas de 120 W.

<sup>2</sup> Junio: Peor caso

<sup>3</sup> Enero: Peor caso. A 5m sobre el nivel del mar.

<sup>4</sup> Junio: Peor caso

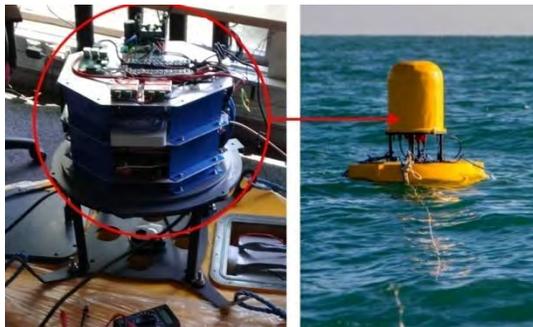
<sup>5</sup> Febrero: Peor caso. A 5m sobre el nivel del mar.

- **Administrador de energía:** Este módulo está compuesto por un regulador de carga en donde se conectan los terminales del panel solar, así como los contactos de la batería. Desde este regulador se alimenta eléctricamente la estación de monitoreo, a través de inyectores PoE, así como el computador central y el switch, a través de conversores Dc – DC marca Tracopower.
- **Inyector PoE:** Se trata de un circuito electrónico con dos puertos Ethernet y un conector eléctrico por donde se inyecta energía a las cajas de estanco submarinas donde se integran los sensores. El primer puerto Ethernet es sólo de datos y se conecta al switch. El segundo puerto es de datos y energía. Ahí se conectan las cajas estanco.
- **Computador central:** Tarjeta single board PC (Raspberry Pi) con 64GB de memoria. Su función es recibir las lecturas provenientes de los sensores y transmitirlos a la Estación Base. Si por alguna razón no se pudieran transmitir los datos, el computador central almacenará temporalmente las lecturas hasta que pueda transmitirlos a la Estación Base.
- **Modem de comunicaciones:** El computador central se conecta a un modem con tecnología Lora WAN del proveedor Multitech Systems, el que se encarga de transmitir radialmente los datos a la Estación Base. Esta tecnología fue escogida ya que está diseñada especialmente para recibir/transmitir información de sensores, además, corresponde al sistema más abierto de todos, sin un proveedor fijo, es decir uno es dueño de la solución al comprar solo los componentes, en cambio los otros

sistemas cobran por la transacción de información y licencias adicionales que pueden tener un costo muy alto en el tiempo.

### C. Boya prototipo

Se trata de una estructura flotante y estanca. Esta estructura cumple con la funcionalidad de mantener a flote la estación de monitoreo (Figura 54). En el interior de la estructura se almacenan 2 baterías de 12v y 40 Ah cada una. La boya cuenta con 4 conductos de 8cm de diámetro que permite pasar los cables que conectan las cajas estanco a la cúpula de comunicaciones.



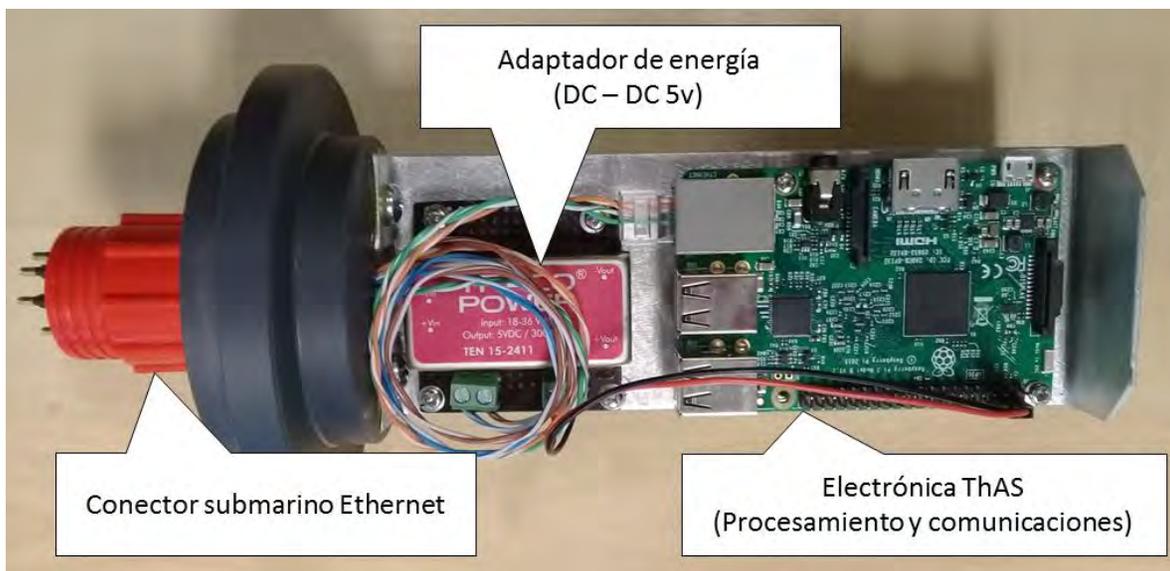
**Figura 53. Cúpula de comunicaciones prototipo**



**Figura 54. Boya prototipo**

### E, D. Cajas de estanco prototipo

Se trata de cajas estanco genéricas (Figura 55), diseñadas específicamente para este estudio y dimensionadas para soportar una presión de hasta 1,5 bar. Cada caja estanco se comunica a la cúpula de comunicaciones a través de conectores y cables submarinos con características Ethernet, provistos por MacCartney. Internamente, cada caja estanco cuenta con elementos genéricos de la arquitectura ThAS básica:



**Figura 55. Caja de estanco genérica y sus componentes**

Los componentes que se muestran en la Figura 55 son los siguientes:

1. Conector submarino: Conector del tipo Ethernet (8 pines, 100 Ohm) del proveedor MacCartney. Desde el conector se utiliza un pequeño cable de par trenzado que se divide internamente en un par para la energía (PoE pasivo) y 2 pares para la

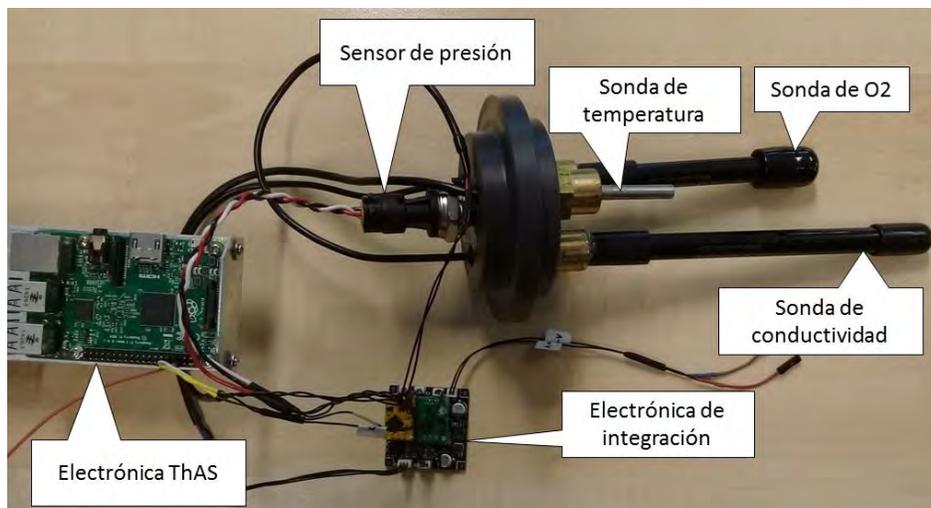
comunicación de datos, que termina en un conector RJ45 convencional, que se conecta al módulo denominado Electrónica ThAS.

2. Adaptador de energía: Conversor DC-DC de 12 a 5v del proveedor TracoPower.
3. Electrónica ThAS: Para este módulo se optó por una tarjeta denominada genéricamente como Single board PC, en este caso se optó por la Raspberry Pi.

La arquitectura ThAS, tal como se ha señalado en este documento, permite integrar un gran número de sensores y actuadores de manera simple, presentando una única interfaz de comunicaciones hacia el mundo exterior.

Para el propósito de contar con un prototipo funcional, se optó por realizar la integración de 2 proveedores de sensores de oxígeno, Atlas Scientific y AANDERAA.

#### Integración del prototipo con proveedor Atlas Scientific



**Figura 56. Integración de sensores relacionado del proveedor Atlas Scientific**

En la Figura 56 se muestran los componentes de integración de sensores Atlas Scientific:

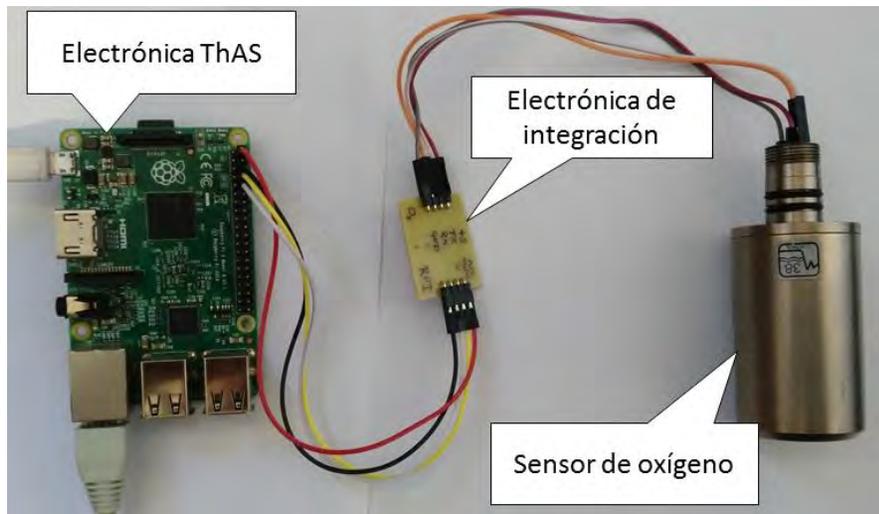
1. Electrónica ThAS: Este módulo se describió anteriormente.
2. Sensor de presión: SENSOR 10.3 bar 1/4NPT de TE Connectivity Ltd.
3. Sonda de temperatura: Rango de trabajo: -20 – 133°C.
4. Sonda de oxígeno: Mide oxígeno disuelto. Rango: 1 – 35 mg/L. Presión máxima: 7 bar. Temperatura de trabajo: 1 – 50°C. Tiempo antes de calibración: 1 año. Vida útil: 5 años.
5. Sonda de conductividad: Rango: 10  $\mu$ S/cm – 1 S. Presión máxima: 14 bar. Temperatura de trabajo: 1 – 110°C. Tiempo antes de calibración: 10 años.
6. Electrónica de integración: Circuitos de transmisión de señales EZO de Atlas Scientific (oxígeno disuelto, temperatura y conductividad). Adaptador de comunicaciones seriales y lógica de operación, desarrollado por la empresa Sixbell.

#### Integración con proveedor AANDERAA

Dado que, a partir de las mediciones con los instrumentos Atlas Scientific, ya se cuenta con las variables: conductividad y presión, se utilizarán estas variables para la estimación de oxígeno disuelto con el instrumento AANDERAA.

La Figura 57 muestra los componentes de la integración del sensor de oxígeno disuelto:

1. Sensor de oxígeno: Sensor de oxígeno disuelto Optode 3830 con sensor de temperatura interno. Profundidad máxima: 6.000 m. Tecnología: óptica.
2. Electrónica de integración: Adaptador de protocolos seriales desarrollado por la empresa Sixbell.
3. Electrónica ThAS: Este módulo se describió anteriormente.



**Figura 57. Integración de sensor de oxígeno disuelto del proveedor AANDERAA**

#### **10.4.1.2. Subsistema Estación Base**

Para la estación base se ha considerado el uso de tecnología LPWA. Se opta específicamente por la tecnología denominada LoRa WAN por las siguientes razones:

- Tecnología adecuada para operar donde no exista cobertura celular.

- Es adecuada para operar a gran distancia de la costa. Las pruebas efectuadas en terreno, demostraron efectividad a 20 Km de distancia entre la Estación de Monitoreo y la Estación Base.
- El costo total de propiedad (total cost of ownership) es menor que el correspondiente costo con tecnología satelital.

La Estación Base se compone de los siguientes elementos:

- Gateway Ker Link LoRa Wirnet Station 915, con un costo final aproximado de \$650.000. El kit contempla una antena omnidireccional de 6dB de ganancia. Se optó por realizar la comunicación en la banda de los 900 MHz, ya que se trata de una banda de frecuencia en espectro compartido que en Chile no requiere de permisos especiales para su uso.
- Autonomía energética: Este ítem está compuesto por los siguientes elementos:
  1. Caja eléctrica con protección ambiental IP67 que contiene el respaldo de baterías y fuente de poder. Costo aproximado de \$70.000.
  2. Kit eólico Marino Boreas: \$300.000.

La Estación Base se comunica con Internet a través de tecnología de datos celular 3G. De esta forma se despacha en tiempo real las lecturas de los sensores hasta la Plataforma de Datos mediante el protocolo REST.

### **10.4.1.3. Subsistema Plataforma de datos prototipo**

De acuerdo a los requerimientos descritos en el punto 10.5.3 se diseñó un prototipo funcional del software que implementa las principales funcionalidades descritas y que puede ser utilizado en el desarrollo del software final del Proyecto.

Para el Software utilizado en el prototipo, se ha seleccionado sólo componentes Open Source, los que ofrecen el rendimiento requerido para la demanda que el sistema final deberá soportar, además de ser ampliamente conocido y soportado por una gran comunidad a nivel mundial.

El software entregado corresponde a un prototipo funcional, la captura y consulta sobre la cantidad requerida de datos del sistema final, ha sido probada, de tal forma de asegurar que el diseño propuesto satisface la demanda que la solución requiere.

#### **10.4.1.3.1. Requerimientos del Software**

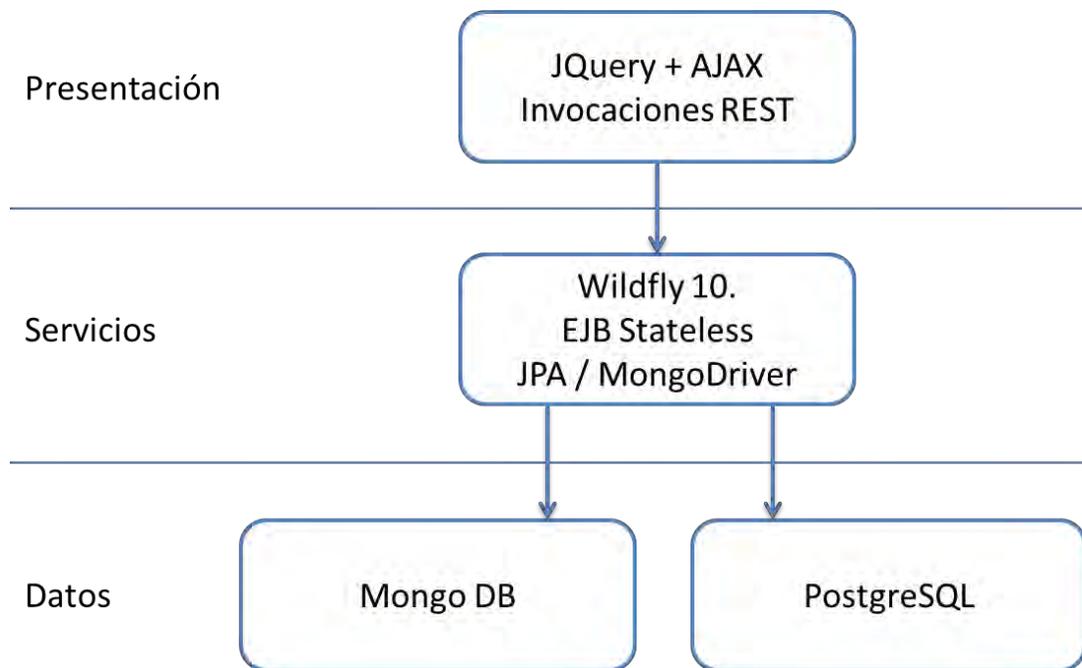
El software servidor del sistema de monitoreo debe ser capaz de satisfacer los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales:

- Recibir valores de variables monitoreadas por las estaciones y boyas. Debe soportar al menos 100 estaciones o boyas enviando datos concurrentemente.
- Almacenar los valores recibidos de manera segura, con el nivel de redundancia necesario para asegurar que no se perderán datos.
- Responder consultas de al menos 100 usuarios concurrentes sobre los valores de una variable en un rango de un mes, en menos de tres segundos.

- Debe soportar tolerancia a fallos; es decir, no puede depender de un solo servidor para responder a los usuarios consultando ni a las estaciones y boyas enviando datos.

➤ **Plataforma del Software base**

El software diseñado se basa en una arquitectura multicapas (Figura 58), orientada a servicios. Se han usado versiones probadas y la plataforma completa se ha sometido a las pruebas necesarias que aseguran el comportamiento requerido para el sistema.



**Figura 58. Diagrama de interacción entre las diferentes capas del sistema SOOAA.**

Para la capa de presentación se utilizó un diseño tipo “On Page” basado en invocaciones AJAX a servicios REST. Esta capa se basa en Jóquey para el despliegue de los componentes visuales. Para la visualización en mapas se ha utilizado Open Layers 4 y para los gráficos de series de tiempo, la biblioteca “Flot”.

La capa de servicios se basa en un servidor JBoss Wildfly 10, el que ofrece un alto nivel de rendimiento y escalabilidad. Los servicios se implementan como métodos de componentes EJB si estado. A través de una capa de dispatcher se publican algunos de los servicios implementados en los EJB como operaciones REST traspasando datos serializados bajo JSON y mediante protocolo HTTP o HTTPS.

➤ **Arquitectura del sistema**

La arquitectura utilizada, al ser de tipo stateless, ofrece un muy alto grado de escalabilidad horizontal y es por diseño, tolerante a fallos. Como se mostró en el punto anterior, el software base seleccionado permite una implementación en capas con responsabilidades claras, con protocolos abiertos y livianos.

En el caso de este sistema, y como se detalla más adelante, existen dos tipos de datos que se almacenan:

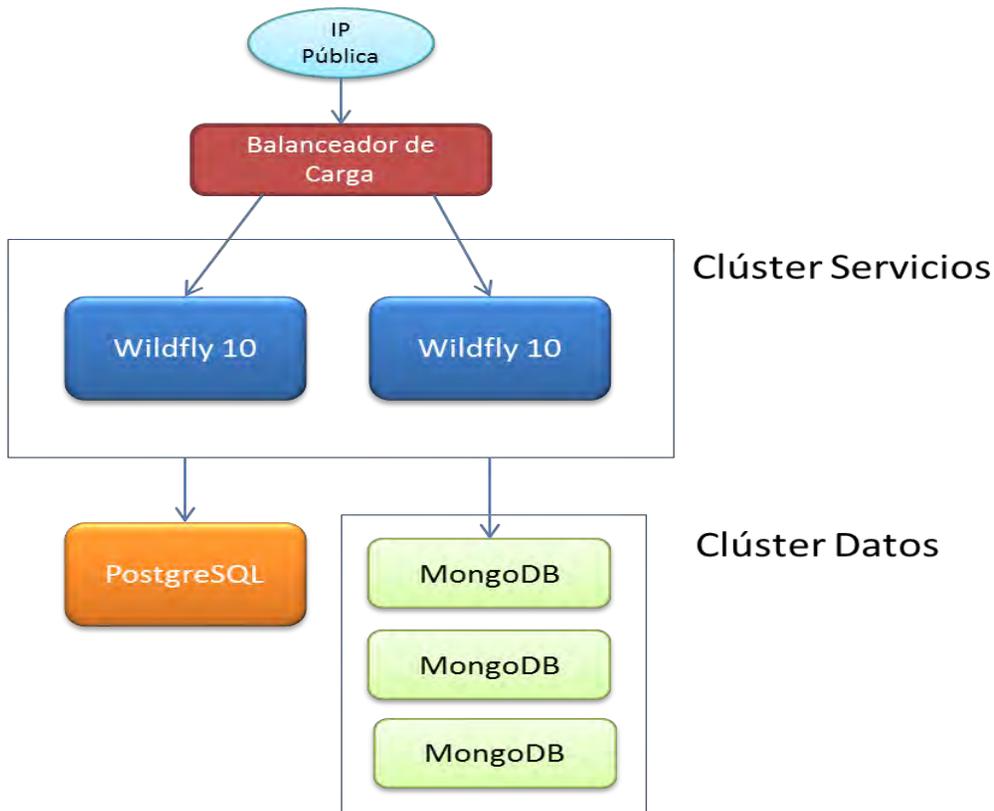
- **Metadata:** Información de configuración de las estaciones, boyas, usuarios del sistema, variables y sus unidades de medida y asociación entre variables y las estaciones de monitoreo que las miden. Esta información de configuración del sistema persiste en un servidor de base de datos PostgreSQL. Estos datos corresponden a configuraciones y su actualización será eventual (cuando se agreguen nuevas estaciones o boyas, nuevos usuarios, etc.). Se estima que no es necesario contar con un clúster de servidores de base de datos para este repositorio, sino que basta con una buena política de respaldo semanal. De haber una pérdida de los datos

de una semana, éstos pueden fácilmente ser actualizados (portal de Configuración) sin perder los datos de monitoreo.

- Datos de Monitoreo: Valores de las variables en el tiempo, enviados por las estaciones de monitoreo, y almacenados por el servidor en un repositorio MongoDB. Este repositorio almacena los datos principales del sistema y se estima que deben ser asegurados, por lo que se propone un sistema de replicación en línea que permite agregar el nivel de redundancia necesaria. Se propone crear un conjunto de réplica de tres nodos, los que deben (al menos dos de ellos) ejecutarse en servidores físicos independientes, para asegurar la persistencia en caso de fallas físicas de algún servidor. La información de configuración de un conjunto de réplica de este tipo se puede obtener desde la documentación oficial de MongoDB, específicamente en: <https://docs.mongodb.com/manual/tutorial/deploy-replica-set/>.

La capa de servicios funciona naturalmente en un ambiente tolerante a fallos, debido a que su diseño es de tipo stateless. Para conseguir este comportamiento, basta con colocar un balanceador de carga (por hardware o software) como punto de entrada, y distribuir las invocaciones a un clúster de servidores Wildfly 10 con la aplicación servidora instalada (Figura 59). No es necesario ningún tipo de sincronización entre los servidores del clúster (debido a que no hay estado que replicar entre ellos), por lo que bastaría con instalaciones independientes (cada uno en modo standalone, con la misma versión de la aplicación instalada).

Independiente de lo anterior, para efectos de facilitar la administración, se puede seleccionar una versión de wildfly que se ejecute, por ejemplo, sobre un sistema RedHat (requiere suscripción) lo que permite acciones de monitoreo y actualizaciones sobre el conjunto de servidores. El prototipo acá entregado funciona sobre servidores JBoss EAP (versión RedHat de Wildfly).



**Figura 59. Esquema propuesto para contar con una plataforma de alta demanda y tolerante a fallos.**

Se debe considerar que la plataforma acá mostrada se utiliza al mismo tiempo para recepción y almacenamiento de los valores de monitoreo y para el Portal de Consultas. Un servidor

MongoDB se especializa en el manejo muy rápido de repositorios de tipo Bigdata, pero para conseguir resultados eficientes, requieren de servidores con bastante memoria disponible.

Las recomendaciones de hardware para cada uno de los servidores involucrados son:

- Servidores Wildfly (2x): 4 Cores, 16 GB RAM, 1 500 Gb. HD.
- Servidor PostgreSQL: (1x): 4 Cores, 8 Gb RAM, 256Gb HD.
- Servidores MongoDB: (3x): 4 Cores, 24Gb RAM, 1Tb HD.

La estimación de los servidores se basa en proyectos ejecutados con características similares (y superiores) en cuanto al almacenamiento y consultas en línea de grandes cantidades de datos georeferenciados.

#### **10.4.1.3.2. Diseño del Software**

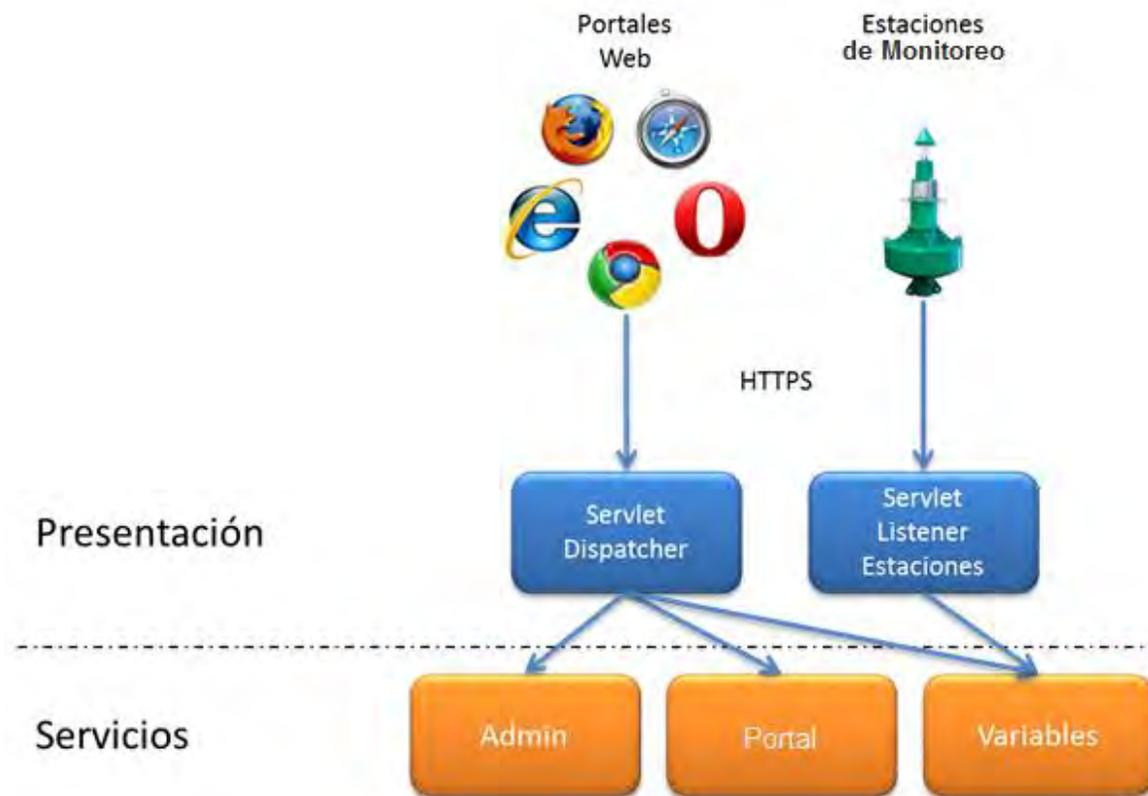
El diseño del prototipo de software, tiene la capacidad de almacenar los datos y metadatos (mediciones y configuraciones), además se pueden diseñar e implementar nuevos protocolos de recepción de datos desde nuevas estaciones de monitoreo e integrarlos dentro de la plataforma.

##### **➤ Módulos**

El sistema completo está desarrollado como sub-proyectos (Eclipse) y compilados y empaquetados usando el producto Apache ANT. Para compilar y empaquetar el producto, basta ejecutar desde el directorio sooa-ear el comando “ant ear”, lo que genera el archivo

sooa-lib/buld/sooaa.ear que corresponde a la aplicación Java EE 7 lista para desplegar en el servidor de aplicaciones.

Si bien se ha usado el IDE Eclipse para el desarrollo, el producto puede ser mantenido en forma independiente, gracias al uso de ANT para las tareas de compilación y empaquetado.



**Figura 60. Esquema de los módulos que conforman el sistema SOOAA.**

Los módulos principales de la aplicación son el sub-proyecto web, el sub-proyecto de servicios y el módulo JPA para la persistencia relacional (Figura 60). A continuación, se describe la estructura de cada uno de ellos:

## **1) Módulo Web**

Implementa la capa de presentación y el dispatcher desde los servicios REST que expone hacia su implementación en la capa de servicios. Incluye además el “escuchador” mediante protocolo HTTP / REST / JSON para la recepción de los datos desde las boyas y estaciones.

Dentro de este módulo hay clases Java para los Servlets de dispatcher y escuchador de datos de monitoreo y el contenido de los portales web.

Las clases java están ubicadas en soaaa-web/src/cl/soaaa/web y corresponden a Servlets Java que interpretan los requests HTTP y los derivan a la implementación correspondiente en la capa de servicios.

El contenido web (directorio soaaa-web/war) corresponde a contenido estático que es descargado desde los browsers en la forma de páginas HTML y archivos JavaScript y de imágenes. Este contenido estático se ejecuta en los browsers e interactúa con los servlets Java mediante invocaciones AJAX desde el código JavaScript.

La implementación usada para la capa de presentación es abierta y de acuerdo a estándares actuales de aplicaciones de tipo “One Page”.

## **2) Módulo de Servicios**

La lógica del sistema está implementada en componentes EJB de tipo stateles en el módulo soaaa-services, bajo el directorio soaaa-services/src/cl/soaaa/services.

En este directorio se encuentran clases Java del tipo EJB Stateless, las que prestan los servicios a la capa de presentación y a los escuchadores de las estaciones y boyas de monitoreo.

Se ha dividido la implementación de los servicios de acuerdo a un criterio de cohesión funcional, en tres componentes de negocio (Figura 60). Estos son:

- Admin: Servicios de Configuración utilizados principalmente por el Portal de Configuración.
- Portal: Servicios de Consulta, invocados principalmente desde el Portal de Visualización.
- Variables: Servicios de Registro y Consulta de valores de variables monitoreadas.

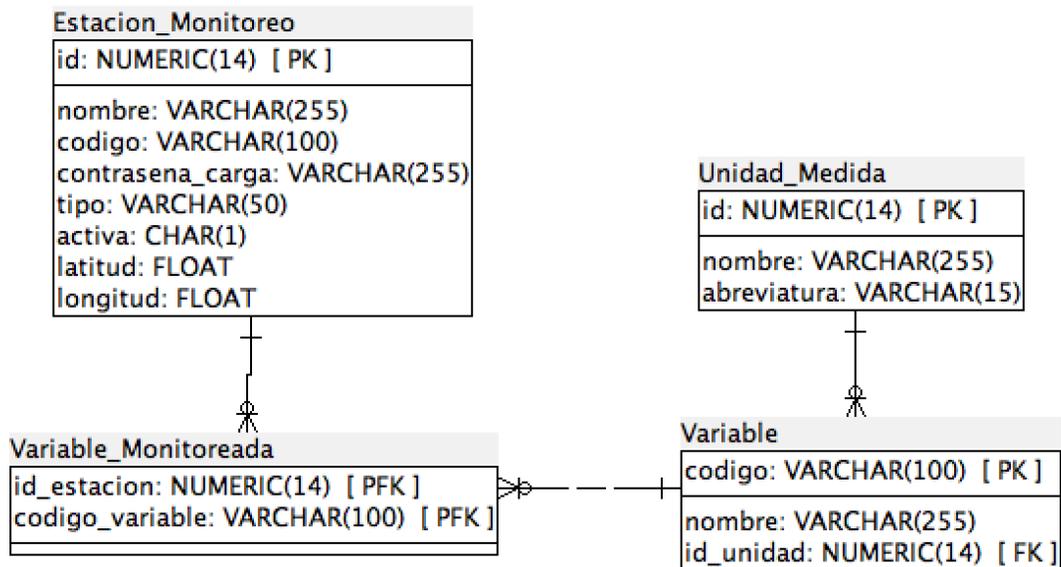
➤ **Capa de datos**

Como se ha explicado con anterioridad, la capa de datos se basa en dos tipos de repositorios. Uno relacional para los datos de configuración (metadata) y uno NOSQL para los datos de monitoreo.

- **Repositorio Relacional**

Los datos de configuración permiten almacenar la metadata necesaria para la operación del sistema, tales como la configuración de las estaciones y boyas, las variables y unidades de medida.

Se ha diseñado un modelo de datos relacional soportado por una base de datos PostgreSQL para administrar este repositorio (Figura 61).



**Figura 61. Modelo relacional para datos estructurados.**

Se debe recordar que el software entregado corresponde sólo a un prototipo. El producto final debería agregar otras entidades, como las necesarias para la administración de usuarios, registros de auditoría, etc.

El objetivo del prototipo es demostrar que los puntos de mayor riesgo del sistema pueden ser implementados y responder eficientemente con el diseño propuesto. Estos puntos de riesgo son la cantidad y temporalidad de la información, así como la variabilidad, ya que en el tiempo pueden agregarse y quitarse estaciones de monitoreo, como nuevos sensores

(variables) medidas a cada una de ellas. El modelo que se diseñó soporta eficientemente ambos requerimientos.

Las “Estaciones de Monitoreo” representan a boyas o estaciones meteorológicas. Cada una de ellas se identifica por un código (además de un id interno), un nombre, su ubicación y un tipo. El tipo puede ser “boya” o “estación”. Se agrega un campo “activa” para representar el borrado lógico, lo que permite que el elemento (boya o estación) desaparezca del portal de visualización, sin perder su información histórica.

La entidad “Variable\_Monitoreada” mantiene la asociación entre las estaciones y las variables que ellas monitorean. Las variables se identifican por un código que no puede ser modificado (éste se usa, como más adelante se muestra) como el nombre del campo en la colección de valores.

- **Repositorio de Datos de Monitoreo (NOSQL)**

En paralelo y en forma sincronizada al modelo relacional, dinámicamente se van creando colecciones MongoDB para representar los valores enviados por cada estación o boya.

MongoDB es un servidor de datos NOSQL. El equivalente a una tabla relacional es una “Colección”, la que representa un conjunto de “Documentos” de un mismo tipo.

A diferencia de una tabla relacional, las colecciones no requieren mantener la misma estructura para cada uno de sus registros, lo que significa que los campos o columnas de la colección pueden variar entre registros.

Cada elemento (cada registro) de la colección corresponde a un documento BSON (Json Binario), el que puede tener la estructura que se desee (campos simples, campos que son otro documento, campos que son arreglos de otros valores).

SOOAA almacena los valores de las variables monitoreadas de acuerdo al siguiente esquema:

1. Cada vez que se crea una estación o boya desde el portal de configuración, automáticamente se crea una nueva colección MongoDB, usando como nombre de la colección el código de la estación o boya.
2. Se crea un índice en la nueva colección por el campo “tiempo” (long).
3. Los valores enviados por la estación o boya para cada una de las variables que ella mide, son almacenados dentro del mismo documento usando como nombre de campo, el nombre de la variable configurada en el portal.

De acuerdo a lo anterior, un registro enviado por una estación o boya se inserta en la colección MongoDB llamada igual al código de la estación o boya, con el siguiente formato:

```
{  tiempo:99999999,  
  var1:99.9,  
  var2:12.9,  
  var3:15.4  
}
```

Para evitar posibles problemas debido a cambios de horario de verano / invierno o zonas horarias, el tiempo se ha normalizado como la cantidad de milisegundos UTC. Las estaciones y boyas deben enviar el tiempo de la medición normalizado según este criterio.

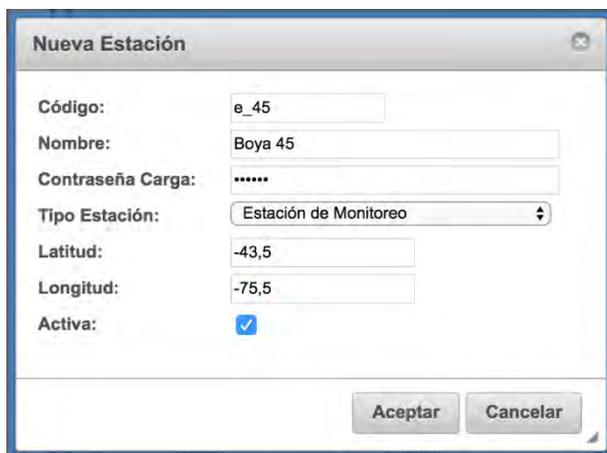
Es responsabilidad de la capa de presentación hacer las transformaciones necesarias desde tiempo UTC de acuerdo a la configuración regional del browser en donde se ejecutan los portales; lo que implica que las fechas / horas se verán en los portales de acuerdo al tiempo local.

➤ **Secuencias de resolución de los servicios**

Existe una secuencia de pasos e invocaciones entre capas para resolver las operaciones más importantes del sistema.

- **Creación de una nueva estación de monitoreo**

La operación se inicia cuando el usuario administrador selecciona la opción “Agregar” en el Portal de Configuración (Figura 62), completa los datos de la estación, y selecciona “Aceptar” en la ventana de Captura de datos.



Código:	e_45
Nombre:	Boya 45
Contraseña Carga:	*****
Tipo Estación:	Estación de Monitoreo
Latitud:	-43,5
Longitud:	-75,5
Activa:	<input checked="" type="checkbox"/>

Aceptar Cancelar

**Figura 62. Ventana de creación de una nueva estación en portal configuración de SOOAA.**

Usando los datos capturados, la aplicación web invoca a la URL soaaa/addEstacion.admin, pasando en el request de tipo POST un objeto JSON.

El Servlet dispatcher, dentro de la capa de presentación, determina que el servicio lo resuelve el componente “Admin” (por la extensión al final de la URL) y termina invocando al EJB

Admin, método addEstacion:

```
@JSONOperation
public long addEstacion(JSONObject estacion) throws Exception {
    EstacionMonitoreo e = new EstacionMonitoreo();
    e.setCodigo(estacion.getString("codigo"));
    e.setNombre(estacion.getString("nombre"));
    e.setContrasenaCarga(estacion.getString("contrasenaCarga"));
    e.setTipo(estacion.getString("tipo"));
    e.setActiva(estacion.getBoolean("activa")?"S":"N");
    e.setLatitud((float)estacion.getDouble("latitud"));
    e.setLongitud((float)estacion.getDouble("longitud"));
    em.persist(e);
    em.flush();
    variables.inicializaColeccionEstacion(e.getCodigo());
    return e.getId();
}
```

Como se observa en el código anterior, el EJB Admin usa los servicios estándares de JPA (Java EE 7) para crear un nuevo objeto “EstacionMonitoreo”, el que termina con la inserción del nuevo registro en la tabla “Estacion\_Monitoreo” en PostgreSQL.

Al final del método se observa que se invoca al servicio “inicializaColeccionEstacion” del componente “variables”, pasándole el código de la estación recién creada en el modelo relacional.

Los accesos desde la capa de servicios al servidor MongoDB se realizan sólo desde el componente “Variables”. El código que crea e inicializa la colección asociada a la nueva estación es el siguiente:

```
public void inicializaColeccionEstacion(String codigoEstacion) throws Exception {  
    String collectionName = codigoEstacion;  
    MongoCollection<Document> collection = get500AADB().getCollection(collectionName);  
    collection.createIndex(new Document("tiempo", 1));  
}
```

Como se observa en el código anterior, junto con la colección se crea un nuevo índice (ascendente) por el campo “tiempo”, lo que permite asegurar los tiempos de respuesta a las consultas de los datos medidos para cada estación, ya que todas las consultas son por un rango de tiempo.

- **Recepción de un registro de Monitoreo**

La estación de monitoreo envía mediante un request HTTP POST (Content-Type: application/json) un registro de la forma:

```
{estacion:"código", tiempo:9999, var1:99.99, var2:99.99, ...}
```

El request es procesado por el Servlet “HTTPReceiver” en el módulo soaaa-web. Este componente extrae el código de la estación o boya, el tiempo y forma un documento JSON con los valores de las variables recibidas. Con estos valores, traspasa la llamada al componente Variables (soaaa-services) invocando a “variables.insertaValores(estacion, tiempo, valores);”.

Como antes se mencionó, el componente Variables en la capa de servicios es el único punto de acceso desde la aplicación al servidor MongoDB. El servicio que recibe los valores enviados y los inserta en la colección de la estación es el siguiente:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public void insertaValores(String estacion, long tiempo, JSONObject valores) throws Exception {
    HashMap<String, Boolean> variablesAsociadas = new HashMap<>();
    List<String> rows = em.createNativeQuery("select v.codigo_variable from Variable_Monitoreada v, Estacion_Monitoreo e " +
        " where v.id_estacion=e.id and e.codigo=?")
        .setParameter(1, estacion)
        .getResultList();
    for (String v:rows) variablesAsociadas.put(v, Boolean.TRUE);
    MongoCollection<Document> collection = getS00AADB().getCollection(estacion);
    Iterator<String> variables = valores.keys();
    Document doc = new Document();
    doc.put("tiempo", tiempo);
    while(variables.hasNext()) {
        String variable = variables.next();
        if (variablesAsociadas.get(variable) == null)
            throw(new BusinessException("La variable " + variable + " no está asociada a la estación"));
        double valor;
        try {
            valor = valores.getDouble(variable);
        } catch(Exception e) {
            throw(new BusinessException("No se puede rescatar el valor de " + variable + ": " + e.getMessage()));
        }
        doc.put(variable, valor);
    }
    collection.insertOne(doc);
}
```

Como se observa en el código, el servicio primero valida que cada una de las variables recibidas esté asociada a la estación de acuerdo al modelo relacional. Con los datos del “tiempo” y de los valores de las variables se crea un “Document” de MongoDB y se inserta en la colección asociada a la estación identificada por su código.

- **Consulta de valores de una variable en una estación**

Desde el portal de visualización de datos, el usuario selecciona una o más estaciones o boyas, una variable y un rango de tiempo de consulta. Mediante una invocación AJAX pasando estos valores como argumento, se invoca un request POST a la URL: `getVariableEnEstaciones.portal`.

El dispatcher de la capa de presentación identifica por la extensión de la URL, que el componente invocado es “Portal” y traspasa la llamada a ese EJB de la capa de servicios.

El método del componente portal recorre el arreglo de estaciones o boyas (sus códigos) y por cada elemento invoca al componente “Variables”, método `getVariableEnEstaciones.portal`.

Usando el filtro del tiempo, el que utiliza el índice creado para cada colección dinámica, el componente “Variables” consulta los valores de la estación solicitada.

Como se observa en el código siguiente, para efectos del prototipo no se ha realizado la validación de contraseña. El servicio recién mostrado, en el producto final, debería recibir además la contraseña enviada desde la estación o boya, y validarla con la que el administrador configuró en el Portal de Configuración. El código que ejecuta esta consulta hacia el servidor MongoDB es el siguiente:

```
public JSONArray getVariableEstacion(long idEstacion, String codigoVariable, long t0, long t1) throws Exception {
    EstacionMonitoreo e = em.find(EstacionMonitoreo.class, idEstacion);
    if (e == null) throw(new BusinessException("No se encontró la Estación"));
    StringBuilder sb = new StringBuilder();
    sb.append("{}");
    sb.append(" $and:[");
    sb.append("    { 'tiempo' : { '$gte' : " + t0 + " } },"");
    sb.append("    { 'tiempo' : { '$lt' : " + t1 + " } },"");
    sb.append(" ]");
    sb.append("}");

    MongoCollection<Document> collection = getSOOAADB().getCollection(e.getCodigo());
    FindIterable<Document> it = collection.find(Document.parse(sb.toString())).sort(Document.parse("{tiempo:1}"));
    MongoCursor<Document> cursor = it.iterator();
    JSONArray serie = new JSONArray();
    try {
        while(cursor.hasNext()) {
            Document doc = cursor.next();
            long tiempo = doc.getLong("tiempo");
            if (doc.containsKey(codigoVariable)) {
                double valor = doc.getDouble(codigoVariable);
                JSONArray fila = new JSONArray();
                fila.put(tiempo);
                fila.put(valor);
                serie.put(fila);
            }
        }
    } finally {
        cursor.close();
    }

    return serie;
}
```

- **Diseño de un nuevo protocolo de escucha de estaciones**

Una de las principales ventajas del diseño implementado, es la facilidad para implementar nuevos protocolos mediante los cuales recibir datos desde las estaciones de monitoreo. La arquitectura de capas ofrece la separación de responsabilidades que se requiere para independizar las acciones de inserción en el repositorio de datos de monitoreo, de aquellas de recepción de los datos.

En particular, el nuevo escuchador se debe concentrar en implementar los protocolos requeridos, transformar los datos a un formato JSON (los pares, variable:valor) y de invocar finalmente al servicio de inserción ya disponible en el componente “Variables”.

Como ejemplo, se considera acá la implementación de un nuevo escuchador para estaciones de monitoreo que transmiten sus datos a través de una red LoRa de largo alcance y bajo consumo, la que se basa en un conjunto de emisores y una (o más) antenas receptoras. La antena receptora cuenta con un Gateway, el que se encarga de transmitir la información a un servidor central.

Los Gateways LoRa se basan en un protocolo basado en paquetes UDP transmitidos a través de internet. Los paquetes de información contienen los datos de las estaciones encriptados de acuerdo a un protocolo particular, fuera del alcance de este documento. Acá se muestra como crear un nuevo componente escuchador de paquetes UDP provenientes de un Gateway LoRa, y cómo integrar ese componente al diseño antes presentado.

El escuchador LoRa debe mantenerse escuchando a través de un socket UDP en un puerto particular mientras el servidor está funcionando. Java EE provee unos componentes de tipo Singleton que tienen la capacidad de reaccionar (interceptar eventos) al momento de iniciarse la aplicación en el servidor (cuando se inicia el servicio) y al momento de detenerse. Usando estos eventos, es posible iniciar y detener una hebra que levanta y baja el socket de escucha. Se crea un nuevo componente EJB dentro del módulo soaaa-services, llamado UDPReceiver. Este nuevo componente se define como Startup, para recibir los eventos de inicio y término

de la aplicación (para iniciar y detener el socket) y como Singleton, ya que se requiere de una única instancia del escuchador.

Dentro de este mismo componente, se crea una clase privada que implementa la lógica del socket de escucha, su transformación de datos y la invocación a los servicios de inserción en el componente “Variables”. Esta nueva clase privada se denomina “UDPServer” y extiende a Thread, ya que se ejecuta como una hebra separada.

El código que inicia y detiene al servidor (escuchador UDP) se coloca dentro de métodos demarcados (Java annotation) como `@PostConstruct` y `@PreDestroy`, los que son invocados automáticamente por el servidor de aplicaciones al iniciarse y detenerse la aplicación.

```
@Startup
@Singleton
public class UDPReceiver {
    private boolean running = false;
    private UDPServer server = null;

    @EJB
    Variables variables;

    @PostConstruct
    public void startListener() {
        Console.info("[S00AA][UDPListener] Iniciando Listener");
        running = true;
        server = new UDPServer(variables);
        server.start();
    }

    @PreDestroy
    public void stopListener() {
        Console.info("[S00AA][UDPListener] Deteniendo Listener");
        running = false;
        server.stopListener();
    }

    private class UDPServer extends Thread {

```

Para simplificar el código, se ha colapsado anteriormente el contenido de la clase “UDPServer”, la que a continuación se explica.

```
public void run() {
    try {
        socket = new DatagramSocket(8888);
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
        Console.error("UDP Listener no se inicializó");
        return;
    }
    byte[] receiveData = new byte[1024 * 8];
    Console.info("[S00AA][UDPListener] UDP Server está escuchando en el puerto " + socket.getLocalPort());
    while (running) {
        try {
            DatagramPacket packet = new DatagramPacket(receiveData, receiveData.length);
            socket.receive(packet);
            String data = new String(packet.getData(), "UTF-8");
            Console.info("*****");
            Console.info("**** UDP: Recive:" + data);
            // Desencriptar 'data' para obtener código de estación, tiempo y valores de las variables.
            String estacion = "e_1"; // Datos de prueba, caso real se obtiene desde 'data'
            long tiempo = (new Date()).getTime(); // Datos de prueba, caso real se obtiene desde 'data'
            JSONObject valores = new JSONObject(); // Datos de prueba, caso real se obtiene desde 'data'
            variables.insertaValores(estacion, tiempo, valores);
        } catch (IOException ioe) {
            if (socket.isClosed()) {
                Console.info("[S00AA][UDPListener] UDP Server socket se ha cerrado");
            } else {
                ioe.printStackTrace();
            }
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

La responsabilidad del objeto UDPServer creado es escuchar por paquetes en el socket UDP, desencriptar y transformar los datos desde el protocolo del Gateway LoRa y finalmente invocar al servicio de inserción ya existente en el componente Variables. Todo esto se hace dentro de una hebra que se ejecuta en el servidor Wildfly, por ello, se sobrescribe el código del método “run”.

En el código anterior, se muestra sólo la recepción y posterior invocación al servicio de inserción de “variables”. El resto es código dependiente del protocolo, en este caso un Gateway LoRa.

#### 10.4.1.3.3. Plataforma de datos Prototipo

Las fuentes de este prototipo se entregan y se disponibiliza para pruebas. En particular, se han dejado fuera las funcionalidades de perfilamiento de usuarios, alertas y estadísticas, pero la captura, almacenamiento y monitoreo están construidas.

El prototipo consta de dos portales, uno de Administración y otro de Consulta.

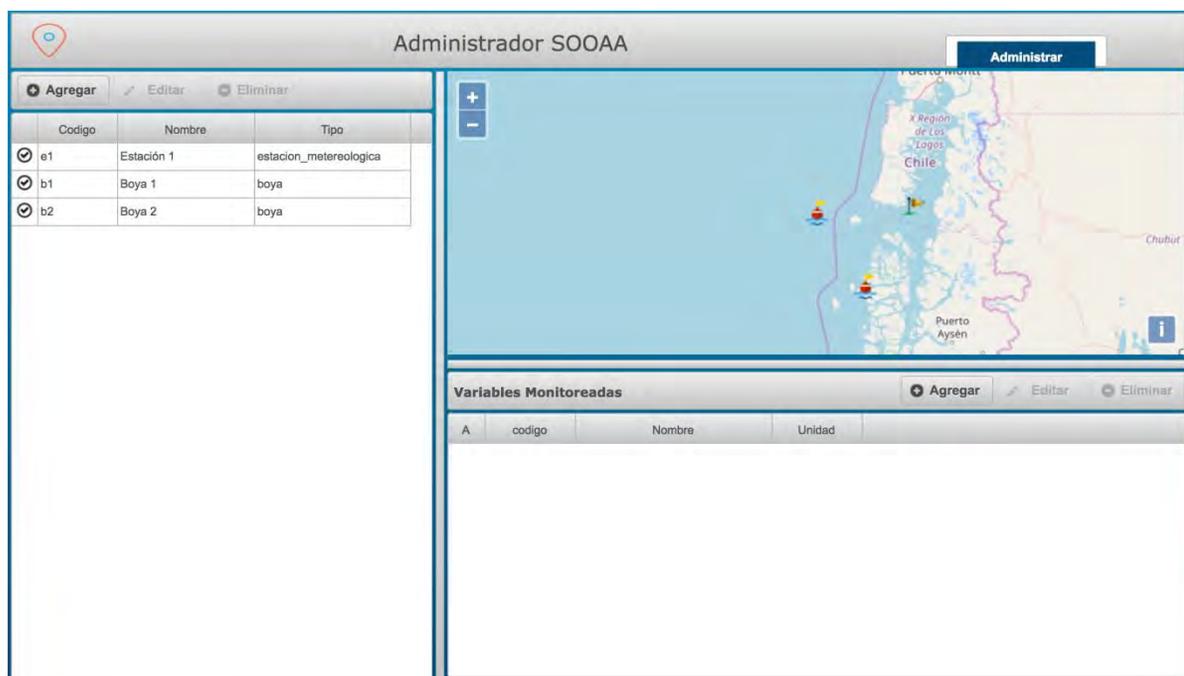


Figura 63. Página de inicio del Portal de Administración.

#### **10.4.1.3.4. Portal de Administración**

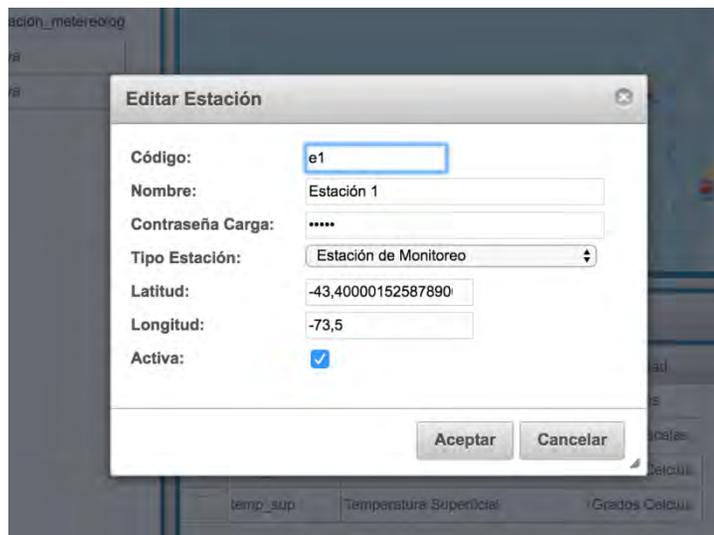
La funcionalidad principal del Portal de Administración (Figura 63) es mantener el modelo de datos estructurado presentado en la capa de datos. Este portal permite configurar las Estaciones de Monitoreo, las Variables Monitoreadas con sus Unidades de Medida y la asociación entre las Estaciones y las Variables.

Al ingresar al Portal de Administración el usuario (con Perfil de Administrador) puede agregar, editar y eliminar estaciones, usando los botones de la zona superior izquierda.

Como se muestra en la Figura 64 por cada Estación de Monitoreo deben ingresarse los siguientes campos:

- Código: Corresponde al código que identifica únicamente a cada estación. Este código es el que envían las estaciones para identificarse en cada envío de datos de monitoreo.
- Nombre: Usado para el despliegue de los datos de las estaciones (Portal de Consultas).
- Contraseña Carga: Lo debe enviar la estación junto a los datos de monitoreo como parte de su identificación en el servidor.
- Tipo Estación: Permite identificar si la estación corresponde a una Estación Meteorológica, una Boya Oceanográfica o algún otro tipo que más adelante se pueda agregar. El ícono mostrado en los mapas dependerá del tipo de estación seleccionado.

- Latitud, Longitud: Permite desplegar la estación en los mapas del portal de administración y consulta.
- Activa: Permite que una estación no sea mostrada en el portal de Consulta sin necesidad de borrar sus datos de monitoreo (borrado lógico).



The image shows a screenshot of a web application interface. A dialog box titled "Editar Estación" is open, allowing users to edit station data. The fields are as follows:

Field	Value
Código	e1
Nombre	Estación 1
Contraseña Carga	*****
Tipo Estación	Estación de Monitoreo
Latitud	-43,40000152587890
Longitud	-73,5
Activa	<input checked="" type="checkbox"/>

Buttons: Aceptar, Cancelar

**Figura 64. Datos de una estación y forma de ingresarlas al portal**

Al seleccionarse una estación en el mapa o en la lista, en la zona inferior derecha se puede asociar las variables que se capturan en esa estación, como se muestra en la Figura 65. Usando los botones sobre la lista de variables se pueden agregar nuevas o modificar las existentes (Figura 66).

El código de la variable es el identificador que las estaciones deben enviar para los valores de sus sensores al momento de enviar sus registros de monitoreo.

Se puede utilizar el botón de la derecha del campo Unidad para definir nuevas unidades de medida.

The screenshot displays the 'Administrador SOOAA' interface. At the top, there is a title bar with a location icon and the text 'Administrador SOOAA'. Below this, there are three buttons: 'Agregar', 'Editar', and 'Eliminar'. The main content area is divided into two sections. The left section contains a table with the following data:

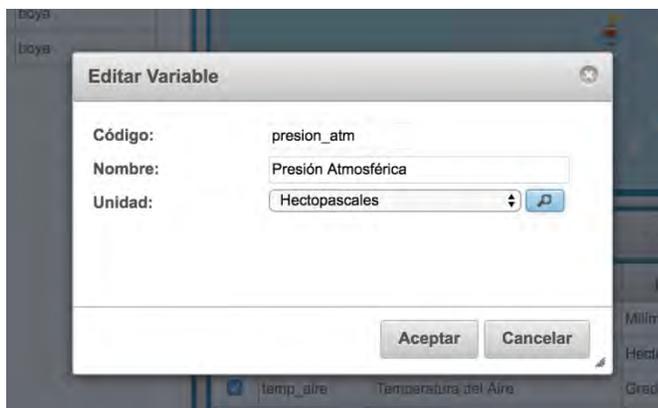
Codigo	Nombre	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/> e1	Estación 1	estacion_metereolog
<input checked="" type="checkbox"/> b1	Boya 1	boya
<input checked="" type="checkbox"/> b2	Boya 2	boya

The right section features a map of Chile with a green grid overlay and a blue information icon. Below the map is a section titled 'Variables Monitoreadas' with buttons for 'Agregar', 'Editar', and 'Eliminar'. This section contains a table with the following data:

A	codigo	Nombre	Unidad
<input checked="" type="checkbox"/>	precip_dia	Precipitaciones Día	Milímetros
<input checked="" type="checkbox"/>	presion_atm	Presión Atmosférica	Hectopascales
<input checked="" type="checkbox"/>	temp_aire	Temperatura del Aire	Grados Celcius
<input type="checkbox"/>	temp_sup	Temperatura Superficial	Grados Celcius

**Figura 65. Asociación de variables a una estación**

Como antes se mencionó, el servicio de captura de datos valida que la variable esté asociada a la estación antes de insertar cada registro de monitoreo, por ello es muy importante que los administradores mantengan esta información actualizada en el Portal de Administración (la lista asociada de variables medidas en cada estación).



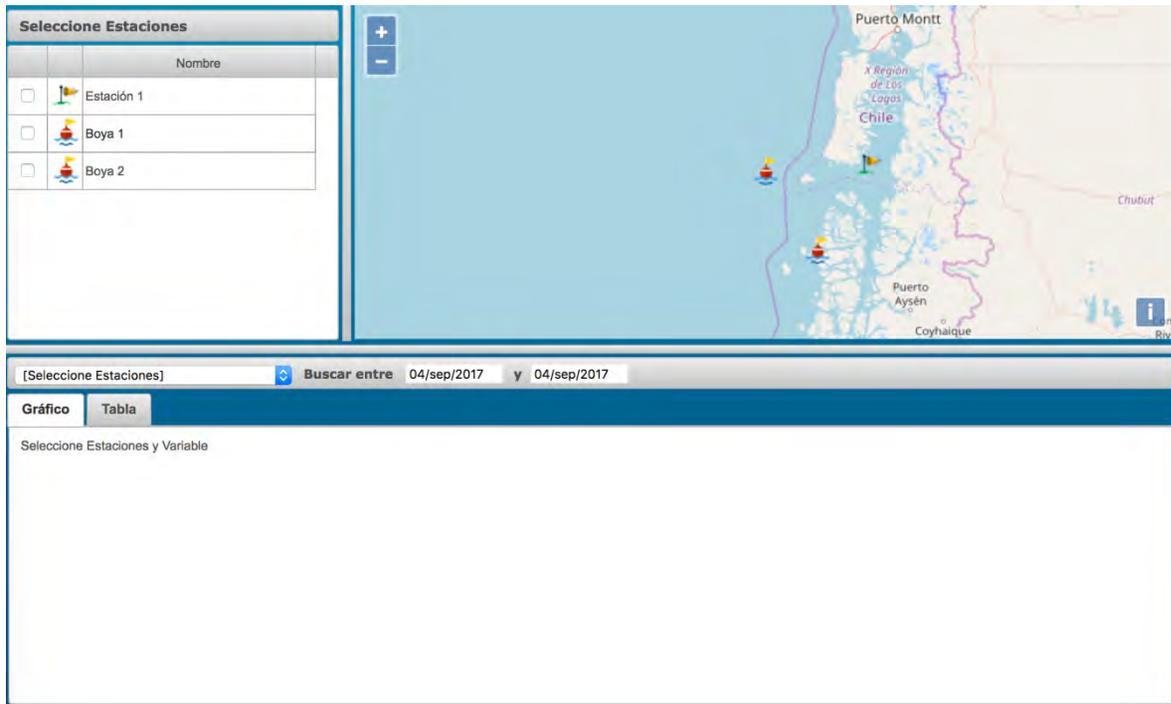
**Figura 66. Registro de datos de una variable**

#### **10.4.1.3.5. Portal de consultas**

El objetivo del Portal de consultas (Figura 67) es la visualización de los datos de monitoreo enviados por las estaciones. Se ofrece la posibilidad de comparación de una misma variable de acuerdo a las mediciones de varias estaciones. Esto requiere que la misma variable esté asociada (portal de Administración) a más de una Estación.

La siguiente imagen muestra la página de inicio del Portal de Consultas. A la izquierda se despliega la lista de estaciones activas y a la derecha un mapa con la ubicación de cada una de ellas. La zona inferior está reservada para los filtros de consulta y el despliegue de los datos.

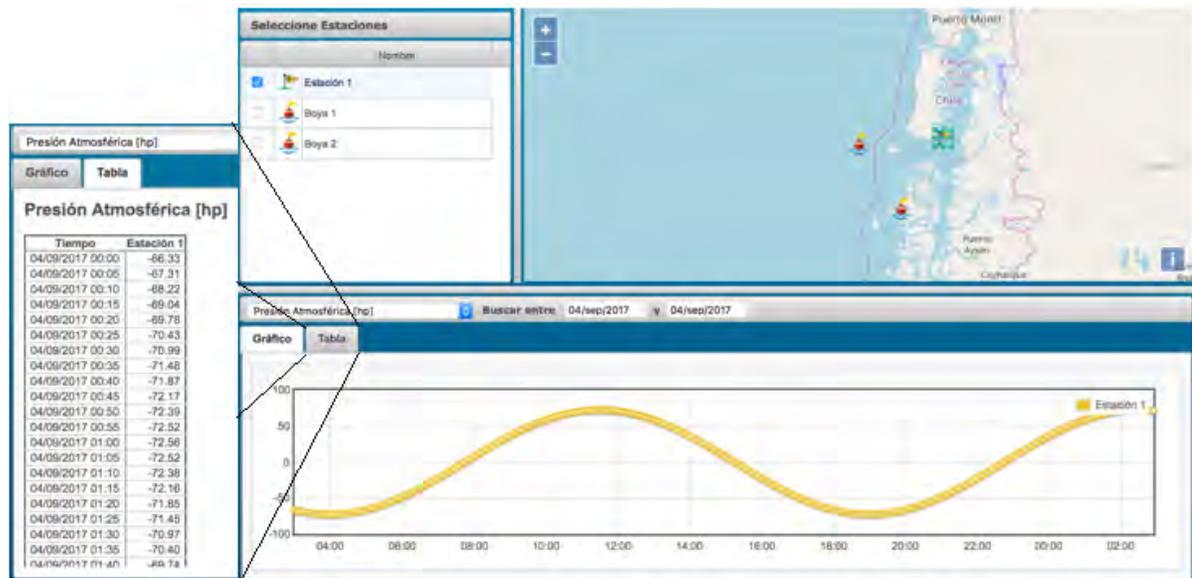
Las estaciones pueden ser seleccionadas desde la lista, por su nombre, o en el mapa, de acuerdo a su ubicación y tipo (ícono). La lista de estaciones está ordenada por su Latitud, de norte a sur.



**Figura 67. Página de inicio del Portal de Consultas.**

Al seleccionar una estación, ésta se muestra marcada en el mapa y en la lista y se refresca la lista de variables (mitad de la pantalla, a la izquierda). La lista muestra todas las variables definidas para esa estación. Desde la lista el usuario puede seleccionar qué variable desea monitorear y a la derecha un rango de fechas de consulta de datos.

La zona inferior se refresca con la serie de tiempo asociada a la variable medida por esa estación en el rango de tiempo seleccionado, como se muestra en la Figura 68.



**Figura 68 Serie de Tiempo de una estación y tabla de datos desplegados.**

Si el usuario selecciona más de una variable, la lista de variables (mitad de la página, a la izquierda) muestra el subconjunto de las variables comunes a las estaciones seleccionadas. Si no hay variables comunes a todas las estaciones seleccionadas, se informa con un mensaje al usuario.

Al seleccionarse varias estaciones, sus valores se muestran juntos (la misma variable medida en las estaciones seleccionadas) en el gráfico y la tabla desplegada (Figura 69).

Los datos mostrados en este ejemplo han sido generados usando un algoritmo semi-aleatorio de acuerdo a un comportamiento sinusoidal, usando un proyecto de prueba, el que inyecta los valores simulando el envío de estaciones; es decir, pasando por una capa HTTP. Los valores

quedan almacenados en el repositorio MongoDB tal como se propone en el diseño del sistema.

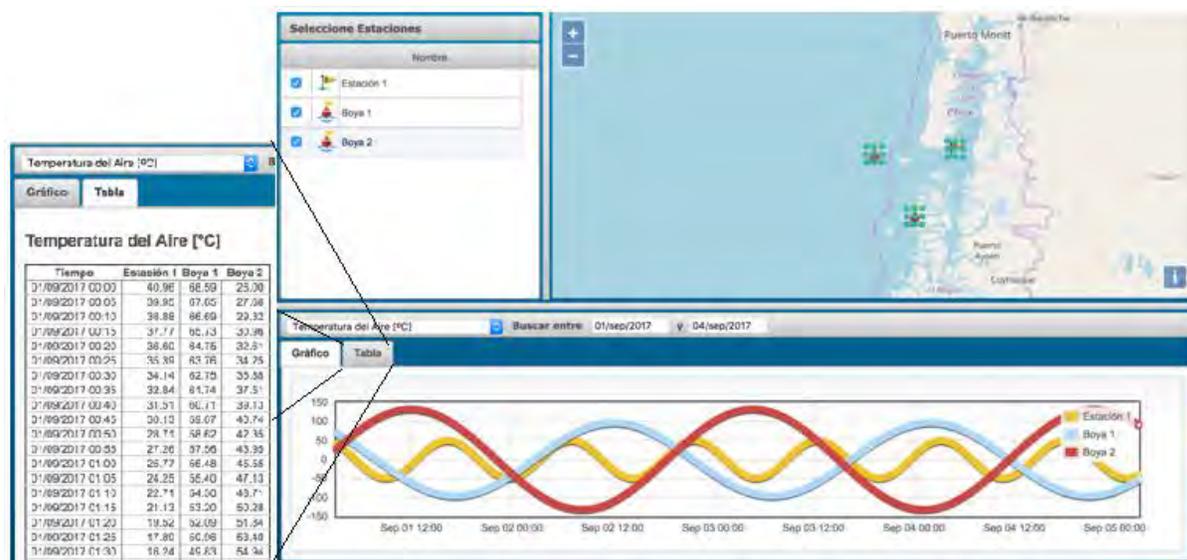


Figura 69. Gráfico y tabla comparativa de una misma variable en varias estaciones

El manual completo de Usuario del Portal Web se encuentra en el Anexo 14.7 del presente informe.

Las fuentes del prototipo se pueden descargar desde: <http://www.zonar.cl/sooaa/sooaa.zip>.

La contraseña para extraerlos es: sooaa.2017

El portal de consulta y monitoreo está en: <http://www.zonar.cl/sooaa/sooaa>

El portal de administración está en: <http://www.zonar.cl/sooaa/sooaa-admin>

**NOTA: Por favor no modificar los datos que existen en el portal de administración o podrían dejar de mostrarse en el de consulta (se pueden crear nuevas estaciones y variables si lo desean)**

#### **10.4.2. Funcionamiento prototipo**

El 23 de marzo de 2018, se procedió a instalar el prototipo de monitoreo oceanográfico en las dependencias de la empresa de Salmones Multiexport (41.72° S, 72.49° W), ubicada en la zona de Llaguepe región de Los Lagos.

Luego de conocer las instalaciones, y por indicación de la empresa, con el fin de evitar al máximo obstaculizar las actividades que permanentemente se realizan sobre las balsas, se ubicó el domo al costado de la caseta del vigilante, lado Oeste de la balsa, y las baterías en el interior de la caseta, objeto protegerlas de las inclemencias del tiempo. La empresa Salmones Multiexport provee de alimentación eléctrica al anclaje por medio de un generador a combustión entre las 20:00 y las 06:00 hrs, (app. 10 horas), tiempo en que el prototipo es alimentando directamente y a su vez almacena energía en las baterías de apoyo, para funcionar durante las horas de receso, permitiendo con ello un funcionamiento 24/7.

El lugar de medición posee una profundidad de ~60 m y se encuentra a ~170 m de la orilla y ~400 m del receptor LoRa ubicado en la pared externa de las oficina de la empresa. Los datos son enviados a la caseta mediante señal LoRa, para luego vía internet móvil subir los datos al servidor. Los datos pueden visualizarse en [www.caletas.cl/sooaa](http://www.caletas.cl/sooaa).

El prototipo consta de un domo de 40 cm de diámetro por 70 cm de alto, el cual esta sellado y contiene en su interior una fuente de poder 220V a 24V, tres conversores DC-DC de 12V-30V a 5V, tres switch de datos Ethernet (sólo uno en uso), un Router WiFi, tres Inyectores POE Pasivos (sólo uno en uso), una raspberry PI 3, un módem LoRa marca Multitech con

antena externa y un conversor DC-DC Vout 5V, además del domo, se instaló una caja conteniendo las baterías de alimentación.

### **Arquitectura prototipo**

La utilización de un prototipo simple nace del hecho de que, por definición, un prototipo es el primer modelo que sirve como representación o simulación del producto final y nos permite verificar el diseño y confirmar que cuenta con las características específicas planteadas. De él se puede aprender, testar y probar antes de poner en funcionamiento el producto definitivo.

Basado en las características técnica que debe tener un sistema de observación del océano, los lugares de medición definidos, y las condiciones establecidas para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema de observación, se instaló y probó un prototipo observacional en la zona de Llaguape, Región de los Lagos. Este prototipo fue desarrollado íntegramente por la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, y consideró tres aspectos fundamentales a evaluar en su desarrollo:

1. Construir un dispositivo de integración de bajo costo, que integre distintos modelos y marcas de sensores oceanográficos, para medir las variables y comunicar dichas mediciones a una central.
2. Probar tecnología de punta orientada a IoT, (del inglés, Internet of Things).
3. Testar el efecto del biofouling sobre los sensores especialmente considerando que éste puede variar con las estaciones, con un incremento y crecimiento particularmente grande en verano.

El sistema en forma general toma la información de 2 grupos de sensores, ubicados a 5 m y 10 m de profundidad, que transmiten a través de un enlace RF, a un Gateway el que los entrega decodificado a internet vía 3G.

### *Componentes del sistema*

Estación1 (5m): Corresponde al sensor Optode3830 que mide la concentración y porcentaje de oxígeno disuelto en el agua y la temperatura, entrega la información a través de una puerta serial RS232, (+/-12V) la que es adaptado por un conversor de niveles de +/-12V a 0-3.6V, esta data es leída, parcelada y almacenada por una aplicación dedicada en la Raspberry PI 1.

Estación2 (10m): corresponde a un conjunto de 4 sensores que miden, la salinidad, concentración y porcentaje de oxígeno disuelto, temperatura, presión y profundidad. Estos datos vienen en niveles TTL y son leídos por la Raspberry Pi desde una placa dedicada a los sensores, la raspberry parcela, y almacena estos valores.

Raspberry Master: Esta Raspberry, se encarga de administrar las comunicaciones del sistema, solicitando periódicamente a las profundidades 1 y 2 las mediciones de las variables, y las transmite por el módem la estación base (LoRa).

Las tres Raspberry Pi poseen la misma configuración, solo cambia la aplicación que corre cada una, estas aplicaciones se encuentran en el directorio /home/pi/xavier y fueron realizadas en Gambas 3 (Lenguaje Basic).

La única aplicación que genera un registro de LOG, es la aplicación Máster (LopaApp.gambas) y su log es Lora App.log en el que se puede apreciar las conexiones y los

datos que esta realiza al trabajar. Adicionalmente en la boya se instaló un Router inalámbrico WiFi, el que permite conectarse a la red interna de la boya sin tener que abrirla, mediante un terminal de Linux o la aplicación Putty (Windows).

En cuanto a las mediciones meteorológicas, se instaló en tierra una estación meteorológica marca Davis modelo Vantage Pro2 con conexión IP, que mide las variables meteorológicas de presión atmosférica, temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, humedad relativa del aire, precipitación, velocidad del viento y dirección del viento, la que se encuentra conectada vía cable a internet y puede ser visitada en [www.weatherlink.com/user/llaguepe](http://www.weatherlink.com/user/llaguepe) o en la plataforma [www.caletas.cl/sooaa](http://www.caletas.cl/sooaa). La estación fue ubicada dentro del perímetro que limita las oficina de la empresa, privilegiando las mediciones de viento Oeste, Norte y Este, sin embargo el viento Sur y sus variaciones no serán registradas correctamente, dado que existe una construcción cercana que le genera sombra.

Se deja constancia que dada la utilidad de la estación meteorológica y el gran apoyo brindado por Salmenes Multiexport, se está evaluando dejarla instalada en forma permanente, contribuyendo al sistema de observación de la región.

Se agradece la cooperación y apoyo de Salmenes Multiexport a través de la Srta Geysi X. Urrutia Garcés, Jefe Depto. de Gestión Ambiental, de la Srta María Teresa Castro C., Asistente técnico de Medio Ambiente, Gerencia Medio Ambiente, Concesiones y Certificaciones, al Sr. Sebastián Uribe y al Sr. Erich Boule Jefe del Centro Llaguepe.

### **Primera mantención**

Producto de fallas en la transmisión de datos desde la boya, el 5 de abril de 2018 se realizó una visita a la zona de Llagupe, para realizar un mantenimiento correctivo al prototipo oceanográfico. Para tal efecto se solicitó autorización a empresa Salmones Multiexport, lugar en que se encuentra instalado el equipamiento, objeto proceder a revisarlo.

- **Síntomas.**

Durante el proceso de recepción de datos, el sub-sistema boya comenzó a enviar un código “NR”. Dicho código corresponde a una falla de comunicación entre la raspberry de los sensores con la raspberry maestra.

- **Tareas emprendidas**

Dado que la falla detectada podría estar relacionada con los dispositivos raspberry (RPI) de las estaciones 1 y 2, o con una falla en los switch de comunicación, atribuido posiblemente al constante encendido y apagado de los dispositivos por falta de poder eléctrico continuos. Realizaron las siguientes acciones en terreno:

1. Reiniciar el sistema, para ello desconectar todo del sistema de poder eléctrico durante 5 minutos, para descargar todos los condensadores de las fuentes switching.
2. Conectarse a la red WiFi de la boya, y realizar ping a las RPI a las siguientes IP 192.168.0.10 para la RPI maestra, 192.168.0.11 y 12 para las estaciones de 5 y 10 metros, de no responder, verificar que sean las IPs correspondientes de los sensores,

en la RPI máster en el path `"/home/xavier/"` revisar archivo `.conf` con las IP de los sensores.

3. De no haber respuesta de la RPI maestra, el problema puede ser un switch de datos, en ese caso existen switch de respaldo dentro de la boya que podrían utilizarse.

- **Herramientas**

Para la realización de la tarea se contó con las siguientes herramientas:

- Multímetro (tester)
  - Cable UTP con conectores RJ45 para Internet.
  - Juego de llaves Allen,
  - Destornilladores finos (perillero)
  - Juego llaves de punta y corona milimétrica 8 a 14 mm
  - Máquina para conectores RJ45
  - Clavos tipo "punta" para abrir los sensores.
  - Cinta aislante
  - Un plástico grande para proteger circuitos.
- **Materiales.**
- Inversora cargador 24 V.
  - Dos baterías 12 V 100Ah
  - Cables para disponer baterías en configuración en serie (24V)
  - Enchufes macho y hembra para computadores.
  - 40 m cable UTP
  - 10 conectores RJ45
  - Swich 4 bocas
  - Grapas para madera cable UTP
  - Frasco de vaselina sólida para el sellado

- **Trabajo**

Se siguió el protocolo de trabajo y se logró hacer contacto con las dos estaciones, quedando normalizado su funcionamiento. Al regresar desde la boya a la estación base, se detectó que la estación N°2 había dejado de transmitir nuevamente, siendo imposible volver a la boya por el horario ya muy avanzado del día, decidiéndose dejarla desconectada.

Se reemplazó cable UTP entre la fuente de poder y el módulo kerlink de la antena receptora. Se conectó un swich al router de internet y luego por cable UTP la puerta data de la fuente de poder del módulo kerlink al swich objeto dejar el kerlink conectado por medio de chip telefónico 3G y como alternativa conexión Ethernet, objeto asegurar envío de datos.

- **Resultados**

- ✓ Se logró poner en funcionamiento la estación1 (5m)
- ✓ La estación2 (10m) quedó fuera de servicio.
- ✓ Se reemplazó cable UTP entre la fuente de poder y el módulo kerlink.
- ✓ Se conectó el swich al router de internet
- ✓ Se cableó la puerta data de la fuente de poder del módulo kerlink y el swich.
- ✓ Se conectó a Ethernet la estación base de kerlink

## **Segunda mantención**

El 25 de abril de 2018 se viaja nuevamente a la zona de Llaguepe región de Los lagos, para realizar otro mantenimiento correctivo al prototipo oceanográfico instalado en dependencias de la empresa de Salmones Multiexport.

El motivo de la visita en terreno, se debió a falla total de la estación de monitoreo.

- **Síntomas.**

Durante el proceso de recepción de datos, el sub-sistema boya comenzó a enviar código “NA”. Dicho código corresponde a sensores fuera de servicio. Dicho error además originó una caída de la base de datos al no estar considerado dicho código en la lista de posibles errores, situación que fue corregida inmediatamente.

- **Tareas emprendidas**

Dado que la falla fue total, se realizó una revisión completa de acuerdo a las siguientes tareas:

1. Verificación del funcionamiento del sistema eléctrico de acuerdo a lo siguiente:
  - a) Procedimiento de Conexión y monitoreo.

En primer lugar se debe conectar a la red WiFi que genera la boya, esta es “XAV-PUCV”, clave de red “xavier01”. Una vez conectado, enlazar la Raspberry Pi máster, que tiene IP 192.168.1.10. Desde Linux:

```
ssh pi@192.168.1.10  
Usuario: pi
```

Clave: raspberry

Verificar si el programa está corriendo Ps `-ef | grep gb`, que debe listar todos los procesos que tiene las gb como parte de la línea de comandos. Como resultado debiera arrojar al menos dos procesos, `RunWD.gambas` y `LoraApp.gambas`.

El primero es un Watchdog (perro guardián), que se preocupa de mantener la aplicación `LoraApp`, corriendo, sí por cualquier motivo esta se termina ya sea por error u otro motivo, `RunWD`, la vuelve a levantar.

Para ver el log de comunicaciones, se debe ejecutar el siguiente comando:

- `cd /home/pi/xavier`
- `tail -f LoraApp.log` ó `tail -f /home/pi/xavier/LoraApp.log`
- Para ver el contenido de un directorio se puede user el comando `ls`.

b) Verificación de los sensores:

Para verificar que los sensores estén funcionando, debe verificarse si las raspberry está corriendo con el comando `ping`:

- `ping 192.168.1.11` (profundidad 1)
- `ping 192.168.1.12` (profundidad 2)

Luego para conectarse se utilizará el mismo procedimiento que para el máster,

- `ssh pi@192.168.1.1x`
- Usuario : pi
- Clave: raspberry.

En ambos casos la aplicación se encuentra en `/home/pi/xavier`.

También se podrá verificar el funcionamiento desde la Raspberry Pi máster con el comando `telnet`

- `telnet 192.168.1.1x 8085`

Una vez abierto el canal digitar get y presionar “Enter”, debiendo aparecer un String tipo json con los datos del sensor y luego se cierra la comunicación.

c) Modificar la configuración del sistema.

Los únicos parámetros que se pueden modificar en el sistema son los relativos a la periodicidad de las lecturas, y las llaves de encriptación de los datos, esto se realiza en el equipo máster, en el directorio /home/pi/xavier el archivo LoraApp.conf y con el siguiente comando:

- o nano /home/pi/xavier/LoraApp.conf

- **Herramientas**

Para la realización de las tareas se contó con las siguientes herramientas:

- Multímetro (tester)
- Cable 2m utp con conectores RJ45 para internet.
- Juego de llaves Allen
- Destornilladores finos (perillero)
- Juego llaves de punta y corona milimétrica 8 a 14 mm
- Máquina para conectores rj45
- Clavos tipo "punta" para abrir los sensores.
- Cinta aislante
- Un plástico grande para proteger circuitos.

- **Materiales**

- 10 m cable utp
- 10 conectores RJ45
- Frasco de vaselina sólida para el sellado

- **Trabajo**

- Como primera actividad se procedió a verificar funcionamiento sistema de poder eléctrico detectándose que la unidad de carga e inversor estaba fuera de servicio. Se desconectó del sistema y se procedió a realizar un test simple, no detectándose ningún problema evidente, ni aroma a quemado, por lo que se decidió regresar a Puerto Montt y hacer uso de la garantía del producto. Al no tener energía eléctrica, fue imposible realizar otras tareas de verificación a la boya.

Se instaló un nuevo cargador/inversor, luego de lo cual, se procedió a verificar los test correspondientes a las Raspberry y sensores, logrando recuperar solamente la estación1.

La estación2, dado la imposibilidad de reemplazar sensores o de realización de otras pruebas en terreno, se decidió dejar sin operar.

Los registros a partir de las 17:00 hrs del día 27 de abril proporcionan información en tiempo real con mayor fiabilidad. Sin embargo, debido a que aparentemente los circuitos de la profundidad 2 fallaron, no fue posible de reactivar. En consideración que en ésta época del año (otoño-invierno) la producción de fitoplancton y zooplancton es relativamente alta, el registro de datos deriva progresivamente con la acumulación progresiva de biofouling.

En el plazo aproximado de un mes se procederá nuevamente a la limpieza de los sensores o a la retirada de la boya para realizar en tierra el mantenimiento general.

- **Resultados**

- ✓ Se detectó falla total del convertidor/cargador reemplazándose por uno nuevo, quedando operativo al 100%.
- ✓ Se logró hacer contacto con la estación N°1, la que reinició quedando en funcionamiento en forma normal. La estación N°2, quedo desconectada.

Los resultados obtenidos durante el tiempo de medición, se entregan como base de datos, anexa al presente informe.

### **Retiro de sensores**

Con fecha 25 de mayo se procedió al retiro del equipo de sensores oceanográficos y la antena de comunicaciones LoRa de las instalaciones de empresa de Salmones Multiexport (Lat. 41.7252976 S, Long 72.4984411 W), en Llaguepe, Región de los Lagos.

Para el retiro se contó con el apoyo de un buzo quien verificó que la línea estuviera libre de obstáculos para luego proceder a retirar el peso muerto que mantenía el anclaje fijo en su posición. Una vez retirado el peso, se desconectaron los sensores de la alimentación eléctrica y de comunicación, y comenzar a subir los sensores a la superficie. Durante el retiro se pudo observar gran cantidad de biofouling adherido a la cadena, incluyendo animales como pequeños pulpos. Los sensores se encontraban completamente cubiertos de algas impidiendo su buen desempeño (Figuras 70 y 71).



**Figura 70. Estado de sensores y equipos de la estación ubicada a 5m de profundidad en el momento de ser retirada.**



**Figura 71. Estado de sensores y equipos de la estación ubicada a 10 m de profundidad en el momento de ser retirada.**

### **Funcionamiento general del sistema prototipo**

Durante los primeros 30 días de funcionamiento, los sensores de la estación 1 (5m) mostraron un buen desempeño, sin embargo, posterior a ese periodo se apreciaron una serie de variaciones e inconsistencias, especialmente en el sensor de oxígeno disuelto. La estación 2 en cambio dejó de transmitir luego de 10 días de instalada.

En la estación 1, se observó una gran acumulación de biofouling sobre los sensores, lo que provocó el error detectado en las mediciones pasado los 30 días de funcionamiento. Respecto a la estación 2, si bien tenía biofouling acumulado, éste se encontraba notablemente en menor cantidad de la estación 1. Luego de desarmar los equipos para realizar lavado y limpieza, pudo verificarse que, probablemente debido a un error de diseño, había ingresado agua al interior de los sistemas electrónicos de los sensores de la estación 2, provocando los errores de medición y con ello afectado seriamente los resultados obtenidos.

En cuanto al sistema de comunicación habilitado entre la estación de monitoreo y la estación de recepción, se procedió al retiro de los equipos sin evidencias de efectos dañinos ocasionadas por el ambiente.

Se decidió dejar la estación meteorológica instalada en su actual ubicación, previo consentimiento de la empresa de Salmones Multiexport, teniendo así un punto de medición permanente. La estación no mostró defectos atribuibles al medio ambiente, manteniendo hasta la fecha un excelente comportamiento.

## **Observaciones finales**

Las pruebas realizadas con el prototipo, durante los dos meses de funcionamiento, permitieron definir los siguientes requisitos fundamentales para su integración a SOOAA:

- 1.- Asegurar una alimentación de energía eléctrica continua y estable, que permita una correcta comunicación entre las tarjetas controladoras y entre los sensores y las tarjetas controladoras. En algunos lugares se realizan sistemáticamente cortes de energía que afectan el adecuado funcionamiento de los sensores.
- 2.- El tiempo requerido para realizar el mantenimiento parcial o completo de una estación de monitoreo/boya depende de la accesibilidad al lugar de emplazamiento, la disponibilidad de embarcación y de las condiciones de apertura y cierre de puerto. Estas últimas no necesariamente dependen de las condiciones atmosféricas/oceanográficas locales.
- 3.- Es deseable que las estaciones de monitoreo cuenten con indicadores de alimentación de los sensores, dispongan de un alcance adecuado de la red WiFi que permita navegar dentro de los dispositivos de la boya a mayor distancia sin necesidad de conexión por cable, idealmente utilizando el enlace LoRa.
- 4.- Realizar pruebas para chequear la reacción de las diferentes partes del prototipo, verificar el efecto de la presión del agua sobre los sensores y sistemas estancos, dejando un margen de seguridad de un 20% sobre lo que indica en fabricante.
- 5.- Seleccionar dispositivos robustos, idealmente resistentes a golpes.

6.- Debido a la gran agresividad del biofouling, se sugiere realizar una mantención/limpieza mensual de los sensores, reduciendo este tiempo a la mitad durante los periodos de máxima productividad biológica, principalmente en los sensores más superficiales.

7.- Respecto al diseño del sistema de transmisión de datos, se consideraron tres soluciones: celular, LPWAN y satelital. Se propone como primera alternativa el uso de red 3G/LTE, y en zonas donde esta no se encuentra disponible usar la tecnología LPWAN, dejando como última alternativa la comunicación satelital, debido a su alto costo. Una parte importante de los criterios de selección del sistema de comunicación corresponde a la obligatoriedad de contemplar a lo menos un 90% de datos recuperados.

## **10.5. Diseñar e implementar un sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos obtenidos del sistema de monitoreo en línea.**

En esta sección se presenta el diseño detallado del sistema de captura de variables de monitoreo, de transmisión, recepción y de almacenamiento y despliegue de los datos enviados por las Estaciones de Monitoreo integradas a la plataforma SOOAA.

### **10.5.1. Transmisión de datos**

Desde el punto de vista de la modularidad mecánica de una estación de monitoreo, la problemática se dividió en 3 módulos:

- ✓ Módulo de comunicaciones y energía.
- ✓ Estructura de soporte.
- ✓ Elementos sensores.
- **Módulo de comunicaciones y energía**

Se trata de un contenedor hermético con protección IP68, capaz de resistir el oleaje y quedar completamente cubierto de agua. Se estima que una protección del tipo IP68 para una profundidad de 1 m será suficiente para cumplir con este objetivo del Proyecto.

Dentro del contenedor existirá una estructura mecánica a la que se denominará genéricamente “rack”, pero que en este documento no se especifica, ya que su naturaleza dependerá del tipo de solución final que se quiera implementar. Se propone que por la base

del contenedor aparezca un conjunto de conectores submarinos estándar, a los que se conectarán los respectivos elementos sensores.

El módulo de comunicaciones tendrá como principal objetivo actuar como un concentrador de los datos provenientes de los distintos sensores y generar las comunicaciones con la estación base, la que, dependiendo de las facilidades de comunicación, podrá ser satelital, 3G/LTE, IOT (LoRa) u otra.

Adicionalmente, se propone que dentro del módulo se encuentre el sistema administrador de energía. Se propone que se utilice 12 o 24 VDC y que este potencial se baje al potencial adecuado para cada elemento sensor como parte de la integración que se debe hacer. También se propone que se utilice el mismo cable de datos para transmitir la energía a los elementos sensores, mediante un par de los conductores disponibles en el cable de datos destinado a la energía, V+, V-. En algunos casos de comunicación, a esta técnica para transmitir energía se le denomina PoE (Power over Ethernet) pasivo.

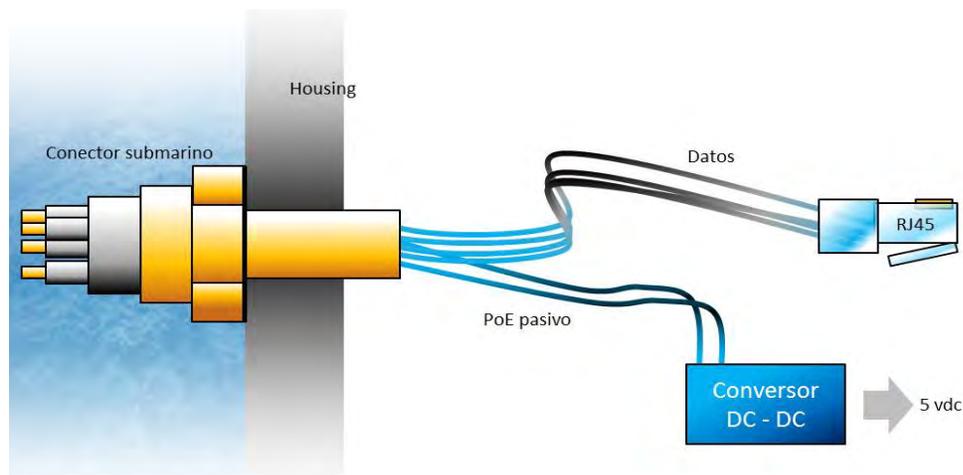
Se propone, además, que los datos se transmitan dentro de una red LAN de par trenzado desde los sensores hasta el módulo de comunicaciones y energía.

- **Estructura de soporte**

En términos generales, la estructura de soporte es el objeto que sostendrá al módulo de comunicaciones y energía, el cual podría tratarse de una boya, un pontón, una estación de monitoreo en tierra, etc.

- **Elementos sensores**

En esta sección definiremos al elemento sensor, como el contenedor que tiene integrado el sensor respectivo (Figura 70) a la lógica de comunicaciones interna de la estación de monitoreo (LAN) y también su sistema de energía (PoE pasivo adaptado desde los 12 o 24 VDC).



**Figura 72. Diagrama del conector de comunicaciones (LAN)**

Las características de este contenedor deberán responder a las condiciones ambientales a las que se instale el sensor respectivo (bajo el agua o en la superficie). Si se instala bajo el agua, deberá tener una protección de tipo IP68 dimensionado para la profundidad a la que se ubicará.

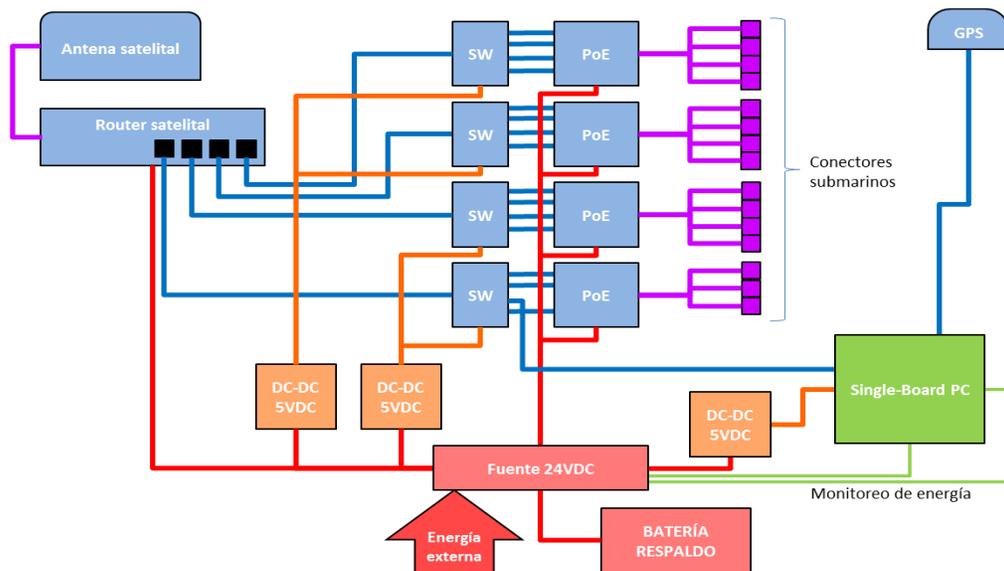
### **10.5.2. Componentes eléctricos y electrónicos**

Son los componentes que formarán parte del módulo de comunicaciones y energía.

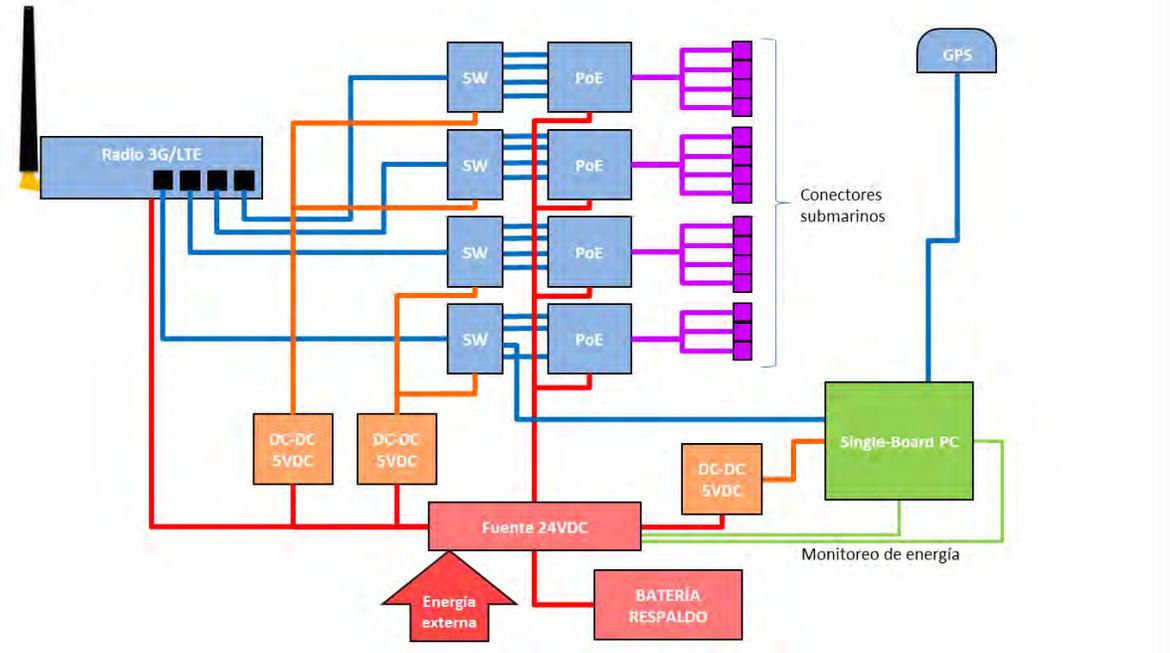
En los siguientes esquemas (Figuras 71, 72 y 73), se presentan las propuestas de solución para cada uno de los sistemas de comunicación expuestos anteriormente.

El módulo de administración de energía se divide en:

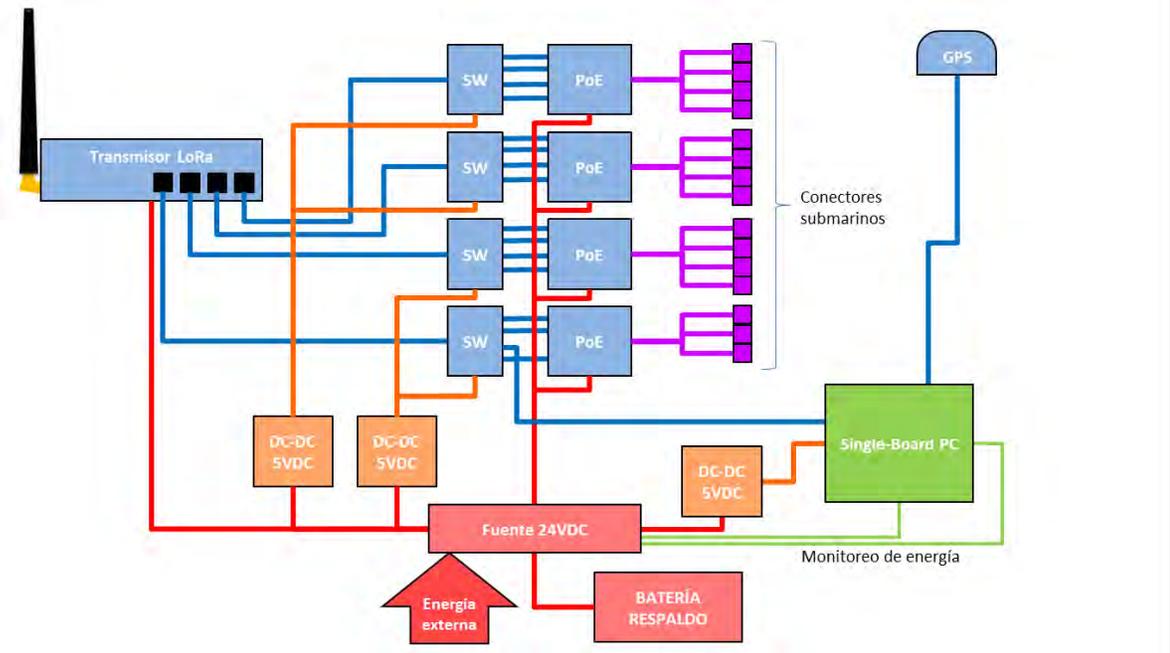
- ✓ Fuente de poder
- ✓ Energía externa
- ✓ Batería de respaldo



**Figura 73. Diagrama de solución satelital para sistema de comunicación.**



**Figura 74. Diagrama de solución 3G/LTE para sistema de comunicación**



**Figura 75. Diagrama de solución LoRa para sistema de comunicación**

Para saber qué solución se debe utilizar se deben tener en cuenta las coberturas de señal en la región. Debido a las ventajas presentadas es que se le dará prioridad a la solución mediante 3G/LTE para los sistemas de comunicación. Si debido a la ubicación no es posible usar la primera solución se procederá a utilizar la solución LoRa, dejando como última alternativa la solución satelital. La cobertura de señal celular de distintas compañías telefónicas se presenta en el Anexo 14.5.

### **10.5.3. Recepción, almacenamiento y despliegue de datos**

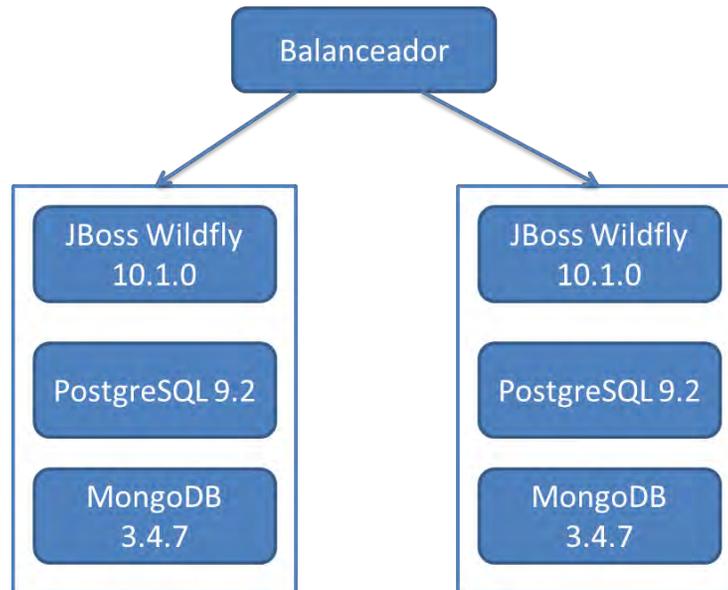
El sistema propuesto satisface los requerimientos de escalabilidad y alta demanda y tolerancia a fallos necesarios para el funcionamiento en línea e ininterrumpido de la solución. Por otra parte, se ha optado por software base de tipo Open Source cuyas licencias permiten su implementación a bajo costo. La solución completa puede funcionar en una plataforma abierta y gratuita. Esto además asegura que los productos desarrollados puedan ser mantenidos en el tiempo a bajo costo, dada la alta disponibilidad de personal capacitado en las tecnologías (abiertas) propuestas.

#### **10.5.3.1. Arquitectura propuesta**

Se propone la implementación de un clúster de dos servidores, cada uno de ellos con el stack completo del software base (Figura 74).

La solución propuesta se basa en dos tipos de motores de base de datos. En primer lugar, para los datos estructurados (estaciones, variables, usuarios, estadísticas de uso, etc.) se propone un motor relacional como PostgreSQL (9.2), el que provee las prestaciones necesarias para la

solución propuesta. Para efectos de la solución, un equivalente gratuito como MySQL o licenciado como Oracle o SQL Server satisface el mismo propósito y podrían reemplazarse en la solución final.



**Figura 76. Arquitectura de Software de Backend**

Para el almacenamiento de los valores de las variables monitoreadas, se propone el uso de un motor no estructurado, especializado en BigData, como MongoDB.

Tanto los servidores PostgreSQL como los servidores MongoDB deben estar replicados entre ellos formando un clúster, de tal forma que los servidores de aplicaciones (Wildfly 10.1.0) accedan a ellos como unidad. Los cambios realizados en un servidor de base de datos deben ser replicados a su par en el otro servidor. De esta forma, se asegura la tolerancia a fallos.

Se propone el desarrollo de una aplicación JEE para la implementación del software de captura, almacenamiento y monitoreo. Se recomienda que esta aplicación se desarrolle con

un diseño de tipo stateless, lo que permite aprovechar eficientemente los recursos del servidor, ya que no se requiere replicación de estado para soportar fail-over.

En las secciones siguientes de este documento se explica en detalle las interacciones de los diferentes componentes del software base y la arquitectura acá propuesta.

### **10.5.3.2. Capa de datos**

Como antes se mencionó, se propone la utilización de un modelo relacional para la persistencia de los datos estructurados y, en paralelo, un repositorio documental tipo BigData para los valores informados por las estaciones para sus variables.

El modelo relacional debe almacenar la información de las estaciones integradas a la plataforma SOOAA y las variables que cada una de ellas monitorea. Las variables son compartidas entre las diferentes estaciones, pero cada estación debe monitorear sólo un subconjunto de ellas, dependiendo de su tipo (boya oceanográfica, estación meteorológica, etc.).

Cada estación de monitoreo se identifica por un código único y una contraseña de carga de datos. Las estaciones deben enviar estos datos para identificarse en el servidor cada vez que envían un registro de valores de sus variables. Las Variables se identifican por un código único y un nombre. Tienen asociada una unidad de medida. Las estaciones declaran el conjunto de variables que monitorean.

Al momento de enviarse los valores desde las estaciones, el registro enviado debe referenciar a los códigos de las variables para los que se envían valores. Los valores de las variables

monitoreadas se almacenan en colecciones MongoDB (equivalentes a tablas de un modelo relacional, pero sin asociaciones entre ellas y con estructura de campos variable).

El Portal de Administración de SOOAA es el software que ofrece a los administradores las interfaces de usuario y servicios de configuración de la información de estaciones y variables. Cada vez que un usuario administrador agrega una nueva estación a la plataforma, los servicios (capa de servicios ejecutándose en el servidor de aplicaciones) se encarga de crear automáticamente una nueva colección MongoDB cuyo nombre es el código de la estación. La colección se indexa por un campo llamado “tiempo”, el que almacenará en formato de milisegundos UTC (para evitar problemas de zonas horarias) el momento de la captura de los valores de cada registro.

Debido a que una colección MongoDB no requiere una estructura fija para sus campos, cada registro puede contener valores para variables diferentes a las anteriores. Esto permite que a una misma estación se le puedan agregar o quitar variables (sensores) en el tiempo.

### **10.5.3.3. Capa de Servicios**

Las funciones principales de la capa de servicios del Sistema de Captura, Almacenamiento y Monitoreo de SOAA corresponden a la implementación de la lógica de las funciones de perfilamiento y seguridad, accesos a datos para inserciones y consultas y la implementación de un modelo de alertas.

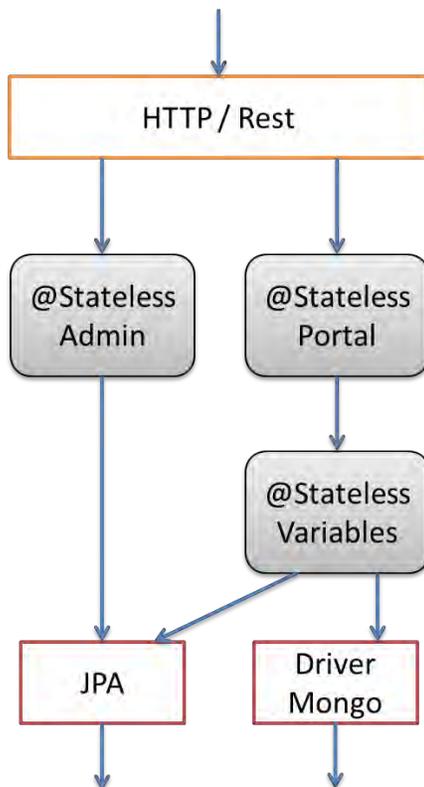
Se propone el diseño de un sistema de tipo Stateless, en donde cada invocación a servicios no requiere el almacenamiento de sesiones (en memoria) del servidor, lo que aumenta considerablemente la escalabilidad y soporte concurrente de una gran cantidad de usuarios.

De acuerdo a la arquitectura antes propuesta, la implementación de los servicios se realiza mediante el uso de componentes de tipo EJB Stateless de Java EE 7. Los servicios construidos como métodos de estas clases son expuestos de acuerdo a las APIs que se requieran, según los clientes que las consuman. En particular, para el caso implementado como prototipo, se exponen los servicios mediante APIs HTTP / REST con serialización de objetos JSON, tanto para los portales de administración y consulta, como para los servicios de captura de valores desde las estaciones.

Los EJB que implementan los servicios utilizan además los servicios de datos de las capas inferiores. En particular, se utiliza el API JPA (Estándar de Java EE 7) para acceso Orientado a Objetos al modelo relacional y el driver Java para Mongo DB.

Los servicios de Variables no se exponen directamente al API Rest, sino que son utilizados desde un EJB especializado en formateo de los datos para el Portal web. De la misma forma, como más adelante se explica, la importación de valores desde las estaciones (Captura) se diseña como especializaciones de acuerdo a los protocolos de comunicación para los que se diseñen “Escuchadores”. Este enfoque de diseño permite que se puedan acoplar en el tiempo diferentes APIs de escucha de los valores informados por las estaciones de monitoreo.

La Figura 75 muestra un esquema del diseño y las dependencias entre los EJB implementados en el prototipo que acompaña este informe.



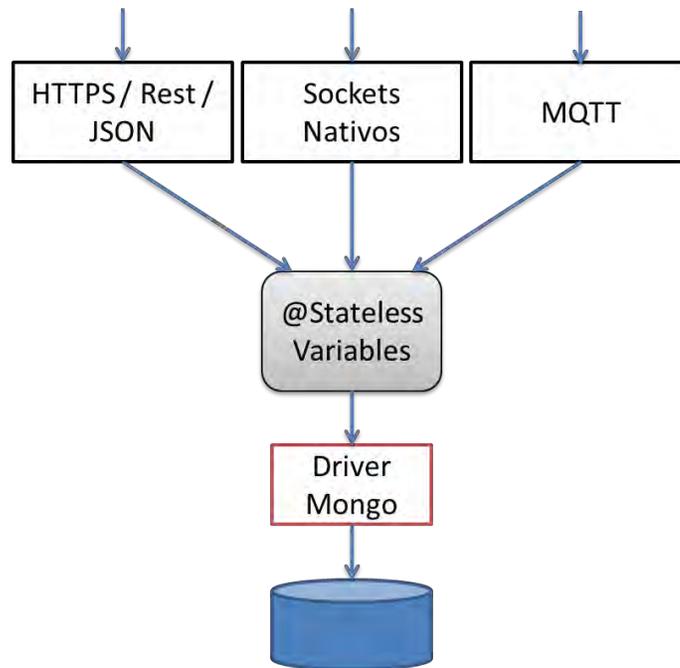
**Figura 77. Diseño de Capa de Servicios**

#### **10.5.3.4. Captura de Datos**

Es responsabilidad de las Estaciones de Monitoreo almacenar temporalmente los datos hasta que éstos logren ser transmitidos hacia el servidor (clúster) central. Se propone un diseño de la captura de datos que permite agregar nuevos protocolos sin afectar a los existentes. Esto permite integrar nuevas tecnologías que puedan aparecer en el corto o mediano plazo, y que

sean más eficientes o fáciles de implementar para las condiciones de monitoreo de este sistema.

Este tipo de diseño se puede conseguir desacoplando las funcionalidades de recepción de los datos con las de almacenamiento. Para ello se ha diseñado el EJB “Variables” con los servicios finales de inserción de un registro de monitoreo, el que contiene los datos de tiempo y valores de variables (sensores) para una estación. Este EJB (Variables) no conoce acerca de protocolos de comunicación, él sólo expone sus servicios de inserción a capas superiores, las que finalmente implementan el protocolo, transforman los datos (JSON a Java, por ejemplo) y terminan invocando localmente los servicios del EJB especializado en Variables. La Figura 76 muestra un esquema de estas dependencias.



**Figura 78. Múltiples Protocolos de Captura.**

En el caso del prototipo entregado, se implementa el protocolo HTTP a través de un Servlet Java denominado HTTPReceiver, el que interpreta un Content-Type del tipo “application/json”.

El formato del objeto JSON esperado por este receiver es:

```
{estacion:"codigoEstacion", tiempo:9999, pwd:"ContraseñaCarga", cod_var1:99.99, cod_var2:99.99, ...}
```

Como antes se mencionó, el tiempo es enviado como milisegundos UTC, para independizar la zona horaria y posibles cambios de esta zona en los próximos años. El código de la estación y la contraseña son definidos por los administradores del sistema, utilizando el Portal de Administración.

Por cada una de las variables asociadas a la estación (o boya) usando el mismo Portal, el registro de valores de monitores puede incluir el código de la variable y su valor para el tiempo informado. No es obligatorio que se envíen los valores de todas las variables en cada conexión. Esto permite que algunos sensores sean “despertados” a intervalos mayores que otros, por ejemplo, para ahorrar energía.

El servicio de inserción del registro en la colección MongoDB asociada a la estación primero valida la contraseña recibida y luego se asegura que cada variable enviada está en la lista configurada para esa estación. El registro insertado (como documento BSON) en la colección contiene el campo “tiempo” y los códigos de las variables como nombres de campo para cada uno de los valores recibidos.

Los servicios de consulta de valores para la estación están implementados en el mismo EJB “Variables”, el que mantiene las conexiones al servidor MongoDB. Las colecciones asociadas a las estaciones son indexadas por tiempo, por lo que las consultas son óptimas, entregando tiempos de respuesta que permiten asegurar que el sistema soportará una alta demanda de usuarios concurrentes.

#### **10.5.3.5. Capa de Presentación**

El diseño del sistema es de tipo Stateless no sólo en la capa de servicios, sino que además en la capa de presentación. Esto significa que el sistema no mantiene en memoria sesiones de usuario, lo que permite incrementar considerablemente la escalabilidad en un ambiente de alta demanda.

La capa de presentación está implementada como un componente WAR de Java EE 7, el que permite a los navegadores cliente descargar las páginas HTML / Javascript, que son las que finalmente quedan ejecutándose en el navegador e interactuando con el servidor mediante invocaciones AJAX a los servicios expuestos de los EJB “Admin” y “Portal”.

Los servicios se exponen a la capa de presentación usando un protocolo HTTP(s) / REST, mediante serialización de objetos JSON. Este enfoque es acorde a las tecnologías de APIs actuales, lo que permite facilitar las integraciones y las futuras mantenciones al código.

Al igual que las funcionalidades de captura desde las estaciones, existe una separación entre el protocolo de publicación de las APIs y la implementación final de los servicios, lo que

permite que los mismos servicios puedan ser aprovechados (consumidos) luego implementando otras APIs de integración.

El prototipo entregado acá ofrece un Portal de Administración y uno de Consultas. Ambos portales usan páginas HTML con Javascript y se basan en JQuery para implementar el comportamiento dinámico.

Se ha utilizado además las bibliotecas gratuitas de Open Layers 4, para el despliegue de mapas y flot para la visualización de las series de tiempo.

Cabe destacar que el diseño propuesto e implementado en el prototipo se basa en que el servidor de aplicaciones sólo ofrece los recursos descargables (HTTP GET) para el navegador (páginas HTML, código Javascript, imágenes) y es este último quien se encarga del “pintado” y comportamiento dinámico de las páginas. Este enfoque libera al servidor de las responsabilidades de generación de las páginas web, lo que mejora aún más el comportamiento de éste en un ambiente de alta demanda.

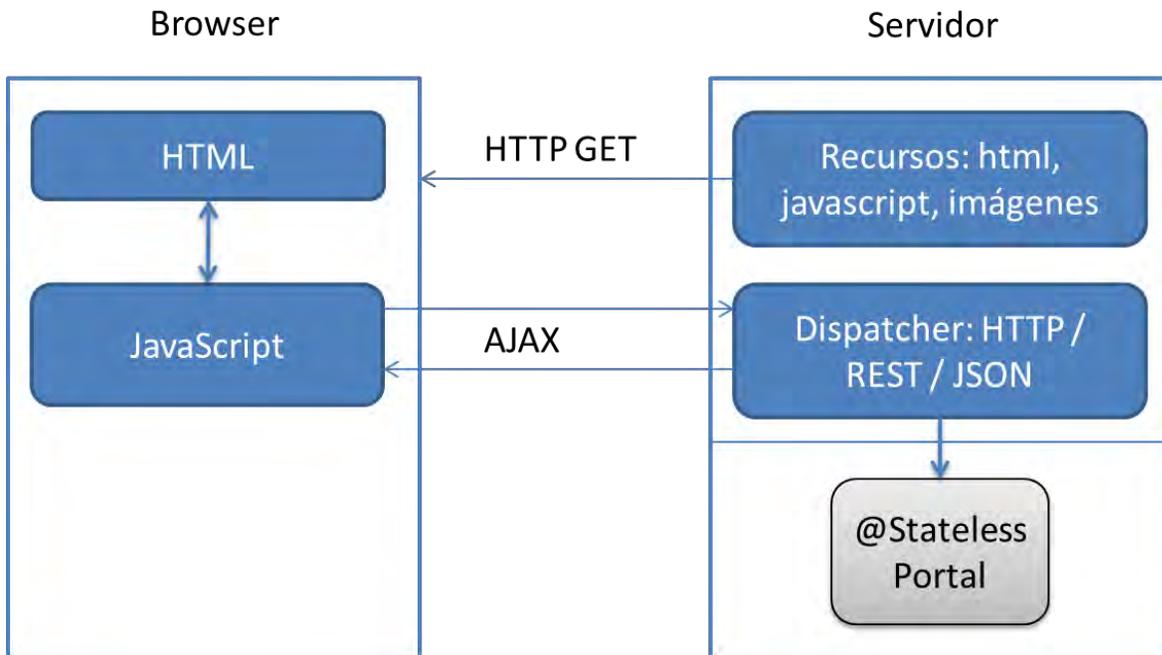
La Figura 77 muestra un esquema de las interacciones entre los Portales Web y el servidor.

La interacción comienza al apuntar el navegador al sitio de uno de los portales. Esto inicia una comunicación HTTP GET entre el browser y el servidor, que termina con la descarga de la página HTML de la URL enviada, sus Javascript referenciados, imágenes, etc.

El control de la aplicación lo toma el browser, respondiendo a eventos del usuario (selección de una estación en el mapa, por ejemplo). El navegador, en respuesta a los eventos del usuario, ejecuta invocaciones asíncronas (AJAX) al servidor, el que responde con los

resultados entregados finalmente por el EJB Portal (o el EJB que se asocie a los servicios solicitados en el Dispatcher).

Finalmente el navegador actualiza la página con los datos obtenidos desde el servidor, por ejemplo, despliega una serie de tiempo con los datos de una variable entregados por el servidor.



**Figura 79. Diseño Capa de Presentación**

#### **10.5.4. Implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos prototipo.**

Existen varios protocolos y mecanismos de comunicación involucrados en la transmisión y recepción de los datos desde la boya oceanográfica y la estación meteorológica hasta el servidor central. En esta sección se detallan estos protocolos y los procesos asociados a la transmisión y recepción de esos datos.

##### **Configuración y distribución de componentes**

La boya oceanográfica se encuentra separada unos 400 metros de la caseta que aloja el Gateway LoRa y la estación meteorológica. La caseta cuenta con alimentación de energía y conexión a internet mediante red celular y Ethernet.

- Estación meteorológica

La transmisión de los datos desde la estación meteorológica es parte de los servicios que ofrece el proveedor (Davis). Las estaciones de este tipo incluyen el servicio de transmisión periódica de los datos capturados hacia un servidor administrado por el mismo proveedor del servicio. La transmisión se realiza mediante una conexión desde la misma estación a internet por medio de red Ethernet, aunque de no existir señal Ethernet, es posible conectar la estación utilizando un módem, y en el peor de los casos puede llevarse la señal a una antena LoRa por medio de una integración Raspberry Pi, la que puede llevar la señal a la estación base, quien finalmente ingresa los datos a internet.

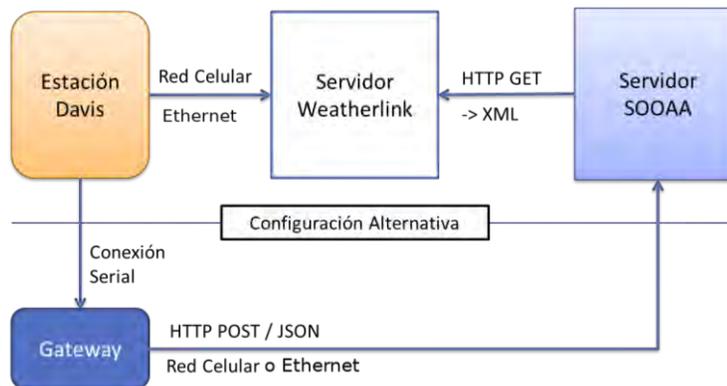
Los datos de la estación son alojados inicialmente en el servidor de: <http://www.weatherlink.com>. Usando el nombre de la estación y la contraseña provista por el fabricante, el servidor de SOOAA consulta periódicamente al servidor del fabricante para extraer las últimas mediciones. Las mediciones son expuestas por el fabricante en formato XML, accesible mediante requests HTTP de tipo GET: <http://www.weatherlink.com/xml.php?user=llaguepe&pass=pwd>

A continuación se muestra un ejemplo del XML que se expone:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<current_observation xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" version="1.0"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="https://s3.amazonaws.com/static.weatherlink.com/noaa_davis_current_observation.xsd">
  <credit>Davis Instruments Corp.</credit>
  <credit_URL>http://www.davisnet.com/</credit_URL>
  <image>
    <url>
      http://www.weatherlink.com/images/Logo_Davis_reflxblu.jpg
    </url>
    <title>Davis WeatherLink</title>
    <link>http://www.weatherlink.com</link>
  </image>
  <suggested_pickup>15 minutes after the hour</suggested_pickup>
  <suggested_pickup_period>60</suggested_pickup_period>
  <dewpoint_c>10.6</dewpoint_c>
  <dewpoint_f>51</dewpoint_f>
  <dewpoint_string>51 F (10.6 C)</dewpoint_string>
  <heat_index_c>11.7</heat_index_c>
  <heat_index_f>53</heat_index_f>
  <heat_index_string>53 F (11.7 C)</heat_index_string>
  <latitude>-41.7252976</latitude>
  <location>Estuario Reloncavi, Region Los Lagos,</location>
  <longitude>-72.4984411</longitude>
  <observation_time>Last Updated on May 10 2018, 9:42 am -03</observation_time>
  <observation_time_rfc822>Thu, 10 May 2018 09:42:33 -0300</observation_time_rfc822>
  <pressure_in>30.177</pressure_in>
  <pressure_mb>1021.9</pressure_mb>
  <pressure_string>1021.9 mb</pressure_string>
  <relative_humidity>95</relative_humidity>
  <station_id>llaguepe</station_id>
  <temp_c>11.4</temp_c>
  <temp_f>52.6</temp_f>
  <temperature_string>52.6 F (11.4 C)</temperature_string>
  <wind_degrees>244</wind_degrees>
  <wind_dir>Southwest</wind_dir>
  <wind_kt>2</wind_kt>
  <wind_mph>2</wind_mph>
  <windchill_c>11.7</windchill_c>
  <windchill_f>53</windchill_f>
  <windchill_string>53 F (11.7 C)</windchill_string>
  <davis_current_observation version="1.0">
    <observation_age>58</observation_age>
    <dewpoint_day_high_f>51</dewpoint_day_high_f>
    <dewpoint_day_high_time>12:00am</dewpoint_day_high_time>
    <dewpoint_day_low_f>51</dewpoint_day_low_f>
    <dewpoint_day_low_time>12:00am</dewpoint_day_low_time>
    <dewpoint_month_high_f>55</dewpoint_month_high_f>
    <dewpoint_month_low_f>35</dewpoint_month_low_f>
    <dewpoint_year_high_f>62</dewpoint_year_high_f>
    <dewpoint_year_low_f>34</dewpoint_year_low_f>
    <heat_index_day_high_f>53</heat_index_day_high_f>
    <heat_index_day_high_time>12:00am</heat_index_day_high_time>
    <heat_index_month_high_f>62</heat_index_month_high_f>
    <heat_index_year_high_f>68</heat_index_year_high_f>
    <pressure_day_high_in>30.177</pressure_day_high_in>
    <pressure_day_high_time>9:39am</pressure_day_high_time>
    <pressure_day_low_in>30.108</pressure_day_low_in>
    <pressure_day_low_time>5:29am</pressure_day_low_time>
    <pressure_month_high_in>30.186</pressure_month_high_in>
    <pressure_month_low_in>29.818</pressure_month_low_in>
    <pressure_tendency_string>Rising Slowly</pressure_tendency_string>
    <pressure_year_high_in>30.374</pressure_year_high_in>
    <pressure_year_low_in>29.4</pressure_year_low_in>
    <rain_day_in>0.0000</rain_day_in>
    <rain_month_in>2.1654</rain_month_in>
    <rain_rate_day_high_in_per_hr>0.0000</rain_rate_day_high_in_per_hr>
    <rain_rate_hour_high_in_per_hr>0.0000</rain_rate_hour_high_in_per_hr>
    <rain_rate_in_per_hr>0.0000</rain_rate_in_per_hr>
    <rain_rate_month_high_in_per_hr>3.5984</rain_rate_month_high_in_per_hr>
    <rain_rate_year_high_in_per_hr>4.882</rain_rate_year_high_in_per_hr>
```

Como configuración alternativa, si no se desea depender de los servidores del proveedor de las estaciones, se puede fácilmente diseñar un Gateway que extraiga los datos desde la estación mediante las salidas seriales o incluso comunicaciones RFI de corta distancia (comparadas con LoRa) y las publique directamente al servidor SOOAA (Figura 78). Este sistema alternativo es el que está en uso para el prototipo.

Actualmente, los datos se pueden observar además en la plataforma de SOOAA: <http://www.caletas.cl/sooaa/>.

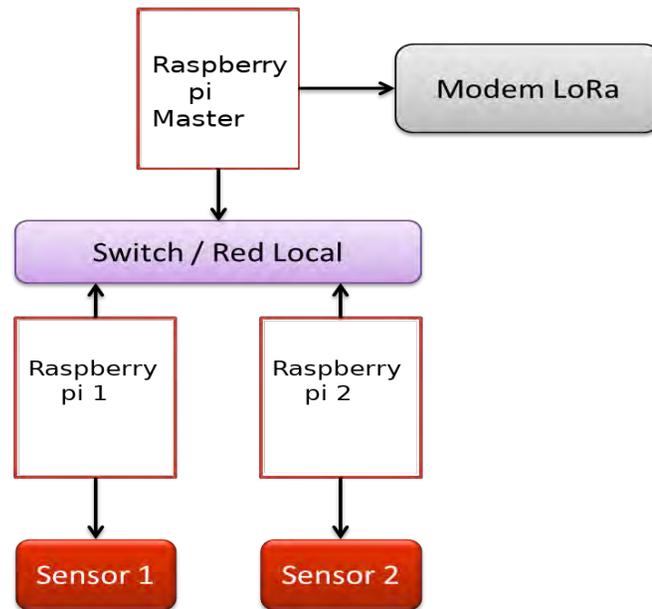


**Figura 80. Esquema de configuración alternativa de comunicaciones de la estación meteorológica.**

- Boya oceanográfica

La boya usada como prototipo cuenta con dos conjuntos de sensores, cada uno de ellos interrogado por un microcomputador Raspberry PI 3, mediante protocolos seriales y nativos. La boya cuenta además con un switch para configurar una red local (LAN). Existe un tercer microcomputador Raspberry PI que se encarga de coordinar a través de la LAN a los otros

dos, interrogándolos periódicamente y transmitiendo los valores de los sensores mediante al Modem LoRa al Gateway (Figura 79).

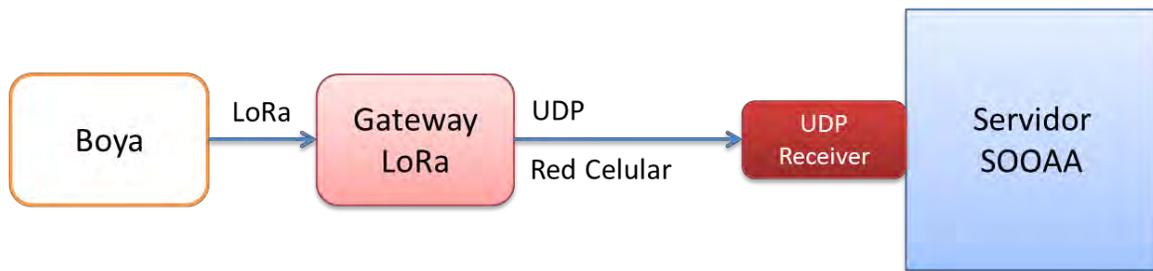


**Figura 81. Esquema de la configuración básica de los componentes al interior de la boya:**

El switch utilizado además, ofrece funciones de router WiFi, lo que permite configurar el equipamiento sin necesidad de abrir la boya, a una distancia cercana.

En la configuración del prototipo, la boya se encuentra a una distancia aproximada de 400m de la caseta con el Gateway de transmisión. La comunicación entre la boya y el Gateway es a través del protocolo LoRa (Figura 80).

La ventaja del protocolo LoRa utilizado es que permite distancias muy superiores a otras alternativas, alcanzando las decenas de kilómetros si se cuenta con una línea de visibilidad adecuada entre la boya (modem) y la antena del Gateway.



**Figura 82. Esquema de las comunicaciones entre la boya y el servidor central SOOAA, pasando a través del Gateway LoRa.**

El Gateway LoRa actúa como un concentrador de la información enviada desde las boyas conectadas a la WAN. En el caso del prototipo sólo hay una boya transmitiendo, pero esta configuración permite varias decenas de emisores de datos de la WAN LoRa (hasta 65.000).

El Gateway incluye una antena para la recepción LoRa y un microcomputador Raspberry Pi3, el que se encuentra conectado a Internet mediante un chip de celular. La boya envía periódicamente los valores de los sensores al Gateway, el que se encarga de crear un paquete UDP y transmitirlo al servidor SOOAA. En el servidor existe un componente encargado de escuchar por la llegada de paquetes UDP, identificar al emisor (código único del modem LoRa que inició la transmisión) y traspararlo a los componentes de software encargados de insertarlos en la base de datos MongoDB.

Los riesgos y problemas encontrados en los aspectos de comunicación de la boya son:

- Problemas de comunicación al interior de la boya: Debido a problemas de alimentación de energía (por disponibilidad) algunos componentes internos (sensores) han dejado de transmitir sus datos al microcomputador coordinador de la boya. En estos casos, este coordinador sigue funcionando y enviando los datos del

otro sensor. En algunos casos extremos, se han enviado paquetes vacíos, porque no se ha podido obtener lecturas de ninguno de los sensores.

- No ha existido mayores problemas de comunicación entre la boya y el Gateway. La comunicación LoRa ha funcionado sin problemas.
- La ubicación del o los gateways finales deben considerar la visibilidad desde la antena hacia las boyas, la alimentación de energía (los módems LoRa son de bajo consumo, sin embargo, la antena receptora necesita una alimentación considerable y constante) y una buena calidad de recepción de la red celular o algún otro tipo de conexión constante a internet.

**10.6. Elaborar un protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo propuesto, así como también evaluar los distintos escenarios desde el punto de vista administrativo y operativo de los sistemas, incluyendo la valorización económica.**

EL Sistema de Observación (monitoreo ambiental) continuo y en línea, **se proyecta como un instrumento de valor estratégico para la gestión ambiental por parte de la Acuicultura.**

Las redes integradas para la vigilancia, monitoreo y diagnóstico oportuno del ambiente, es esencial para lograr una adecuada preparación/prevención ante situaciones de emergencia.

El Artículo 87 ter de la Ley N° 18.892, de 1989, y sus modificaciones como Ley General de Pesca y Acuicultura señala que: “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”.

Debido a que las variables a monitorear mencionadas por la ley, no son todas las necesarias, es que el sistema propuesto tiene la capacidad de agregar o quitar variables y/o sensores de acuerdo a las necesidades y a los cambios que puedan producirse en cuanto a tecnologías de sensores. En tal sentido para lograr un proceso mediante el cual se asegure la observación del medio ambiente marino, la transmisión de los datos, el acopio de los mismos, su procesamiento y finalmente obtener información confiable y oportuna, no es una tarea fácil. A lo anterior se debe sumar que el costo de un sistema de monitoreo de las características que

propone este Proyecto es alto, debido al número de estaciones de monitoreo requeridas. Es por esto que lograr generar una metodología a través de la cual, se reúna, observe, estudie y emplee información destinada a proteger/gestionar el medioambiente marino, requiere necesariamente responder previamente preguntas como: ¿Cómo asegurar la calidad de los datos?, ¿Qué hacer con los datos? ¿Cómo obtener información útil de ellos?, ¿Cómo administrarlos? o ¿Quién tendrá la responsabilidad de protegerlos? Por lo tanto, para asegurar el buen funcionamiento de SOOAA, se analizaron posibles escenarios administrativos y operativos. Las normativas a seguir deberán estar enmarcadas dentro del sistema administrativo elegido, que cumpla con los estándares de calidad y factibilidad necesarios. Además, se describen una serie de protocolos que se deben seguir. Estos protocolos describen las consideraciones y restricciones que tendrán la instalación, mantención y calibración del sistema completo, y servirán para estandarizar los diferentes componentes, de manera que se pueda asegurar la validez de las diferentes mediciones.

#### **10.6.1. Propuesta de Administración de SOOAA**

La obtención de grandes volúmenes de datos en línea, no será útil si no se posee la capacidad de analizarlos y obtener información de éstos. Lograr minimizar los costos de instalación y luego la operación y mantenimiento, requiere establecer un sistema de monitoreo sectorizado y específico, sin embargo, dada la exigencia de la Ley recae en las agrupaciones de concesiones acuícolas la responsabilidad de instalar y mantener un sistema de monitoreo oceanográfico ambiental en línea el que, dado el alto costo del equipamiento y su instalación, se sugiere implementar paulatinamente (en etapas) en un periodo de 10 años.

Para implementar SOOAA, se requiere de un sistema administrativo robusto por lo que se sugieren dos aproximaciones, una apegada a la letra de la ley dejando toda la responsabilidad del monitoreo a las asociaciones de acuicultores en cuyo caso, el almacenamiento y manipulación de los datos sería un punto crítico en el diseño administrativo, pues se debe considerar un agente externo administrador de los datos y otro que fiscalice el trabajo de instalación, mantención y calibración. La segunda propuesta considera la creación de una Institucionalidad encargada de realizar todo el proceso desde la instalación de las estaciones de monitoreo hasta la entrega de información útil para la toma de decisiones, su mayor debilidad corresponde al mecanismo de financiamiento, sin embargo posee la fortaleza de poder administrar todo el sistema de monitoreo pudiendo acceder con mayor eficiencia a la resolución de fallas y optimización de procesos, además de una reducción en los costos de operación. De todas maneras, en ambas propuestas se requiere un financiamiento compartido entre los privados y el estado.

1. Alternativa administrativa N°1: Responsabilizar del monitoreo a las Agrupaciones de Concesiones Acuícolas, dejando el almacenamiento del dato, el proceso y obtención de información útil para la toma de decisiones al Estado, representado por la SUBPESCA y la Certificación de la calidad de los procesos al SERNAPESCA D.S.N° 15 (Figura 81).

Esta alternativa se ajusta bastante a la letra de la Ley General de Pesca y Acuicultura, ya que serían las mismas agrupaciones de concesionarios acuícolas las encargadas de la adquisición, instalación, mantenimiento, calibración y comunicación de monitoreo en línea siguiendo los

estándares definidos en el punto 10.6.2, 10.6.3 y 10.6.4 del presente informe. Además, será de su responsabilidad contratar al personal técnico adecuado o subcontratación de servicios para las diferentes tareas de instalación, mantención y calibración, este personal o subcontrata deberá contar con la certificación correspondiente según el reglamento de registro de personas acreditadas para elaborar los instrumentos de evaluación ambiental y sanitaria y las certificaciones exigidas por la Ley General de Pesca y Acuicultura y sus reglamentos.

Las tareas que realice este personal serán fiscalizadas sin previo aviso al menos 2 veces al año por esta entidad fiscalizadora. La fiscalización se basará en la revisión de los registros de mantenimiento y calibración de los sensores que deben estar al día con sus respectivas firmas y fechas de control. Si la fiscalización encuentra que las tareas no se están realizando de manera óptima o se detectasen incumplimientos, el fiscalizador procederá en forma inmediata a invalidar dicho muestreo, remitiendo los antecedentes a la Dirección Nacional de Sernapesca para la aplicación de las sanciones respectivas.

El personal y/o empresas que deseen postular a licitación para trabajar en las labores de instalación, mantención y calibración del sistema SOOAA, deberán estar certificadas e inscritas en un Registro Nacional de Prestadores de Servicios a cargo de Sernapesca (mediante decreto supremo N°15). Sernapesca además estará a cargo de fiscalizar que las labores sean realizadas de acuerdo a los estándares necesarios descritos en los protocolos de la sección 10.6.2 del presente informe, y tendrá la facultad para conceder y retirar las certificaciones de acuerdo a los resultados de las fiscalizaciones.

La distribución de las estaciones de monitoreo e implementación del sistema SOOAA responderá a lo propuesto en el punto 10.3 de este informe, que señala la necesidad de instalar entre 2 y 4 estaciones de monitoreo por agrupación. Por lo que el plazo de instalación considera que dentro del primer año de publicado el reglamento, la agrupación de acuicultores correspondiente, deberá presentar el proyecto de ejecución a Subpesca para ser evaluado. Una vez aprobado, tendrá un año para implementar la primera estación oceanográfica y la estación meteorológica, estando estas instaladas y en línea al finalizar el segundo año. Luego durante el tercer año deberá presentar el proyecto de instalación de la segunda estación oceanográfica. Una vez aprobado el proyecto, tendrá un año para implementarlo, teniendo que estar instalada y en línea al final del cuarto. Durante el quinto año, con el sistema completo instalado, se realizará una marcha blanca en donde se deberán revisar y corregir los posibles fallos. Para las agrupaciones más grandes que deberán instalar tres o cuatro estaciones, deberán presentar el proyecto de la tercera estación el sexto año e instalada y en línea al finalizar el séptimo año y entre el octavo y noveno año presentar y dejar en línea la cuarta estación de monitoreo. En este caso la marcha blanca y corrección de fallos se realizará durante el octavo o décimo año, dependiendo de si son tres o cuatro estaciones, una vez que el sistema completo esté instalado.

En cuanto al funcionamiento de las estaciones, y en el caso de que el sistema de monitoreo se encuentre fuera de servicio, exista pérdida continua de datos por más de 1 mes (e.g.: falla de diseño, pérdida o robo de estaciones de monitoreo) o se presenten graves problemas técnicos, se exigirá a la asociación correspondiente regularizar su situación en un plazo no superior a 6

meses, en donde se podrán reformular los proyectos implementados, de lo contrario se aplicaran sanciones o multas.

Sernapesca deberá mantener un listado vigente de empresas que realicen la certificación de instalación, mantenimiento y calibración del instrumental utilizado de acuerdo a los parámetros establecidos en este estudio.

Siguiendo con la propuesta, se sugiere que SUBPESCA sea la responsable de proveer de un sistema continuo y en línea, capaz de recibir, procesar los datos obtenidos por el sistema de monitoreo oceanográfico y proveer de información procesada útil para la toma de decisiones. El sistema de almacenamiento y análisis, deberá ser capaz de detectar variaciones de rango sospechosas (gran dispersión) respecto a la misma serie de datos y/o por comparación entre estaciones de un mismo sector, esta validación permanente y continua, deberá entregar reportes automáticos para ser verificados por un profesional especialista, quien tendrá la facultad de aceptar el valor detectado o rechazarlo dejando una marca en la base de datos sin alterar el valor real obtenido. Los resultados finales deberán quedar disponibles on-line.



\*Se podría hacer cargo la Subsecretaría de Pesca, cuyo objetivo final será la toma de decisiones a través de la información recopilada, o podría ser otra institución la cual reciba, procese y mantenga una plataforma en línea con los datos obtenidos, para que a su vez Subpesca tome decisiones con dicha información.

**Figura 83. Esquema de alternativa administrativa N° 1 propuesto para SOOAA.**

2. Alternativa administrativa N°2: Institucionalizar el sistema de monitoreo Meteo-Oceanográfico ambiental (Figura 82).

Esta alternativa propone seguir más bien el espíritu de la Ley, que persigue contar con información de monitoreo en línea, objeto la autoridad competente cuente con información oportuna y de calidad para la toma de decisiones. En este sentido la creación de una organización, encargada de administrar el sistema de monitoreo permitiría optimizar los costos de instalación y monitoreo, dado que el mecanismo de ubicación de las estaciones favorecerá la implementación de un sistema de monitoreo sectorizado y específico, monitoreando más donde la variabilidad del ambiente es mayor y menos donde es menor, permitiendo iniciar la instalación del monitoreo en sectores que puedan dar una mayor representatividad de las condiciones meteo-oceanográficas de la zona. Concentraría las responsabilidades del sistema de monitoreo bajo una misma dirección, a diferencia de lo planteado en la alternativa administrativa N°1. Esta organización deberá ser responsable de la adquisición, instalación, mantenimiento, y comunicación de monitoreo en línea, como también del almacenamiento, validación, administración y procesamiento de los datos obtenidos. Esa organización podrá ser pública, privada o mixta, y el método de selección en base a concursos por periodos preestablecidos y fiscalizado por la SUBPESCA.

En este caso, la implementación del monitoreo sugerido, también está pensada en un plazo de 10 años, y considera contar al menos todas las estaciones meteorológicas y un tercio de las estaciones oceanográficas instaladas y en línea al término del tercer año de publicado el

reglamento, y continuar con la instalación de las estaciones en similar proporción, hasta completar la totalidad de las estaciones necesarias para el monitoreo.

Dado el alto costo de un buen sistema de monitoreo oceanográfico ambiental en línea y la alta exigencia en eficiencia y calidad, se sugiere un sistema de financiamiento compartido entre el estado y los privados, dejado el mayor aporte en manos de las agrupaciones de concesiones acuícolas, por su responsabilidad según la Ley, y la participación del estado bajo alguna forma de mecanismo participativo por diseñar.

Con ello la responsabilidad del monitoreo recaería totalmente en esta organización para lo cual se le asignarían los recursos de funcionamiento, así se encargaría de la adquisición, instalación, mantenimiento, calibración y comunicación de monitoreo en línea siguiendo los estándares definidos en el punto 10.6.2 del presente proyecto y la responsable proveer de un sistema continuo y en línea, capaz de recibir y procesar los datos obtenidos por el sistema de monitoreo oceanográfico, proveyendo de información procesada útil para la toma de decisiones a las autoridades competentes.

Lo anterior implicaría que tendría que contar con personal técnico competente para la realización de las diferentes tareas en cuyo caso deberá contar con las certificaciones exigidas por la Ley General de Pesca y Acuicultura y sus reglamentos y sujeta a inspecciones sin previo aviso al menos 2 veces al año por esta entidad fiscalizadora. La fiscalización se basará en observación visual a las estaciones de monitoreo, exigiendo las plantillas de control de calibración y mantenimiento que se encuentren al día con sus respectivas firmas y fechas

de control, y las mismas exigencias dadas en la alternativa administrativa N°1 para las Agrupaciones de Concesionarios Acuícolas.



Figura 84. Esquema de alternativa administrativa N° 2 propuesto para SOAAA.

También implicaría que debe contar con la capacidad informática necesaria que cumpla idénticamente con exigencias propuestas para SUBPESCA en la alternativa administrativa N°1.

Por otro lado al ser una sola organización responsable del monitoreo en toda la región de estudio, es posible, armar un equipo de dedicación exclusiva para las necesidades del sistema, lo que permitiría visualizar de mejor manera las anomalías del sistema facilitando el control de calidad de los datos, asegurando así la calidad del monitoreo. Además, desde un punto de vista técnico, el poseer un único sistema de monitoreo integrado por una variedad limitada de marcas y modelos de sensores y equipos, permite optimizar el control del stock de repuestos, así como su reposición y procesos de calibración.

### **Comparación de propuestas**

Cada una de las proposiciones administrativas, requiere asegurar los recursos, humanos y materiales, para la realización de estas labores dentro de los estándares requeridos. En cualquiera de las dos alternativas la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura debe tener acceso total y en tiempo real a los datos, para luego ser utilizados en la toma de decisiones y será la encargada de definir las subdivisiones administrativas de las diferentes concesiones procurando el cumplimiento de lo expuestos en el punto 10.3 del presente proyecto. Para realizar una comparación más clara respecto a ambas propuestas, en la Tabla 18, se presentan las ventajas y desventajas comparativas entre las dos propuestas presentadas.

**Tabla 18. Comparación de las propuestas de administración presentadas.**

1. Responsabilizar del monitoreo a las Agrupaciones de Concesiones Acuícolas	2. Institucionalizar el sistema de monitoreo
Cada concesión deberá contar con los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para el funcionamiento de sus estaciones, lo que es poco eficiente.	Optimiza el uso de recursos humanos, técnicos y financieros.
Mayor tiempo de ocio de personal calificado v/s cantidad de instrumental mantenido.	Bajo tiempo de ocio de personal calificado v/s cantidad de instrumental mantenido.
Obliga a cada concesión a tener al menos 2 estaciones de monitoreo oceanográfica y 1 meteorológica, aumentando el número de estaciones del sistema en caso de que se subdividan las concesiones actuales, lo que podría llevar a una redundancia de datos.	Optimiza distribución de estaciones de monitoreo, evitando redundancia de datos.
Dificulta y encarece, a nivel general, los costos de mantención y calibración.	Optimiza procesos de mantención y calibración de sensores y equipos.
Necesidad de laboratorios de calibración certificados externos, que cubran los requisitos del sistema.	Posibilidad de mantener un laboratorio de calibración certificado propio para SOOAA, dado el volumen de sensores y equipos
Cada concesión deberá contar con su propio stock de repuestos, aumentando considerablemente la inversión necesaria.	Optimiza el control y stock de repuestos.
Mayor costo de operación, debido a baja capacidad de negociación.	Menores costos de operación, debido la capacidad de negociación por volumen.
Apegado a la intensión de la Ley. Se ajusta y da cumplimiento a lo escrito.	Apela al espíritu de la ley. Se deberá buscar como ajustar ciertos aspectos de su implementación a lo escrito.

### **10.6.2. Protocolo de instalación, mantención, verificación y calibración del sistema de monitoreo SOOAA**

Este documento establece las actividades de instalación, mantención, validación, verificación y calibración del sistema de monitoreo oceanográfico SOOAA, con el fin de velar por su buen funcionamiento y garantizar la calidad del servicio final.

Los procedimientos aquí descritos son aplicables desde la adquisición, hasta el término de vida útil de los sensores que se emplean en las áreas operativas de SOOAA. También se aplica al control de los sensores e instrumental de medición utilizados por los subcontratos.

Para los efectos de estos protocolos se entenderá por:

- a) Proyecto: Proyecto FIPA N° 2016 - 68: "Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para la implementación de una red de monitoreo para las agrupaciones de concesiones de acuicultura".
- b) Instalación: Conjunto de acciones necesarias que se deben realizar, para garantizar el correcto despliegue de los sensores de medición y todos sus componentes.
- c) Mantenición: Conjunto de acciones preventivas/correctivas y pruebas necesarias que se deben realizar, para garantizar el correcto funcionamiento de los sensores de control y medición.
- d) Verificación: Comparación de medición entre un instrumento patrón o calibrado con los utilizados en las áreas operativas. También constatación ocular de las mediciones registradas por los sensores y el funcionamiento de cada uno de sus componentes.
- e) Calibración: Conjunto de operaciones que establecen en condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición y los valores correspondientes de una magnitud verificados por un patrón de referencia.

El resultado de una calibración permite establecer los errores de lectura del sensor de medición, sistema de medición o medida material o asignar valores a marcas sobre escalas arbitrarias.

f) Incertidumbre: Intervalo de medidas, en torno al valor de una indicación del equipo, dentro del cual podemos garantizar, con un nivel de probabilidad determinado que se encuentra el valor real de la magnitud medida.

g) Patrón: Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia. El patrón está relacionado con el valor convencionalmente verdadero de la magnitud física medida.

Para calibrar un instrumento siempre deberemos de disponer de un patrón de calibración mejor que el instrumento a calibrar.

h) Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición, por la cual esta puede ser relacionada o referida a los patrones nacionales o internacionales adecuados, por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de inter comparaciones.

i) Ajuste: Es la operación destinada a llevar un instrumento de medición a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización. Puede ser automático, semiautomático o manual.

j) Efemérides meteorológicas: Corresponde a valores extremos registrados históricamente

k) Equipo de medición: sensores de medición, patrones de medición, materiales de referencia, accesorios e instrucciones que son necesarias para efectuar una medición. Para el caso de SOOAA comprende lo siguiente:

- Termómetro: Instrumento que mide la temperatura del aire en forma cuantitativa.
- Anemómetro: Instrumento para la medición de la velocidad del viento.
- Veleta: Instrumento para la medición de la dirección del viento.
- Barómetro digital: Instrumento para medir la presión atmosférica, basado en la utilización de cargas eléctricas para medir el peso del aire sobre el barómetro.
- Piranómetro: Instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra.
- Pluviómetro: Instrumento para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un espacio de tiempo determinados; el agua recogida por él se mide en litros o milímetros por metro cuadrado.
- Higrotermotransmisor: Instrumentos que mide la humedad relativa y la temperatura del aire.
- Termistor: Instrumento electrónico tipo sensor que mide la temperatura a través de la resistencia eléctrica. Realiza la conversión de manera interna, entregando valores de temperatura en °C.

- Sensor de conductividad: Sensor electrónico que registra la conductividad del agua, utilizada posteriormente para la estimación de salinidad. Entrega valores en unidades de  $S\cdot m^{-1}$  (siemens por metro).
- Sensor de oxígeno disuelto: Sensor que mide el contenido de oxígeno gaseoso en el agua. Este puede ser óptico o de membrana. Se mide en unidades de  $ml\cdot L^{-1}$  o  $mg\cdot L^{-1}$  (mililitros por litro o miligramos por litro, respectivamente).
- Sensor de presión: Instrumento electrónico que mide la presión que ejerce la columna de agua. Mide en dbar (decibar).
- Perfilado Acústico de Corrientes Doppler (ADCP): Instrumento que mide las corrientes de la columna de agua en función de la profundidad a través la modificación del eco acústico por acción del efecto Doppler. Este instrumento entrega la magnitud y dirección de la corrientes a distintas profundidades en unidades de  $cm\cdot s^{-1}$  (centímetros por segundo) y grados de desviación ( $0 - 360^\circ$ ) respecto al norte magnético ( $0^\circ$ ), respectivamente.
- Fluorómetro: Sensor electrónico que mide la fluorescencia en el agua. Se utiliza como proxy de la concentración de clorofila. Su unidad de medida es en  $mg\cdot m^{-3}$  (miligramos por metro cúbico).
- pHímetro: Instrumento que mide el pH del agua de mar. Esta variable es adimensional.
- Turbidímetro: Sensor electrónico que mide la cantidad de partículas presentes en el agua. Su unidad de medida es NTU (Nephelometric Turbidity Units).

Se deberán llevar a cabo una serie de tareas y procedimientos para que los sensores de medición reciban el seguimiento necesario, a fin de proporcionar la evidencia de conformidad del servicio de acuerdo a los requerimientos del SERNAPESCA (Figura 80).

#### Responsabilidades

- ✓ Gerente de la agrupación de concesionarios acuícolas local/institución.
- ✓ Jefe de Mantenimiento.
- ✓ Supervisor de Mantenimiento.
- ✓ Técnicos de mantenimiento.
- ✓ Subcontratistas o personal externo.

#### Documentos aplicables

- ✓ Guía de sensores y Métodos de Observación Meteorológicos de la Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ Informe del Proyecto FIPA N° 2016 – 68 "Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para la implementación de una red de monitoreo para las agrupaciones de concesiones de acuicultura".
- ✓ Procedimiento de instalación.
- ✓ Procedimiento mantención.

✓ Procedimiento de verificación.

✓ Procedimiento de calibración.

### Actividades y procedimientos

Cada tarea realizada estará ligada a un Registro específico. Se presentan ejemplos para estos Registros en el Anexo 14.6.

- REG-001 Hoja de vida (Instalación, verificación calibración y mantenimiento).
- REG-003 Lista maestra de sensores de medición.
- REG-004 Plan anual de control de sensores.
- REG-005-A Registro de Mantenimiento y/o verificación Interna.
- REG-005-B Certificados de verificación o calibración de sensores de medición.
- REG-006 Informe anual de control de sensores.

Los procedimientos se describen a continuación:

#### **1. Instalación de sensores**

Para la incorporación de una nueva estación de monitoreo, o reemplazo uno de sus sensores, y su posterior incorporación a SOOAA:

- i) Se debe comprobar que el nuevo lugar de medición cuente con todas las condiciones exigidas en los puntos 10.3 del Proyecto.

ii) Se deberá concurrir al lugar donde se instalará el nuevo dispositivo de medición, y se procederá a instalar la nueva estación de medición o sensor, siguiendo las recomendaciones estipuladas en los puntos 10.6.2.1 y 10.6.2.2 del Proyecto.

- Responsable: Jefe de mantención.
- Registro utilizado: REG-001 Hoja de Vida (instalación, verificación, calibración y mantención).

## **2. Identificación de Sensores, 3. Lista Maestra de Sensores**

Para la identificación de los sensores:

i) Cada sensor instalado en el sistema recibirá una identificación propia y se le creará una hoja de vida (ver Anexo 14.6 del Proyecto)

ii) Los sensores serán automáticamente ingresado al registro “Lista maestra de sensores de medición” (ver Anexo 14.6 del Proyecto) que lleva el coordinador de calidad. En dicha lista se registra el código de especificación, marca, serie, capacidad, rango, n° de hoja de vida y periodicidad de verificación, calibración y mantención con su responsable en caso que aplique.

- Responsable: Coordinador de calidad.
- Registro utilizado: REG-001 Hoja de Vida (instalación, verificación, calibración y mantención), REG-003 Listado Maestro de sensores de medición.

#### **4. Plan anual de control de sensores, 5. Control de sensores de medición**

El proceso de control de sensores consiste en la implementación del plan anual definido, que está conformado por:

i) Verificaciones Interna sensores: Según IT-CIM-31 Instructivo de trabajo para efectuar verificación de sensores de medición.

ii) Mantenciones de sensores.

iii) Calibración de sensores.

El trabajador responsable de realizar los controles es quien debe generar los registros, para dejar la evidencia (Control interno de sensores), y posteriormente entregarlos al coordinador de calidad quien los archiva.

- Responsable: Coordinador de calidad.
- Registro utilizado: REG-004 Plan anual de control de sensores, REG-005-A Registro de Mantención y/o verificación Interna, REG-005-B Certificados de verificación o calibración de sensores de medición.

#### **6. Reparación**

En caso de que se detecte, en algún control efectuado, que un sensor o equipo perteneciente a SOOAA está arrojando mediciones erróneas o incoherentes, respecto a los resultados

arrojados por el sensor patrón, o si presenta fallas durante su funcionamiento, el personal a cargo deberá informar de manera inmediata al coordinador de calidad.

Cuando esto suceda, y el personal técnico que utiliza el sensor no se haya dado cuenta del desperfecto, se hará un seguimiento en el registro que lleva el coordinador de calidad o en las ordenes de trabajo que ha participado el personal a cargo del instrumento que tiene falla, con la finalidad de definir los últimos trabajos en los que se utilizó.

Dependiendo del desperfecto que presente el instrumento, se siguen los siguientes pasos:

i) Calibración: Cuando la desviación se debe a un problema de calibración, el instrumento deber ser retirado de funcionamiento, hasta que se envíe a calibrar a un organismo certificado. Se debe informar al administrador de la base de datos, para que deje registro en ésta, de la situación del sensor.

Cuando los sensores son calibrados por un organismo externo, el coordinador de calidad es quien gestiona los informes que certifiquen dicha calibración. Estos informes deben archivarse adjuntos a la hoja de vida definida para cada sensor.

ii) Reparación: Cuando la desviación tenga su origen debido a algún desperfecto físico o mal funcionamiento del sensor, deberá ser enviado a reparación. Una vez reparado el instrumento, se debe verificar nuevamente y el proceso de control vuelve al punto 5.0 del flujo (Figura 83).

iii) Dado de baja: Si en alguna ocasión se detecta una desviación en los controles o en el funcionamiento general de un instrumento y no hay posibilidad de corregirlo mediante la

calibración o reparación, el equipo debe ser dado de baja. Se borra de la lista maestra, se segrega y elimina físicamente para evitar su uso.

Cada vez que un instrumento es dado de baja el jefe de mantenimiento y el coordinador de calidad validan la acción en el campo correspondiente de la hoja de vida del instrumento, además, se especifica claramente la fecha y las razones de la baja, informando al administrador de la base de datos objeto de registro de esta situación.

El responsable del instrumento debe generar en el menor tiempo el reemplazo por uno nuevo, aquí el proceso de control vuelve al punto 5, registradas en la hoja de vida del instrumento y en el informe anual de control de sensores, que se comunica al gerente técnico en la revisión gerencial.

- Responsable: Gerente técnico, Coordinador de calidad.
- Registro utilizado: REG-Control para entrega de equipos de medición a terreno.

## **7. Utilización y control**

Si durante las mantenciones o calibraciones efectuadas de manera interna el sensor no presenta algún tipo de problema o desviación, se sigue utilizando normalmente teniendo en cuenta la próxima fecha programa de calibración o verificación interna según el plan anual de calibración.

- Responsable: Coordinador de calidad.

## **8. Informe anual.**

Al finalizar el año el coordinador de calidad deberá informar en la revisión gerencial:

1. Los controles efectuados a todos los sensores.
2. Sensores nuevos que se adquirieron durante el año.
3. Los sensores que se dieron de baja y las razones de esto.
4. Los sensores que presentaron fallas, por lo que se tuvieron que enviar a reparar.

- Responsable: Coordinador de calidad.
- Registro utilizado: REG-006 Informe anual de control de sensores.

La identificación, utilización, calibración, almacenamiento y mantención de los sensores de medición de propiedad de los subcontratistas es de su exclusiva responsabilidad. Pero uno de los requisitos que solicita SOOAA al momento de comenzar trabajar con un subcontrato, es que éste efectivamente se responsabilice de cada uno de los sensores que se empleen en los trabajos realizados para SOOAA por lo que debe estar debidamente certificados por SERNAPESCA.

Al momento de firmar el contrato, el subcontratista que realice trabajos de instalación o cualquier otro trabajo, debe completar y validar el Certificados de verificación o calibración de sensores de medición. REG-001, en dicho certificado se detallan los sensores que serán utilizados durante el desarrollo del trabajo, el nombre de los responsables de cada uno de

ellos y cuál es el estado de verificación o calibración que poseen. Según esta información certificada, el coordinador de calidad efectúa verificación a través de la comparación aleatoria en terreno de las mediciones entre estos y los sensores calibrados de propiedad de SOOAA, en el REG-001 se dejarán las evidencias de los controles efectuados.

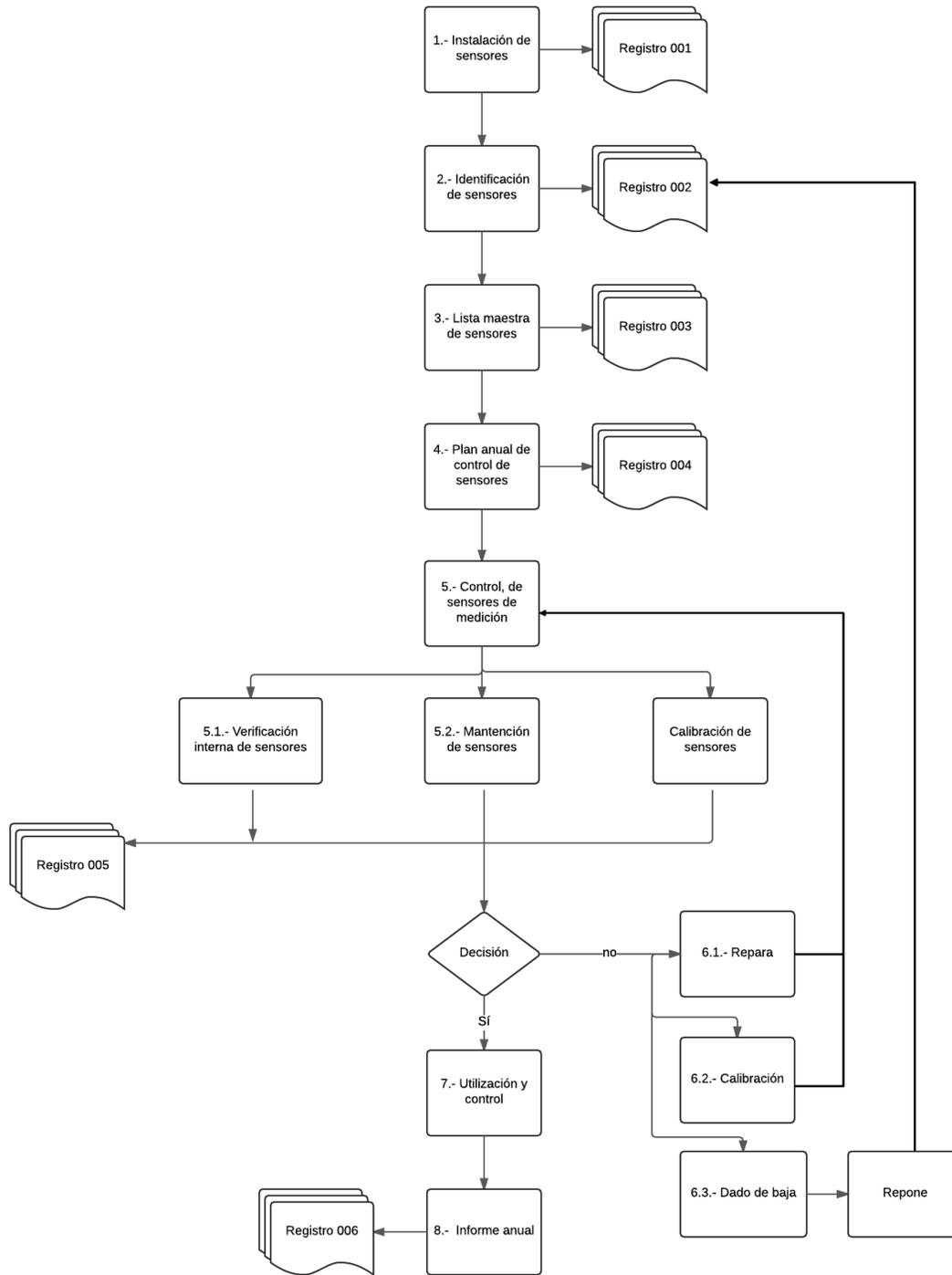


Figura 85. Diagrama de Procedimientos

### **10.6.2.1. Protocolos Estaciones Meteorológicas**

Las normas y protocolos de instalación, mantención y calibración de las estaciones de monitoreo meteorológicas se encuentran definidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Para efectos de mantención y calibración de los sensores meteorológicos, éstas deberán ser realizadas siguiendo las recomendaciones de la OMM, dispuestas en la: “Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos”, Edición de 2008, actualizada en 2010, OMM-N° 8., de la cual se destaca lo siguiente:

Una Estación Meteorológica Automática (EMA) se define como una “estación meteorológica en la que se realizan y se transmiten observaciones automáticamente”. Las EMA’s están plenamente aceptadas como estaciones meteorológicas, cuando proporcionan datos con una exactitud comparable a la de las estaciones meteorológicas tradicionales. En este sentido, las variables meteorológicas consideradas a ser medidas por SOOAA, en su conjunto corresponden a una EMA, por lo que la instalación, mantención y calibración de estas estaciones deberán seguir las recomendaciones dispuestas por la OMM. Así mismo, los requisitos de incertidumbre de las mediciones operativas y rendimiento de los instrumentos serán los mismos establecidos en la “Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos”.

Es importante mencionar, que mantener en servicio una red de EMA’s en tierra, y por sobre todo en agua, es superior al costo de adquisición de las estaciones, por lo que la mantención

de las estaciones es un punto muy importante a considerar en la implementación del Sistema de Observación. La mantención de las estaciones, es un punto frecuentemente subestimado, sin embargo, la mantención correctiva de una estación producto del fallo de los componentes puede estar dada por muchas razones. Para minimizar los fallos y aumentar el rendimiento de una EMA, se recomienda realizar permanentemente mantenciones preventivas, para lo cual, es fundamental generar un plan de acción en el que se detallen y se organicen todas las funciones, permitiendo al mismo tiempo minimizar costos.

De igual forma, al momento de adquirir una estación meteorológica, es importante considerar los rápidos cambios de la tecnología y la disponibilidad de las piezas de repuesto, que después de algunos años no se encuentran en el mercado. Por esta razón, **se recomienda la “modularidad de las estaciones”, y la capacidad de comunicarse con sensores de distintos fabricantes.**

Cabe destacar que cada procedimiento deberá ser registrado en el documento correspondiente (Anexo 14.6).

#### **10.6.2.1.1. Instalación**

La ubicación y número de las estaciones de muestreo se someterán a los procedimientos que se indican a continuación:

A. Se ubicará una estación de muestreo en tierra en cada una de las concesiones/agrupaciones de acuicultura.

- En cada estación de muestreo en tierra se debe medir viento, temperatura, precipitación, radiación solar y presión atmosférica.

B. Se ubicará una estación parcial de muestreo en mar, en cada una de las estaciones de monitoreo oceanográficas.

- En cada estación de muestreo en mar se debe medir viento y temperatura.

Los requisitos operacionales y otras especificaciones se encuentran en el punto 10.2.1 del Proyecto. La instalación dependerá de la estación seleccionada, por lo que se deberán seguir instrucciones del fabricante en cada caso.

#### **10.6.2.1.2. Mantenición**

La mantención de una red de estaciones automáticas es una tarea subestimada frecuentemente, por lo que es crucial un plan en el que se detallen y se organicen todas las funciones de modo que se minimicen los costos.

No se aconseja hacer mantenciones en terreno ya que las condiciones no son favorables para un trabajo eficaz. Cabe destacar que los costos de personal son elevados y los del equipo de medición relativamente bajos, por lo que generalmente es más rentable desechar módulos averiados que repararlos. A pesar de esto, de ser necesario, se recomienda que las mantenciones correctivas en terreno sean realizadas por personal técnico especializado, y las mantenciones preventivas, por un observador local.

Para la realización de las mantenciones se deberán seguir los siguientes procedimientos:

## **Viento (Anemómetro)**

### **A. Limpieza de cazoletas**

La salinidad puede interferir con la rotación de las cazoletas por tal motivo se deberá realizar cada tres meses la limpieza de estas. Para esto se deben seguir los siguientes pasos:

- i) Con velocidad del viento baja aflojar el tornillo de fijación en el lado de las ventosas y limpiar la porción expuesta del eje con un paño húmedo o un bastoncillo de algodón.
- ii) Limpie las cazoletas con agua y un detergente líquido suave. Enjuague bien antes de volver a instalar.
- iii) Después de reemplazar las ventosas y apretar el tornillo de fijación, compruebe para asegurarse de que las cazoletas del viento giran libremente. Si no lo hacen, quiere decir que los cojinetes pueden necesitar la reparación de la fábrica.
- iv) No utilice ni agregue grasa, aceite o un lubricante de cualquier tipo.

## **Temperatura**

A. Los sensores ubicados dentro del escudo de radiación, no necesitan mantenimiento.

B. Se recomienda quitar el polvo junto a la limpieza a del escudo de radiación. Para esto seguir los siguientes pasos:

- i) Retire la placa en la radiación escudo en el que está instalada la tarjeta temp-hum.

ii) Usando un cepillo de dientes limpio y seco, quite el polvo de la cubierta. Corresponde a la pequeña cubierta blanca con ventilación malla de color dorado.

### **Precipitación (Pluviómetro)**

A. Se debe limpiar tan a menudo como sea necesario. Para mayor precisión, limpie varias veces al año, ya que polvo, escombros, como hojas, insectos y excrementos de pájaros puede bloquear el colector de lluvia. Los nidos y las redes de insectos pueden impedir la inclinación del balancín de medición. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- i) Separe el cono de la base girándolo suavemente.
- ii) Retire y limpie la pantalla protectora.
- iii) Usar un paño suave y húmedo para eliminar los residuos del cono y balancín. Tenga cuidado de no rayar el color plateado recubrimiento en las cucharas.
- iv) Use limpiadores de pipa para limpiar el embudo, agujero en el cono y las pantallas de drenaje en la base.
- v) Cuando todas las partes estén limpias, enjuague con agua limpia y vuelva a instalar el cono y pantalla protectora.

B. La limpieza de las cucharas basculantes puede causar lecturas falsas de la lluvia. Puede desconectar el sensor de lluvia de la interfaz del sensor en el interior del alojamiento del transmisor antes de limpiar o datos en la consola después de la limpieza.

### **Radiación solar**

A. La suciedad, polvo, sal o aceite en el difusor en la parte superior del sensor puede afectar su exactitud, por tal motivo siempre que sea posible. Para la limpieza se deben seguir los siguientes pasos:

- i) Retire el polvo de la caja de sensor de plástico negro con un cepillo suave y seco.
- ii) Limpie la zona blanca con un paño o un bastoncillo de algodón humedecido alcohol étílico.
- iii) No toque los pequeños difusores blancos encima de los sensores con los dedos. El aceite de la piel reduce su sensibilidad.
- iv) Si se llegan a tocar los difusores en cualquier momento, límpielos utilizando alcohol étílico con un paño suave. No frote porque puede afectar la precisión de las lecturas del sensor. El alcohol étílico puede encontrarse en tiendas de suministros de laboratorio.

B. La precisión puede desviarse debido a la sensibilidad de los rayos ultravioleta y solar de los sensores de radiación solar, por lo que cada vez que se haga mantención se deberá volver a calibrar el sensor.

### **Escudo protector de radiación**

A. Las acumulaciones de salinidad en el revestimiento pueden dificultar el flujo de aire, por tal motivo al menos una vez cada tres meses, es necesario limpiar el borde exterior de cada anillo con un paño.

B. El escudo de radiación debe ser revisado una vez al año para limpiar y remover basura o nidos de insectos. Para esto se debe desmontar y limpiar a fondo el escudo de radiación.

C. Si se trata de un escudo de radiación aspirado por ventilador de 24 horas, se deberán reemplazar las pilas NiCad C-cell cuando se limpie.

#### **10.6.2.1.3. Validación**

Entre los procedimientos de validación basados en la aplicación de reglas de decisión para realizar el análisis de la calidad de los datos podemos citar el propuesto O'Brien y Keefer (1985), posteriormente utilizado por Meek y Hatfield (1993). En este proceso los registros de dudosa calidad son detectados y corregidos o marcados como sospechosos. En otros procedimientos el resultado final es un dato que lleva adjunto una marca de seguridad o confianza - "bueno", "sospechoso", "alarmante" o "fallido"- (Fiebrich y Crawford, 2001; Horel y col., 2002). Otros autores utilizan marcas de dos tipos, "informativas" y "graves", para indicar la calidad y posibilidad de utilización del registro. Este sistema se utiliza en los procesos de control de calidad de la Red CIMIS del estado de California (Snyder y Pruitt, 1992). En algunos casos se aplican algoritmos que permiten corregir los registros o rellenar los datos perdidos, pero en cualquier caso tanto el dato original como el corregido se almacenan en la base de datos (Robinson, 1990; Reek y *et.al.*, 1992). Finalmente, los registros meteo-oceanográficos marcados deben ser juzgados por personal debidamente cualificado (Kunkel y *et.al.*, 1998; Ovita y Wilkins, 2002). Estas bases de los procedimientos de validación y su aplicación a SOOAA se describen a continuación.

## Test de validación

La norma UNE 500540 (2004) define siete niveles de validación que deben aplicarse sucesivamente, con excepción de la inspección visual (Nivel 6) que puede hacerse una vez realizada la validación correspondiente a los Niveles 0 y 1. Estos últimos niveles son de obligada aplicación, mientras que el resto son opcionales. Únicamente se califican de forma automática como no válidos aquellos datos que no superen el nivel 0 o el test de límites rígidos (Nivel 1). Los datos que no pasan con éxito cualquiera de los otros test se considera sospechosos y se deberá discernir si el dato es válido o no por inspección visual.

- Nivel 0, Validación de la estructura del registro de datos: Se comprueba que tanto la estructura del registro como el número de datos son los que se espera que lleguen. Si alguno de los datos no puede ser extraído correctamente, se considerará dicho dato como no válido. Si existe error en la fecha y/u hora, todos los datos del registro asociados a esa fecha y hora se considerarán no válidos.
- Nivel 1, Validación de los datos según límites: En este nivel de validación se comprueba el rango de los valores meteo-oceanográficos introducidos en la base de datos. Por rango entendemos el límite superior y el inferior entre los que debe estar el valor de un dato para ser considerado como válido (Feng y *et.al.*, (2004); Meek y Hatfield, 1994; Reek *et.al.*, 1992; Shafer *et.al.*, 2000; Schroeder *et.al.*, 2005). Se definen dos tipos de límites: límites físicos e instrumentales y límites flexibles (efemérides meteorológicas).

- *Límites rígidos: físicos e instrumentales:* Se aplicarán los límites que resulten más restrictivos de los físicos e instrumentales. Cualquier dato fuera de los límites establecidos será un dato no válido. En la Tabla 19 se indican los límites físicos aplicables según la norma UNE 500540 (2004).

**Tabla 19. Límites físicos de diferentes variables meteorológicas (UNE 500540, 2004)**

Variable	Unidad	Rango
Temperatura del aire	°C	-35/55
Velocidad del viento	ms <sup>-1</sup>	0/75
Dirección del viento	Grados	0/360
Presión	hPa	700/1080
Radiación solar global	Wm <sup>-2</sup>	-1/1400
Precipitación en 10 minutos	mm	0/50

- *Límites flexibles: efemérides meteorológicas:* Estos límites se basarán en los valores extremos que las distintas variables puedan tomar en la zona donde está ubicada la estación (UNE 500510, 2005). Lo ideal es contar con un conjunto de efemérides meteorológicas para cada mes, que sean representativas del entorno de donde provienen los datos que se validan. Si el dato no superase este test de límites flexibles será calificado como sospechoso y se deberá hacer una inspección visual para considerarlo válido o no. Estos test incorporarán un módulo de verificación de efemérides en el que cada valor se comparará con el valor extremo registrado históricamente en la misma estación. Si el registro que se está validando supera el valor extremo prefijado, el sistema generará una alerta

que deberá ser validada por el administrador para incorporarla como nueva efeméride.

- Nivel 2, Validación de la coherencia temporal del dato: procedimientos basados en la coherencia temporal comprueban si la diferencia entre medidas meteorológicas sucesivas excede un valor determinado, en cuyo caso habría que sospechar de ambas medidas (Feng *et.al.*, 2004; Graybeal y *et.al.*, 2004; Meek y Hatfield, 1994). Es decir, se chequea el exceso de variabilidad de dos registros consecutivos. Si esta diferencia supera el valor preestablecido dentro del sistema de validación, se genera una alerta para los dos datos. En este nivel se comparará el cambio entre dos o más observaciones consecutivas separadas media hora unas de otras. Este tipo de valoración sólo afecta a los datos semi-horarios. Si la diferencia excede un valor prefijado, distinto para cada variable, se considerará que el dato o datos no ha superado el test.
- Nivel 3: Validación de la coherencia interna de los datos. Relaciones entre variables: Los procedimientos denominados de coherencia interna están basados en la verificación de la coherencia física o climatológica de cada variable observada o también de la consistencia entre variables (Grüter *et. al.*, 2001). Valores medidos al mismo tiempo y en el mismo lugar no pueden ser incoherentes entre ellos. En este caso, puesto que no se puede discernir cuál de las variables involucradas es la responsable, se considerará que ambas observaciones no han superado este test. También entran en esta categoría los test que comprueban la coherencia interna del propio sistema. Por ejemplo, un valor promediado debe ser siempre menor que el

valor instantáneo máximo, o la precipitación durante media hora siempre deberá ser menor que la precipitación acumulada durante 24 horas (Vejen *et al.*, 2002). También son habituales las comprobaciones del tipo  $T_{\max}(i) > T_{\text{med}}(i) > T_{\min}$  o  $T_{\max}(i) > T_{\min}(i-1)$  siendo  $i$  un día cualquiera. Existen también comprobaciones para rangos diarios de temperatura excesivos (Feng *et al.*, 2004; Reek *et al.*, 1992).

- Nivel 4, Validación de la coherencia temporal de la serie: Este nivel de validación se aplicará sobre series temporales de datos del periodo que se vaya a analizar (e.g. cada 24 horas). Se calculará la media y la desviación típica de cada variable. Si la desviación típica fuese menor que un mínimo aceptable, todos los datos de ese periodo se considerarán sospechosos (Shafer *et al.*, 2000).
- Nivel 5, Validación de la coherencia espacial. Contraste de los datos de cada estación con datos de otras estaciones: En este nivel de validación se tiene en cuenta que los valores de una misma variable medidos al mismo tiempo en estaciones correlacionadas no pueden diferir demasiado unos de otros (Eischeid *et al.*, 1995; Gandin, 1988; Hubbard, 2001; Wade, 1987). El llevar a la práctica este test puede resultar más o menos complicado dependiendo de la densidad de estaciones y de lo compleja que sea la orografía de la zona, también es necesario tener presente que la variabilidad espacial de los valores oceanográficos puede ser grande dificultando su aplicabilidad, no obstante, en algunos casos puede ser buena como por ejemplo dirección de la corriente en sectores muy cercanos. Para llevar a cabo este test se aplicarán, por ejemplo, técnicas de interpolación. Es suficiente con aplicar algún método sencillo que permitan detectar los errores más groseros. Los errores más

- sutiles se pueden descubrir por inspección visual. Para validar la coherencia espacial se suele estimar un valor para cada observación. Esto se hace a partir de datos de la misma variable (que no hayan sido etiquetados como no válidos en niveles previos), registrados en otras estaciones correlacionadas con la variable que se está analizando. A continuación, se calculará alguna expresión que dé cuenta de la diferencia entre el valor medido y el valor estimado. Si esta diferencia excediese un cierto umbral (e.g. dos veces la desviación típica de los datos empleados en la estimación), se considerará que el dato analizado no ha superado este test.
- Nivel 6, Inspección visual: Para llevar a cabo una inspección visual sobre los datos que se pretende analizar, resulta muy útil representar la evolución temporal de las distintas variables en varios niveles de agregación, especialmente cuando se trate de determinar si un dato sospechoso es válido o no válido. Igualmente, resulta muy útil cartografiar valores máximos, mínimos, acumulados, etc. de las distintas variables, así como de parámetros derivados. Para identificar problemas sutiles, en el caso de la temperatura, la velocidad y dirección del viento y la presión, se recomienda un análisis de valores promedio a una hora específica del día (e.g. 0, 6,12 y 18). Finalmente, para la precipitación y la radiación solar, los valores acumulados. Se pueden aplicar otros análisis estadísticos, como por ejemplo el método de doble masa, aunque muchos de ellos dependen de la longitud de las series para que den buenos resultados.

#### **10.6.2.1.4. Calibración**

El objetivo de la calibración es mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos, responder los requisitos establecidos en las normas de calidad y garantizar la fiabilidad y la trazabilidad de las medidas. Para efectuar la calibración del instrumental meteorológico se debe contar con personal técnico especialista en instrumental con al menos 3 años de experiencia demostrable y que se encuentre en el Registro de acuerdo al Decreto Supremo N°15.

A. Para calibrar un instrumento, o un estándar, se necesita disponer de uno de mayor precisión (patrón) que proporcione el valor convencionalmente verificable, el cual se utilizará para compararlo con la indicación del instrumento que está siendo sometido a la calibración. Esto se realiza mediante una cadena ininterrumpida y completamente documentada de comparaciones hasta llegar al patrón primario, que constituye lo que se conoce como trazabilidad.

B. Los instrumentos requieren ser calibrados con más frecuencia cuanto más exactas deban ser sus mediciones, es decir, cuanto menor sean las tolerancias de error. En general, los intervalos de calibración dependen de factores como los requerimientos necesarios y la estabilidad en el tiempo del instrumento a calibrar. Por lo que debe ser una operación planificada y sus resultados deben ser verificados conformes a un criterio de aceptación/rechazo preestablecido.

C. Los resultados de una calibración se plasman en un certificado de calibración, el que deberá aportar la siguiente información mínima:

- a) Corrección: desviación de la medida del instrumento calibrado, respecto al valor patrón.
- b) Incertidumbre del equipo calibrado.
- c) Trazabilidad del patrón empleado en la calibración.

El certificado de calibración además de facilitarnos el dato de incertidumbre de un instrumento, nos permite evaluar la evolución del funcionamiento de dicho equipo a medio y largo plazo.

D. Sí la incertidumbre que nos proporciona la calibración es mayor que la incertidumbre que nos facilita el fabricante, debemos pensar que nuestro instrumento ha sufrido algún tipo de deterioro y que no funciona correctamente.

E. Para llevar a cabo la calibración del instrumental que componen el listado maestro de sensores de SOOAA, con el cual se efectúan las mediciones de los diferentes parámetros meteo-oceanográficos, se requiere como instrumento de precisión para ser utilizado como patrón, equipos certificados por SERNAPESCA de calidad superior a los sensores instalados y cuya trazabilidad sea debidamente comprobable.

Los citados instrumentos deben poseer certificado de garantía de calibración, que tiene un año de duración. Por lo anterior, se exigirá que el certificado se encuentre vigente al momento de realizar la verificación y posterior calibración de los sensores monitoreados.

F. Para llevar a cabo la verificación y calibración, se deberá elaborar un plan anual general de mantenimiento de barómetros de todas las estaciones de monitoreo que componen SOOAA.

Durante el mes de Enero se informara a SERNAPESCA la citada programación verificación y calibración de los sensores.

**Características técnicas que debe cumplir la calibración**

G. Las características técnicas mínimas que deben cumplir las calibraciones se indican en el ANEXO 1.D, de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, OMM-No 8 aplicándose a los siguientes sensores:

- a) Higrotermotransmisores: Debido a la similitud entre los distintos modelos de sensores digitales propuestos por SOOAA, se realizará el mismo tipo de calibración para todos ellos. Se utilizan las salidas analógicas, por lo que se calibrarán éstas. Si procede se realizará un ajuste eléctrico, indicando las nuevas constantes de conversión Tensión/Temperatura. Estas nuevas constantes se indicarán en la etiqueta de calibración. La Tabla 20 recoge los requisitos de calibración.

**Tabla 20. Requisitos de calibración de Termotransmisores, sensores temperatura.**

<b>Sensores de Temperatura</b>	
Puntos Calibración	-15,-5, 0, 5, 15, 25, 35, 45°C
Ajuste del sensor en	No se realizan ajustes manuales a potenciómetros. Se calcula una recta de regresión lineal y se determinan unas nuevas constantes en el rango eléctrico del sensor que modifican la transformación de la señal eléctrica a la magnitud de medida.
Criterios Aceptación/Rechazo	La Incertidumbre expandida $\leq \pm 0,5$ °C para módulos nuevos La Incertidumbre expandida $\leq \pm 0,6$ °C para el resto de los módulos

Toma decisiones sensor rechazado	Se considerará rechazado si no cumple los requisitos y se enviará a reparar, siendo re calibrado nuevamente una vez reparado.
Periodo de Calibración	12 meses
Plazo de entrega desde la recepción	Tres semanas
Certificado de Calibración	Certificado de Calibración Acreditado (constantes eléctricas originales) o indicando trazabilidad de los patrones
Otros Informes	Informe de resultados en función de las constantes de conversión señal-magnitud de llegada. (2 <sup>as</sup> y posteriores calibraciones), con detalle de aceptación o rechazo en cada área. Informe de resultados en función de las constantes de conversión señal-magnitud de salida, con detalle de aceptación o rechazo en cada área.
Información en Etiqueta Sensor	Nº de Serie Nº de Certificado Constantes de conversión eléctricas temperatura Próxima Calibración

b) Pluviómetros: Debido a la naturaleza mecánica del equipo, se realizará un control de llegada previo al ajuste de las excéntricas del pluviómetro y posteriormente se realizará la calibración en sí. Se facilitará una curva de corrección de forma que el error del pluviómetro en todo su rango sea inferior al 4% en volumen. La Tabla 21 recoge los requisitos de calibración.

**Tabla 21. Requisitos de calibración de pluviómetros**

<b>Sensores de Precipitación</b>	
Puntos Calibración	Un ciclo descendente a los siguientes caudales: 180, 135, 90, 45, 24, 12, 6, y 3 mm/h
Ajuste de sensores	Se realiza ajuste mecánico a caudal fijo de 12mm/h Se calculará curva de corrección Tiempo entre Volcados / Volumen de volcado que minimice el error.
Criterios Aceptación	Volumen de volcado del sensor en su conjunto = 4 mm ±

Rechazo en el Ajuste	0,02 mm. Volumen de volcado de cada cazoleta por separado = 4 mm ± 0,04 mm.
Criterios Aceptación Rechazo en la Calibración	Volumen de volcado conjunto = 4 mm. ± 0,08 mm (a 4 mm. ± 2 %). Volumen de volcado de cada cazoleta = 4 mm. ± 0,12 mm (a 4 mm. ± 3 %)
Toma decisiones sensor rechazado	Si el sensor no cumple requisitos en el ajuste o en la calibración se enviará a reparar, siendo re calibrado nuevamente una vez reparado.
Periodo de Calibración	24 meses
Plazo de entrega desde la recepción	Tres semanas
Certificado de Calibración	Certificado de Calibración Acreditado o indicando trazabilidad de los patrones
Otros Informes	Informe de control de llegada y ajuste. Hoja de operación.
Información en Etiqueta Sensor	Código de SOOAA Nº de Serie Nº de Certificado Volumen de volcado en la calibración a 12 mm/h Próxima Calibración Observaciones: Duración mínima del pulso.

c) Barómetros: Se realizará la misma calibración para sensores similares. Si procede se realizará un ajuste eléctrico, indicando las nuevas constantes de conversión Tensión / Presión. Estas nuevas constantes se indicarán en la etiqueta de calibración. La Tabla 22 recoge los requisitos de calibración.

**Tabla 22. Requisitos de calibración de barómetros**

<b>Sensores de Presión absoluta</b>	
Puntos Calibración	Tres ciclos a las siguientes presiones: 825, 875, 925, 975, 1025, 1075, 1075, 1025, 975, 925, 875, 825
Ajuste de sensores	No se realizan ajustes manuales a potenciómetros. Se calcula una recta de regresión lineal y se determinan unas nuevas constantes en el rango eléctrico del sensor

	que modifican la transformación de la señal eléctrica a la magnitud de medida.
Criterios Aceptación Rechazo	Incertidumbre Expandida $\leq \pm 0,35$ hPa
Toma decisiones sensor rechazado	Si se considera que el sensor es “no ajustable” se enviará a reparar, siendo re-calibrado nuevamente una vez reparado.
Periodo de Calibración	24 meses
Plazo de entrega desde la recepción	Tres semanas
Certificado de Calibración	Certificado de Calibración Acreditado (constantes eléctricas originales) o indicando trazabilidad de los patrones
Otros Informes	Informe de resultados en función de las constantes de conversión señal-magnitud de llegada. (2 <sup>as</sup> y posteriores calibraciones), con detalle de aceptación o rechazo. Informe de resultados en función de las constantes de conversión señal-magnitud de salida, con detalle de aceptación o rechazo.
Información en Etiqueta Sensor	Nº de Serie Nº de Certificado Constantes de conversión eléctricas Próxima Calibración

- d) Anemómetros y veletas: Se emitirá un certificado de cada magnitud. Si procede se realizará un ajuste eléctrico, indicando las nuevas constantes de conversión frecuencia/rpm y Tensión/Grado. Estas nuevas constantes se indicarán en la etiqueta de calibración. La Tabla 23 recoge los requisitos de calibración.

**Tabla 23. Requisitos de calibración de anemómetros y veletas.**

Sensores de velocidad y dirección de viento	
Puntos Calibración velocidad de viento	Tres series de medida a rpm crecientes y decrecientes en seis puntos (300, 600, 900, 1200, 1500 y 1800 rpm). Se proporcionará el par de giro y la incertidumbre máxima.
Puntos Calibración dirección de viento	Los puntos de calibración han de cubrir el rango mecánico de la veleta (0 a 360°) en rangos de 30°. Se calculará el rango eléctrico del sensor prestando especial atención al ángulo muerto (diferencia entre el rango mecánico y eléctrico), por lo que se calibrará en dicho rango de grado en grado. Se determinará el par de giro.
Plazo de entrega desde la recepción	Tres semanas.
Certificado de Calibración	Certificado de Calibración Acreditado (constantes eléctricas originales) o indicando trazabilidad de los patrones
Cumplimiento o no de los Criterios Aceptación/Rechazo de velocidad de viento	Incertidumbre Expandida $\leq \pm 3$ rpm
Cumplimiento o no de los Criterios Aceptación/Rechazo de dirección de viento	Incertidumbre Expandida $\leq \pm 1^\circ$
Toma decisiones sensor rechazado	Si no cumple cualquiera de los criterios en dirección o velocidad, se enviará a reparar, siendo re calibrado nuevamente una vez reparado.
Periodo de Calibración	24 meses. Este período podrá ser menor por necesidades puntuales de la DMC.
Otros Informes	Informe de resultados en función de las constantes de conversión señal-magnitud de llegada. (2 <sup>as</sup> y posteriores calibraciones), con detalle de aceptación o rechazo en cada área. Informe de resultados en función de las constantes de conversión señal-magnitud de salida, con detalle de aceptación o rechazo en cada área.
Información en Etiqueta Sensor	Nº de Serie Nº de Certificado Constantes de conversión eléctricas velocidad de viento Constantes de conversión eléctricas dirección de viento Próxima Calibración

- e) Radiación solar: Se emitirá un certificado de acuerdo a los parámetros ofrecidos por el sistema facilitado como patrón. Se indicará la nueva constante de sensibilidad obtenida. La Tabla 24 recoge los requisitos de calibración.

**Tabla 24. Requisitos de calibración de sensores de radiación solar**

<b>Sensores de Radiación solar</b>	
Procedimiento de Calibración	Automated Calibration Facility for Pyranometers
Puntos Calibración	500 W/m <sup>2</sup> y offset
Ajuste de sensores	No se realiza ningún ajuste. Calculo de la responsividad del sensor.
Criterios Aceptación Rechazo	Impedancias dentro de rango según manual fabricante. Deriva menor del 2%
Toma decisiones sensor rechazado	Si la impedancia está fuera del margen indicado se envía a reparar, siendo re calibrado nuevamente una vez reparado.
Periodo de Calibración	12 meses
Plazo de entrega desde la recepción	Tres semanas
Certificado de Calibración	Certificado de Calibración Acreditado (constantes eléctricas originales) o indicando trazabilidad de los patrones
Información en Etiqueta Sensor	Código SOOAA N° de Serie N° de Certificado Responsividad Próxima Calibración

H. Luego de realizada la calibración se deberán chequear los datos de cada sensor calibrado en la estación, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 25. Los registros deberán estar a disposición de la autoridad pertinente en todo momento.

**Tabla 25. Lista de puntos a chequear luego de la calibración de los instrumentos.**

<b>Antecedentes de empresa administradora de estación</b>	
Empresa:	Dirección:
Responsable:	Teléfono:
Empresa responsable de calibración:	
Persona responsable de calibración:	Fecha:

Nombre estación:							
Latitud:							
Longitud:							
Parámetro	Modelo sensor / ID o N° serie	Condiciones iniciales	Calibrador/patrón	Desviación actual	Fecha última calibración	N° Certificado de calibración	Observaciones
Temperatura del aire							
Radiación solar							
Presión atmosférica							
Dirección del Viento							
Velocidad del viento							
Estado sensores de radiación solar							
Protector radiación							
Pluviómetro							

### **10.6.2.2. Protocolos Estaciones Oceanográficas**

El monitoreo operacional de las variables oceanográficas consideradas por SOOAA (esenciales y propuestas dentro del proyecto) implica el uso de distintos tipos de instrumentos oceanográficos los que, en términos generales, corresponden a sensores electrónicos. Estos estarían sumergidos a distintas profundidades en la columna de agua, expuestos a un ambiente donde, si no se tienen en cuenta ciertos resguardos, podría ser hostil, reflejándose, por ejemplo, en una pérdida total de dicho equipamiento o en el daño de algunos de sus componentes, alterando la calidad de las respectivas mediciones.

Si bien la tecnología de este instrumental considera de manera basal este aspecto en su diseño (a través de experimentos de laboratorio efectuados por los fabricantes con el fin de definir rangos específicos de operatividad), existen ciertas características o procesos dentro del ambiente acuático que no pueden ser modeladas ni reproducidas experimentalmente (por ejemplo el impacto de la actividad biológica), provocando cierto grado de incertidumbre en su registro, el cual debe ser conocido, mitigado o minimizado por sus usuarios a través de diversas técnicas logísticas, operacionales y/o estadísticas.

Como fue mencionado, a diferencia del monitoreo meteorológico no existe una estandarización internacional respecto a las normativas y protocolos de instalación, mantención, verificación y calibración de una estación de observación oceanográfica operacional, sin embargo las distintas instituciones (nacionales e internacionales) que realizan este tipo de actividad, poseen pautas claras que velan porque este monitoreo sea lo más fidedigno posible en la representatividad de la variabilidad del ambiente acuático,

mostrando ciertos puntos en común que serían clave en el buen desarrollo de esta tarea, los que también deberían ser implementados dentro de los protocolos de SOOAA.

Cabe destacar que cada procedimiento deberá ser registrado en el documento correspondiente (Anexo 14.6).

#### **10.6.2.2.1. Instalación**

A. La entidad encargada de instalar la estación de monitoreo además de contar con el personal técnico capacitado para dicha tarea, deberá contar con un vehículo marítimo cuyas capacidades sean las adecuadas para el desarrollo de la maniobra. Será parte de sus responsabilidades disponer de dicha embarcación, pudiendo ser propia o arrendada, lo que será informado y detallado como gasto operacional. Debe existir una constante comunicación y clara coordinación entre la entidad que requiere el servicio, la entidad encargada de la instalación del sistema de monitoreo, su personal técnico y tripulación a bordo.

B. Se deberá desarrollar un documento que detalle la planificación de la maniobra de despliegue del sistema de monitoreo, donde se definirá la naturaleza del trabajo a realizar e incluirá una lista del equipamiento necesario, los diagramas de diseño y configuración del sistema de monitoreo, y los requerimientos logísticos. También es pertinente que incluya información asociada a posibles causas de falla. Este documento se preparará con amplia antelación a la fecha del despliegue, y será entregado a la entidad que requiere del servicio, personal de campo y tripulación de embarcación.

C. Se deberán realizar reuniones entre ambas entidades (la que requiere y la que efectuará el despliegue del sistema de monitoreo) para la discusión y planificación del itinerario de navegación, donde además se explicará y estudiará la maniobra de despliegue, detallando el equipamiento a utilizar, el procedimiento operacional y las normativas de seguridad. Además, se entregará una bitácora de planificación detallando la ocurrencia de los acontecimientos, incluyendo una descripción de la maniobra, la configuración del instrumental dentro del sistema de monitoreo, estadillos, entre otros.

D. El personal técnico a cargo del despliegue del sistema de monitoreo asociado a la entidad prestadora del servicio tiene como responsabilidad:

- a) Asegurarse de que todos los componentes del sistema de monitoreo y equipamiento de apoyo operativo sean cargados en la embarcación.
- b) Entregar todos los servicios, reparaciones, o ajustes necesarios al sistema de monitoreo.
- c) Realizar una exhaustiva inspección del sistema de monitoreo, en su totalidad, previo al inicio de la navegación, asegurando la operatividad de dicho sistema.
- d) Recomendar las técnicas más adecuadas para la maniobra de despliegue al capitán y tripulación de la embarcación, con el fin de reducir el riesgo de daño al instrumental por golpes con la propia embarcación o daño a la línea por la hélice.
- e) Preparar un reporte preciso y completo de la operación, incluyendo todas las pruebas e información de las configuraciones del equipamiento que sean pertinentes, una

exacta documentación de la configuración del sistema de monitoreo posterior a su despliegue, y cualquier cambio realizado a este.

- f) Considerar que la seguridad del personal es el factor primario en el control de la operación (maniobra).

E. La liberación del sistema de monitoreo al mar, efectuado por el personal técnico, se iniciará por la boya superficial, seguida de la línea con sus respectivos sensores adosados, y por último su ancla (peso muerto), detallando la hora, posición geográfica y profundidad exacta de su liberación.

F. La operatividad del sistema de monitoreo debe ser verificada antes de liberar los datos a sus usuarios, por lo que posterior a su despliegue se realizarán mediciones de campo de las variables meteorológicas y de la columna de agua en la vecindad de la estación de monitoreo. Esta información será utilizada para compararla con los datos transmitidos por el sistema.

#### **10.6.2.2.2. Mantenimiento**

La mantención de la estación de monitoreo oceanográfico, deben ser realizada por una entidad que cuente con las capacidades humanas y físicas necesarias para llevarlas a cabo disponiendo de la plataforma de trabajo y los materiales necesarios. Existirán cuatro tipos de mantenciones:

##### **A. Mantención preventiva**

La mantención preventiva se deberá realizar una vez al mes. Dada la disposición vertical de la mayoría de los sensores del sistema de monitoreo, y su ubicación en el estrato de mayor

---

actividad biológica (0 - 25 m de profundidad), sus componentes serán afectados por el biofouling. Esta actividad consistiría en:

- a) Limpieza in-situ de los sensores: Se deberán limpiar termistores, sensores de conductividad, presión, fluorescencia, turbidez, pH, y de oxígeno disuelto en el caso de que se esté utilizando un sensor óptico. Además se deberán limpiar los transductores del ADCP. Para esto se deberán seguir las especificaciones del respectivo fabricante, respetando los materiales recomendados y deberá ser realizado por un buzo entrenado y certificado.
- b) Si el sensor de oxígeno disuelto funciona con sistema de membrana, ésta debe ser reemplazada durante cada procedimiento de mantenimiento preventiva.
- c) Se deberán sustituir todos los componentes del sistema que funcionen como ánodos de sacrificio.

#### B. Mantenimiento de rutina

Las mantenciones de rutina, corresponden a mantenciones completas, que se deben realizar al menos una vez al año. Para esto se deberá sacar la boya del agua y todos los sensores deberán ser limpiados en profundidad:

- a) Plan anual: Para realizar las mantenciones se deberá realizar un programa anual, en donde se tenga en consideración que todas las estaciones deben estar en completo funcionamiento durante los periodos de producción de las Concesiones de Acuicultura.

- b) Las mantenciones deben ser rotativas y coordinadas, de manera que siempre exista al menos una estación por Concesión que este en completo funcionamiento, para de esta manera poder obtener un estudio continuo del medio ambiente.
- b) Para asegurar que los datos sean continuos, las mantenciones se deberán realizar en un máximo de una semana, dentro de la cual se deberá realizar rescate de equipos, maniobras de limpieza y puesta en marcha.
- c) En casos en los que, por condiciones climáticas no se puedan realizar las maniobras de reposición de boya y/o sensores dentro del plazo establecido, este podrá ser extendido máximo, a un total de 2 semanas, y se deberá dar aviso oportuno a las autoridades correspondientes del atraso indicando las razones climáticas que lo provocaron.
- d) Plataforma: La mantención incluye la limpieza y eliminación del biofouling en cadenas, cabos, grilletes, amarras, etc. Se deberán revisar todos los sistemas de amarre y asegurar que estén en buenas condiciones. De no ser así deberán ser reemplazados.
- f) Se deberá realizar una revisión completa de los cables el sistema, para descartar fallos. Si algún cable se encuentra dañado o muestra indicios de daños que puedan afectar las comunicaciones, en el corto, mediano o largo plazo, deberá ser reemplazado.
- g) Sensores: Se deberá realizar una limpieza profunda de la totalidad de los sensores (conductividad, presión, fluorescencia, pH, turbidez temperatura, corrientes y oxígeno disuelto). Se debe considerar la eliminación de biofouling y revisión del estado general.

h) Durante las mantenciones de rutina además se realizarán las calibraciones de los diferentes sensores (revisar punto 10.6.2.2.5 del proyecto)

#### C. Mantenimiento correctiva

Las mantenciones correctivas, se realizarán cuando posterior a la verificación (10.6.3.3 del proyecto) se determine que es necesaria, por lo cual no es regular. Para esto se reemplazarán los componentes averiados, ya sean, sensores o parte de la infraestructura de la plataforma.

#### D. Mantenimiento de emergencia

La mantención de emergencia, deberá ser informada a las autoridades respectivas y anotadas en la hoja de vida de la estación de monitoreo. Se dará en dos casos:

A. En caso de que exista una falla de sensor imprevista: En caso de que el sensor se encuentre destruido o perdido, o falla en cables. Inicialmente se deberá realizar una inspección in-situ (buzo profesional certificado) para ver a qué se debe el fallo, para luego ser solucionado. Si no es posible solucionar el error (reparar el sensor y/o cable), se deberá reemplazar por un nuevo sensor calibrado o cable nuevo. La resolución de la falla debe realizarse dentro de la primera semana luego de detectada la falla (2 semanas máximo si es que las condiciones de tiempo no permiten solucionarlo dentro de la primera semana).

B. En caso de que exista un corte de amarre de la boya y por ende pérdida total de los sensores: En primera instancia, se deberán intentar maniobras de búsqueda (mediante señal GPS, 10.7.3.4 del presente proyecto) y posterior recuperación. De poder recuperarse la boya, se deberá realizar una mantención y calibración completa de los sensores, para lo que se

deberán respetar los tiempos correspondientes a cada operación. De no lograr recuperar la boya, se deberá dar aviso a las autoridades correspondientes y reinstalar una nueva estación de monitoreo en un máximo de 30 días.

#### **10.6.2.2.3. Validación**

A. Se deberá realizar una validación de las mediciones de los sensores complejos antes de ser instalados por primera vez y durante las mantenciones, poniendo especial atención en los sensores de oxígeno y salinidad debido a su importancia.

##### a) Oxígeno disuelto

Las mediciones del sensor de oxígeno deben ser validadas antes de la instalación. Para esto:

i) La calibración de cada sensor de oxígeno debe ser realizada considerando soluciones estándar de saturaciones de oxígeno desde 0 a 100% en laboratorio siguiendo exactamente el protocolo indicado por el fabricante para garantizar la precisión y exactitud de las mediciones.

ii) Esta validación debe hacerse considerando el tipo de agua en estudio (e.g., agua dulce, salobre o salada).

iii) Una vez instalado el sensor en el anclaje de la estación de monitoreo, durante su funcionamiento (recomendable al menos una vez al mes) y después del mantenimiento de la estación de monitoreo, se deben tomar muestras de agua, utilizando una botella Niskin, junto al anclaje para el análisis de oxígeno mediante la metodología propuesta por Winkler modificado por Carpenter (1965).

iv) La colección de muestras de agua para la determinación de oxígeno, debe realizarse, con triplicado, a cada profundidad en donde se localicen los sensores de oxígeno y junto a estos.

v) Las concentraciones de oxígeno obtenidas por el método de Winkler deben ser comparadas con las mediciones obtenidas por el correspondiente sensor de oxígeno dentro de las primeras 48 horas desde la toma de muestra.

Vi) Si la concentración de oxígeno disuelto determinada por el método de Winkler difiere en más de un 10% de las mediciones obtenidas del sensor para la hora y profundidad a la cual se colectó la muestra, se debe reemplazar por un sensor calibrado.

vii) El reemplazo del sensor debe realizarse no más allá de 1 semana de detectada las diferencias, dejando anotado cuando se realiza el cambio de sensor y dando aviso del error presentado en las mediciones.

viii) Si el mantenimiento del anclaje requiere remover los sensores de oxígeno, se deben tomar muestras de agua para el cálculo del contenido de oxígeno semanalmente en las profundidades establecidas para los sensores en la estación de monitoreo. Para esto se deberá tomar agua mediante una botella Niskin, y realizar las mediciones mediante la metodología propuesta por Winkler modificado por Carpenter (1965).

ix) La estación de monitoreo tiene un tiempo de máximo 4 semanas de corrido en las que puede encontrarse sin mediciones de oxígeno disuelto obtenidos con sensores en el anclaje. En el caso que los sensores sean removidos durante la época de producción, el periodo sin

mediciones no puede superar las 2 semanas, debiendo contar con mediciones continuas en el resto de las estaciones de la concesión.

#### b) Conductividad (Salinidad)

Para la validación de las mediciones de los sensores de salinidad se deben realizar mediciones de salinidad antes de la instalación del sensor en la estación de monitoreo, a la profundidad y en el lugar exacto donde posteriormente se instalará el sensor. i) Luego de la instalación del sensor en el anclaje de la estación de monitoreo y después de cada mantención del anclaje se debe tomar muestras de agua de mar para ser analizadas y comparadas con las mediciones del sensor.

ii) Esta toma de muestra debe realizarse considerando varias réplicas en el tiempo que considere un periodo de tiempo que incluya una variabilidad de salinidades de acuerdo a la variabilidad ambiental en la cual se desplegará el sensor.

iii) La determinación de salinidad del agua de mar se realiza mediante salinómetro inductivo utilizando como referencia agua de mar estándar preparada por el Ocean Scientific International (certificación IAPSO, International Association for Physical Sciences of the Ocean).

#### **10.6.2.2.4. Verificación**

A. La entidad o personal encargado de esta tarea debe realizar una constante vigilancia de la calidad de los datos registrados, empleando el monitoreo en línea del comportamiento de la

variabilidad de las señales generadas, apoyándose en simple observación o valores instrumento patrón (calibrado y certificado).

B. Para esto, una vez al mes, durante las mantenciones preventivas, luego de limpiar los sensores, se deberán tomar muestras de agua, utilizando una botella Niskin, en el punto y a las profundidades de medición de los sensores para ser analizadas en laboratorio y así verificar los datos de los sensores.

a) Conductividad (Salinidad)

Para verificar los datos obtenidos por el sensor de salinidad, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

i) Obtención de muestras para la determinación de salinidad

Las muestras de salinidad de diferentes profundidades son recolectadas desde las botellas Niskin. Estas muestras son sacadas después del muestreo de Oxígeno disuelto, CO<sub>2</sub>, pH y nutrientes.

Las botellas usadas son de borosilicato con tapa hermética y de una capacidad de unos 200 ml. Estas botellas se deben mantener permanentemente con una cantidad de agua de mar (1/3) para que el vidrio se mantenga saturado de sal. Para tomar la muestra se enjuaga con la muestra que se desea tomar, para lo cual se llena con unos 30 ml de agua se tapa y se agita bien y luego se elimina el agua de modo que enjuague la tapa. Esta operación se repite tres veces. Posteriormente se llena la botella y se tapa bien para evitar pérdidas por evaporación o escurrimiento de la muestra.

## ii) Determinación de salinidad

La determinación de salinidad del agua de mar se realiza mediante salinómetro inductivo utilizando como referencia agua de mar estándar preparada por el Ocean Scientific International (certificación IAPSO, International Association for Physical Sciences of the Ocean).

## b) Oxígeno disuelto

Para verificar los datos obtenidos por el sensor de oxígeno disuelto, se deberá realizar mediante la metodología propuesta por Winkler modificado por Carpenter (1965).

- Materiales
  - Botella Niskin
  - Pipetas cuantitativas de 1 y 10 ml
  - Pipetas automáticas de 1 ml para la fijación de las muestras
  - Matraces de determinación Yodo de 125 ml
  - Buretas de 25 y 50 ml
  - Bureta Dosimat 665 de 10 ml
  - Solución de Cloruro de Manganeso (Solución A)
  - Solución de Yoduro Alcalino (Solución B)

- Metodología

i) Muestreo

- 1.- Abra la llave desahogo y después la llave de desagüe de la botella Niskin, dejando escurrir un poco de la muestra y así desplazar el aire de la manguera de drenaje.
- 2.- Enjuague el matraz de muestreo de oxígeno disuelto, a lo menos 3 veces con la muestra a analizar.
- 3.- Introduzca la manguera de drenaje hasta el fondo del matraz y llénelo lentamente con la muestra, evitando formación de burbujas para no alterar la concentración de ella.
- 4.- Dejar rebalsar, al menos, unos 125 ml de muestra fuera del matraz (al menos una vez el volumen del matraz) y así asegurar una muestra representativa de la zona donde esta se tomó.
- 5.- Sacar la manguera sin cortar el flujo. Cortar el flujo fuera del matraz.
- 6.- Tapar sin dejar atrapadas burbujas en el interior del matraz de muestreo. Fijarse que el número de la tapa y el número del matraz sean mismo.
- 7.- Botar excedente de agua que queda en el cuello del matraz.

ii) Fijación de oxígeno disuelto

- 1.- Destapar el matraz cuidadosamente sin provocar burbujas ni derramar muestra.
- 2.- Agregar rápidamente primero 1 ml de solución A ( $MnCl_2$ ) y luego 1 ml de solución B (KI-NaOH) sin provocar burbujas y sin tocar los bordes del matraz de muestreo para no dejar restos de reactivos en los bordes del cuello del matraz.
- 3.- Volver a colocar la tapa esmerilada, sin dejar burbujas de aire en el interior, botar el exceso de muestra que salió producto de la adición de los 2 ml de reactivos y agitar

enérgicamente para mezclar totalmente los reactivos, de modo que el precipitado recién formado quede bien esparcido.

4.- Dejar decantar el precipitado formado hasta la mitad del matraz (esto toma alrededor de una media hora). Mantener en oscuridad.

5.- Agitar nuevamente y dejar decantar hasta que el precipitado ocupe la cuarta parte inferior del matraz (una hora aproximadamente).

6.- Mantener los matraces en un lugar oscuro hasta su posterior titulación

### iii) Análisis de las muestras

1.- Una vez que se desea realizar el análisis de las muestras (el precipitado ya ha decantado), se limpia bien el cuello del matraz de posibles residuos de reactivos (con papel húmedo o lavando cuidadosamente con agua destilada y secando después). Se destapa la muestra y se acidifica con 1 ml de  $H_2SO_4$  10 N, se agrega una barra de agitación magnética y se coloca sobre el agitador magnético, agitando lentamente hasta disolver totalmente el precipitado.

2.- Una vez disuelto todo el precipitado y liberado el yodo, se empieza a titular con tiosulfato 0,03M (con la bureta normal o el Dosimat) agregando lentamente el tiosulfato. Utilizar un fondo blanco para percibir mejor el cambio de color (de amarillo intenso a amarillo pálido) e iluminar con una lámpara de luz blanca.

3.- Cuando se acerca al punto final (color amarillo muy pálido), agregar 3 gotas de solución almidón-glicerina. La solución toma un color azul intenso. Si el color producido es café-azul, se debe cambiar la solución de almidón-glicerina (punto final erróneo). Seguir titulación muy lentamente hasta decoloración total permanezca unos 20 segundos.

#### 4.- Anotar volumen gastado

##### iv) Cálculos

$$\text{O2 disuelto mL/L} = [((V_{mu}-V_{bco})/(V_{ma}-2))*K] - 0,018$$

$$K = 560 / (V_{std} - V_{bco})$$

$V_{mu}$  = volumen de tiosulfato gastado en titulación de la muestra.

$V_{bco}$  = volumen de tiosulfato gastado en titulación del blanco.

$V_{ma}-2$  = volumen del matraz menos 2 ml (agregado en reactivos)

$V_{std}$  = volumen de tiosulfato gastado en titulación del estándar.

0,018 = oxígeno disuelto agregado en los reactivos.

##### c) Fluorescencia

Para verificar los datos obtenidos por el sensor de fluorescencia, se debe determinar la concentración de clorofila a la cual el sensor de fluorescencia está adquiriendo datos. Para ello, se deben considerar los siguientes protocolos de colección de muestras y análisis.

##### i) Obtención de muestras para la determinación de clorofila

- Materiales:
  - Botella Niskin
  - Bidón de 1 lavado con HCl al 10%, enjuagado con agua destilada y envuelto con material que permita la oscuridad al interior.
  - Embudo
  - Filtro GF/F de 25 mm de diámetro
  - Sistema de filtración al vacío
  - Pinzas
  - Piseta con agua destilada
  - Piseta con Etanol 70%

- Papel tissue
- Guantes
- Sobres de papel de aluminio o crioviales envueltos en papel aluminio
- Congelador (-20°C)
- Metodología:

Mediante botella Niskin y con la ayuda de un embudo obtener 1 L de agua de mar en el bidón (cebar tres veces antes de obtener la muestra). Mantener en oscuridad y refrigerado hasta el filtrado (no más de 2 horas desde la obtención de la muestra). Filtrar 300mL de agua de mar mediante bomba de vacío a una presión igual o menor a 5 psi. Una vez que termine el filtrado, sacar el filtro con una pinza previamente lavada con etanol 70% evitando romper el filtro. Doblar el filtro en 4, evitando remover el material particulado. Guardarlo en un sobre de papel aluminio o en un criovial debidamente etiquetado. Proceder a la determinación de clorofila o almacenar a -20°C hasta su análisis en laboratorio. Tomar muestras en triplicado. Registrar la identificación de la muestra y el volumen filtrado.

Precaución: antes de poner el agua de mar a los vasos de filtración el bidón debe agitarse para asegurar que el contenido esté debidamente homogeneizado.

#### ii) Determinación de clorofila

- Materiales:
  - Acetona 90%
  - Frascos de vidrio con tapa de 15 mL
  - Ácido Clorhídrico 5%

- Gotario
- Cubeta medición
- Papel tissue
- Flourómetro
- Metodología:

La metodología utilizada para la determinación de clorofila es la propuesta por (Holm-Hansen *et al.*, 1965; Holm-hansen and Riemann, 1978) mediante un flourómetro calibrado con estándares de clorofila. En un ambiente oscuro, directamente desde el congelador, ponga cada filtro en un frasco de vidrio de 15 mL debidamente identificado y rápidamente adicione 10 mL de acetona 90%. Cierre el frasco y vuelva a congelar por al menos 24 h, para permitir que la acetona extraiga la clorofila.

Pasado el tiempo en el congelador, saque las muestras en un ambiente oscuro y bien ventilado. Mantenerlas al menos una hora. Prender el flourómetro por lo menos una hora antes del inicio de la medición.

Ponga unos pocos mL de muestra en la cubeta de medición y deseche. Luego vuelva a poner muestra en la cubeta hasta 1 cm del borde. Limpie bien la cubeta con papel tissue y ubíquela en el flourómetro. Permita que se establezca la medición por 30 segundos. Registre la fluorescencia ( $F_0$ ). Luego adicione 2 gotas de HCl 5% a la cubeta. Vuelva a poner la cubeta en el flourómetro y permita que se establezca la medición por 30 segundos. Registre el valor de fluorescencia ( $F_a$ ). Deseche la muestra y lave con acetona, para evitar que queden residuos de ácido que interfieran con la siguiente medición.

iii) El cálculo de concentración de clorofila se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Chla \left( \frac{\mu g}{L} \right) = \frac{F_m k v (F_0 - F_a) (d)}{(F_m - 1) V_f}$$

$$Phaeopigmentos a \left( \frac{\mu g}{L} \right) = \frac{F_m k v (F_m F_a - F_0) (d)}{(F_m - 1) V_f}$$

F<sub>m</sub>: coeficiente de acidificación (F<sub>0</sub>/F<sub>a</sub>)

V: volumen de acetona usado para la extracción (mL).

K: factor de calibración que relaciona la cantidad de pigmento a la intensidad de la fluorescencia (μg Chlo-a / mL de solvente)/unidad de fluorescencia del instrumento (obtenido de la calibración del equipo).

d: factor de dilución de extracto (obtenido de la calibración del equipo)

V<sub>f</sub>: volumen de agua de mar filtrado

d) pH

Para verificar los datos de pH obtenidos mediante sensores ópticos, se requiere coleccionar muestras desde la profundidad de localización del sensor, registrando la hora de colección.

La colección de muestras y determinación de pH deben considerar los siguientes protocolos de colección de muestras y análisis.

i) Obtención de muestras para la determinación de pH

- Materiales:
  - Botella Niskin
  - Jeringas de 60 mL con tapón
  - Manguera Tygon

- Metodología:

Mediante botella Niskin coleccionar agua de mar de la profundidad deseada utilizando una manguera tygon en la válvula de salida de la botella. Cebarr la jeringa con 20-30 mL tres veces. Colecete la muestra de agua de mar llenando lentamente la jeringa hasta completar 60 mL para evitar la formación de burbujas. Tape la jeringa y almacene en oscuridad y refrigerado (4°C) hasta su análisis en laboratorio, el cual debe realizarse no más de 4horas de tomadas las muestras.

ii) Medición de pH

- Materiales:

- Baño termostatado
- Electrodo combinado
- Soluciones Tampón de pH 4, 7 y 10
- Barra magnética
- Agitador magnético

- Metodología:

Colocar las jeringas con muestras de agua de mar en un baño termostatado a una temperatura de 25° C.

Antes de comenzar con la determinación de pH de la muestras de agua de mar, el electrodo debe calibrarse con las soluciones tampón de acuerdo a la metodología indicada por el fabricante.

Una vez calibrado el electrodo, se procede a la determinación de pH en la muestra de agua de mar. Para ello, el electrodo debe lavarse con agua destilada para eliminar cualquier residuo de las soluciones tampón u otra muestra. En un vaso precipitado poner la muestra de agua, agitar y medir el pH con el electrodo hasta que la lectura se estabilice. Registrar el pH.

C. Si durante estos procedimientos se detectan mediciones anómalas, se debe informar a la entidad a cargo y proceder con una mantención correctiva o calibración del instrumental, empleando para esto no más de 1 semana.

#### **10.6.2.2.5. Calibración**

A. La calibración de los sensores de las estaciones de monitoreo debe efectuarse por una entidad que posea el personal técnico calificado y las capacidades físicas necesarias para realizar las distintas pruebas requeridas durante este procedimiento.

B. Cada sensor posee un protocolo de calibración estándar el cual se detalla en sus respectivos manuales, definidos por su fabricante, yendo desde ajustes de polinomios con constantes de calibración, ajustes respecto a muestras de agua estandarizada o instrumentos patrones, o incluso a pruebas de tipo más mecánicas, como por ejemplo en los perfiladores acústicos de corrientes (ADCP), donde se requiere de un laboratorio de calibración.

C. Algunos de estos procedimientos pueden ser realizados durante una maniobra de recuperación para la mantención del equipamiento, sin embargo, se recomienda que estos sean efectuados dentro de un establecimiento donde se tenga un claro control de las distintas variables que inciden en su óptima calibración.

D. De no observarse durante el procedimiento de verificación de la calidad de las mediciones un comportamiento anómalo, se recomienda que este procedimiento de calibración sea efectuado de manera anual.

E. En el caso de las calibraciones, al igual que las mantenciones, deben ser realizadas de forma coordinada y rotativa de manera que siempre haya mediciones en todas las Concesiones y minimizando al máximo los tiempos sin medición por estación.

F. Los sensores que puedan ser calibrados dentro del país, tienen un máximo de 7 días para estar nuevamente en funcionamiento, en el caso que deba salir del país, este tiempo se extiende a un máximo de 15 días.

G. Luego de realizada la calibración se deberán chequear los datos de cada estación (Tabla 26). Se deberán registrar los datos para cada profundidad de medición. Los registros deberán estar a disposición de la autoridad pertinente en todo momento.

**Tabla 26. Lista de puntos a chequear luego de la calibración de los instrumentos.**

<b>Antecedentes de empresa administradora de estación</b>			
Empresa:		Dirección:	
Responsable:		Teléfono:	
Empresa responsable de calibración:			Fecha:
Persona responsable de calibración:			

Nombre estación:
Latitud:
Longitud:

<b>Profundidad (m) :</b>							
Parámetro	Tipo de instrumento	Modelo sensor / ID o N° serie	Fecha compra	Fecha última calibración	N° Certificado de calibración	Resultado calibración	Observaciones
Temperatura							
Conductividad							
Presión							
Corrientes							
Fluorescencia							
Turbidez							
Oxígeno disuelto							
pH							

### **10.6.2.3. Metodologías alternativas de medición**

Según lo discutido en reuniones, y debido a la inexistencia de una tecnología probada o al difícil acceso debido a los altos costos de sensores que cuenten con las características necesarias para medir nutrientes y FAN de forma continua en un sistema en línea como SOOAA, es que se proponen metodologías alternativas para estas variables. Estas metodologías deberán ser utilizadas hasta el momento en que los sensores estén probados y/o sean accesibles para ser incorporados al sistema SOOAA de manera permanente, de acuerdo a lo siguiente:

#### **A. Nutrientes**

##### **1) Nitrato y Fosfato**

a) En el caso de períodos en los que no se cuente con mediciones continuas de nitrato y fosfato, se recomienda el análisis del contenido de nitrato y fosfato de las aguas del sitio al menos de forma semanal.

b) Los materiales para la obtención de la muestra para el análisis de nutrientes son:

- i) Frascos de plástico de alta densidad, los cuales deben ser previamente lavados con ácido clorhídrico (10%) y enjuagados con agua destilada.
- ii) Filtros de fibra de vidrio de 0,7  $\mu\text{m}$  (en trompos).
- iii) Jeringas de 60mL luerlock para conectar los trompos con filtro.

c) La muestra de agua debe ser tomada filtrando 60 mL y almacenadas en los frascos, cebando tres veces cada frasco. Tres muestras deben ser tomadas. Las muestras filtradas deben ser congeladas inmediatamente a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior análisis en laboratorio.

d) La determinación de nitrato y fosfato debe realizarse mediante colorimetría por el método de Strickland & Parsons, 1972.

## **2) Amonio**

a) Las concentraciones de amonio en agua de mar se deben analizar del al menos de forma semanal.

b) Los materiales para la obtención de la muestra para el análisis de amonio son:

- i) Botellas Niskin.
- ii) Cuerda graduada.
- iii) Mensajero.
- iv) Frascos de vidrio graduados de 100mL.
- v) Micropipeta.
- vi) Guantes.
- vii) Reactivos

c) Toma de datos

i) Se debe lanzar la botella Niskin con la cuerda graduada hasta la profundidad seleccionada en donde se lanza el mensajero para el cierre de la botella.

ii) La muestra de agua debe ser tomada directamente de la botella Niskin, cebando cada frasco de vidrio tres veces. Luego se colectan 40mL de agua de mar.

iii) Para cada profundidad se colectan 5 muestras. Tres para determinación de la concentración de amonio, una para determinación del Efecto de Fondo (EF) y una para la determinación del Efecto Matriz (EM).

iv) Las muestras para determinación de amonio deben ser fijadas inmediatamente después de obtenidas de la botella Niskin con 10 mL de solución de trabajo y guardadas en oscuridad a 5°C.

v) La muestra para determinar el efecto de fondo es fijada con 10 mL de solución de borato de sodio. Luego deben ser guardadas en oscuridad a 5°C.

vi) A la muestra para determinar el efecto matriz se le adicionan 800 µL de solución stock de amonio (25µM) para alcanzar una concentración final de 0,5 µM. Inmediatamente se adiciona 10 mL de solución de trabajo y son guardadas en oscuridad y a 5 °C.

vii) Las muestras deben ser almacenadas en oscuridad hasta su posterior análisis en laboratorio.

viii) La determinación de amonio se realiza mediante método de fluorimetría (Holmes *et al.*, 1999).

#### d) Reactivos

i) *Solución de sulfito de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>):* pesar 2 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> y disolver en 250 mL de agua desionizada. Almacenada en botella de vidrio a temperatura ambiente, la solución es estable por 1 mes.

ii) *Solución buffer de Borato ( $Na_2B_4O_{10}H_2O$ )*: pesar 80 g de borato de sodio y disolver en 2 litros de agua desionizada. Se recomienda utilizar agua Milli-Q entibiada en un hervidor de uso exclusivo para facilitar la disolución del borato. Agitar hasta disolver.

iii) *Solución OPA (Orthophthaldialdehyde)*: pesar 4 g de OPA y disolver en 100 mL de etanol ultra puro.

iv) *Solución de trabajo (WS)*: Adicione 10 mL de la solución de sulfito de sodio a 2 L de la solución buffer de borato. Agregue 100 mL de solución OPA. Mantener a temperatura ambiente. La solución es estable por 6 meses. Se recomienda utilizar la solución después de un mes de preparada.

v) *Solución Patrón Primario de amonio ( $NH_4Cl$ )*: secar el reactivo  $NH_4Cl$  a  $105^\circ C$  por 1 hora y dejar enfriar en un desecador. Pesar 1,07 g y disolver en 1 L de agua desionizada. La concentración de este stock primario es 20 mM. Mantener refrigerado y sellado.

Vi) *Solución Patrón secundario de amonio*: lleve 25 ml de la solución patrón primario de amonio a 500 mL de agua desionizada. La concentración de patrón secundario de amonio es 1000  $\mu M$ . Mantener refrigerada y sellada.

vii) *Solución estándar de amonio de trabajo (25  $\mu M$ )*: tome una alícuota de solución patrón secundario y llevar a 1 L con agua desionizada. Mantener refrigerada y sellada.

## **B.FAN**

a) Para el caso de las FAN, su medición se realiza mediante la cuantificación de fitoplancton. Para esto se toman muestras de agua mediante lances de arrastre de red (150µm de abertura).

b) Los materiales para la obtención de la muestra para la cuantificación de fitoplancton son:

- i) Red de plancton 20 µm
- ii) Plomo
- iii) Botella Niskin
- iv) Cuerda graduada (cada 50-100 cm)
- v) Mensajero
- vi) Recipientes de vidrio oscuro etiquetado de 100mL
- vii) Pipeta
- viii) Solución fijadora de Lugol
- ix) Disco Secchi

c) Muestreo con red

- i) Determinar la profundidad de la capa iluminada (P) mediante el lanzamiento del disco Secchi con la cuerda graduada. Registrar la profundidad a la cual el disco deja de verse desde la superficie (D). Mediante la ecuación:

$$P = 2,7 \times D \text{ (m)}$$

P: Profundidad de compensación, que será utilizada para determinar la profundidad de muestreo para el análisis de fitoplancton.

- ii) Realizar un lance vertical de la red desde la profundidad P, determinada con el disco Secchi.
  - iii) Verter el contenido del copo de la red en los frascos de plástico oscuro etiquetados y adicionar 2 mL de lugol. Se debe almacenar la muestra en oscuridad.
- d) Muestreo con botella
- i) Si se requiere la cuantificación de fitoplancton a profundidades discretas, se debe lanzar la botella Niskin con la cuerda graduada. A la profundidad deseada, se lanza el mensajero para el cierre de la botella.
  - ii) Una vez en cubierta, se obtiene la muestra de agua desde la botella, almacenándose en las botellas de vidrio oscuro y se adiciona 2 mL de lugol. La muestra debe ser almacenada en oscuridad.
  - iii) Si se desea concentrar la muestra, se puede filtrar por un tamiz (20 $\mu$ m) registrando el valor del volumen filtrado. Una vez que se ha filtrado el volumen deseado.
  - iv) La cuantificación de fitoplancton se realiza en laboratorio mediante microscopio invertido (Edler & Elbrachter, 2010).

#### **10.6.2.4. Protocolo sistemas de comunicación**

Para asegurar el correcto funcionamiento de SOOAA es necesaria una continua transmisión de los datos que cumpla con estándares de calidad y seguridad. Cabe recordar que existen una infinidad de sistemas independientes o combinados de comunicación, sin embargo, para SOOAA, se sugiere la utilización de redes GPRS, antenas de bajo consumo LoRa, HF, comunicación satelital o Ethernet.

##### **10.6.2.4.1. Selección sistema de comunicación**

A. Primeramente, es importante detallar cómo se deberá realizar la elección del sistema de comunicación. Dado que la regla general es asegurar que el dato obtenido por las estaciones de monitoreo lleguen a destino en tiempo real y sin errores es que la selección de sistemas se efectuará siguiendo los siguientes criterios:

- i) 90% datos recuperados: Se deberá asegurar que los datos recuperados, para cada estación de monitoreo, correspondan al menos al 90% de los datos totales medidos. Por lo tanto el sistema de comunicación escogido debe cumplir con los estándares necesarios para que esto se cumpla.
- ii) Cobertura: Se deberá estudiar la cobertura para los diferentes sistemas, y se deberá escoger el/los que tenga/n una mejor cobertura, y una señal fuerte y estable durante todo el año. Si dos sistemas poseen la misma cobertura, podrá ser usado cualquiera de ellos, siempre y cuando cumpla con el resto de los criterios. Si los sistemas presentan en general mala cobertura, o la cobertura es intermitente en el punto de medición, se deberá considerar

implementar un sistema complementario con más de un tipo de comunicación (e.g. celular + LoRa).

iii) Factibilidad Técnica: Luego de estudiar la cobertura de la señal de los diferentes sistemas, se deberá estudiar la factibilidad técnica de cada uno, considerando maniobras de instalación, mantenimiento, personal técnico y todos los elementos necesarios para el buen funcionamiento. Este punto es esencial, dado que, si un sistema tiene buena cobertura, pero no es factible instalarlo o mantenerlo en el sitio de estudio, deberá ser descartado. Dentro de este punto se deben considerar las necesidades eléctricas. Cada sistema de comunicación tendrá necesidades energéticas diferentes, especificadas por cada fabricante, para cada equipo. Para conocer las necesidades energéticas se usan los datos de potencia del equipo, que algunas veces se expresa como voltaje de entrada (máximo, mínimo, nominal) y corriente de entrada (máximo, nominal); sin embargo, algunos equipos de comunicaciones deben ser alimentados en base a un protocolo eléctrico relativamente complejo (e.g. PoE), por lo que se debe tener seguridad de poder energizar de manera continua el sistema completo, antes de hacer su selección final.

iv) Costos incluidos: Finalmente, y si es que existe más de un sistema que cumpla con los criterios anteriormente mencionados, se recomienda evaluar los costos de instalación, mantenimiento y operación a largo plazo para la elección final.

#### **10.6.2.4.2. Instalación**

A. La instalación del sistema de comunicación dependerá del sistema escogido e incluye varias variables como:

i) Tipo de antena del transceptor y de la estación base: potencia, ganancia, sensibilidad de radiación de antena. Las antenas pueden ser parabólicas, omnidireccionales, yagi, etc. Para cada tipo de antena el fabricante publica el diagrama de radiación respectivo.

ii) Frecuencia de la transmisión: algunas frecuencias tienen mayor alcance, algunas pueden atravesar estructuras, otras no.

iii) Existencia de línea de vista desde la estación base hacia las estaciones de monitoreo.

B. Para conocer las condiciones necesarias de instalación se deberá realizar un estudio de Link Budget (caso a caso), siguiendo las siguientes indicaciones:

i) Las características de instalación de la estación base, deberán ser tales que asegure que los datos que sean tomados en cada estación de monitoreo, dentro de su cobertura, lleguen de forma íntegra a la plataforma de datos. Será aceptable una pérdida de paquetes de datos inferior al 2% anual.

ii) Se recomienda que exista línea de vista entre la estación de monitoreo y la antena de la estación base; sin embargo, si esto no fuera posible, se deberá asegurar que las características del medio de comunicación escogido permitan cumplir con los requisitos del punto (1) anteriormente descrito.

iii) Dada las características climáticas de la zona de emplazamiento de las estaciones base, es recomendable que éstas sean instaladas en torres ventadas. Siempre que existan las condiciones adecuadas, y que se cumpla con lo estipulado en el punto (1). Será aceptable que la estación base sea instalada en una edificación en altura.

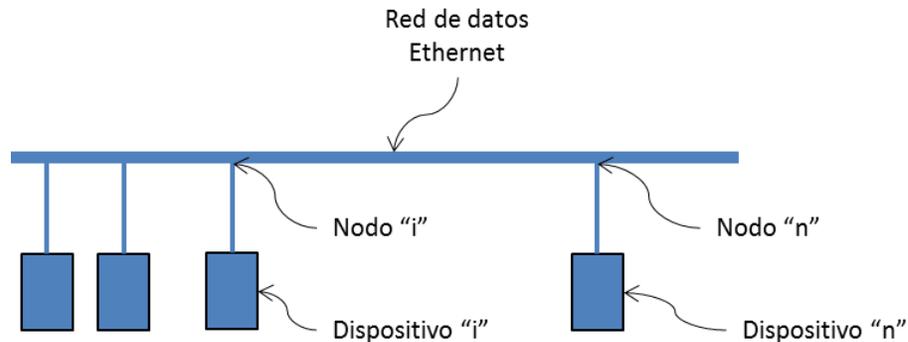
iv) La antena del transeceptor, deberá ser localizada en un punto de la estación de monitoreo que el deje libre de obstáculos metálicos. De preferencia, en la parte más alta de la estación de monitoreo, donde se obtenga, en la medida de lo posible, línea de vista entre la antena del transeceptor de la estación de monitoreo y la antena de la estación base.

C. En cuanto a la alimentación eléctrica de cada estación de monitoreo o estación base debe ceñirse a las especificaciones/recomendaciones del fabricante de los equipos.

D. Conexión de sensores:

- El diseño de la estación de monitoreo se basa en el uso de estándares. Las conexiones internas de la estación se establecen dentro de una red de datos Ethernet de área local (LAN). El paradigma de conexión Ethernet es el paradigma del “bus” de datos. En un bus de datos no importa en qué nodo se conecte un determinado dispositivo, siempre podrá ser “encontrado” por el resto de los dispositivos de la red y, al mismo tiempo, siempre podrá comunicarse con el resto de los dispositivos de la red, sin importar en qué nodos del bus se encuentren conectados (Figura 84). Lo único que se requiere es que cada dispositivo dentro de la red tenga una “dirección lógica” única, la que en nuestro caso corresponde a una dirección estándar de tipo IP que, además, es proporcionada de manera automática por el “router” o enrutador, que es un dispositivo especial dentro de la red que cumple con este rol, entre otros.
- Particularmente, la versión del estándar de red utilizado en la estación de monitoreo es el denominado 100 Base-T, que se trata de un bus basado en un conjunto de 4

pares de cables trenzados que se comunican a una velocidad de 100 Kbit/s. Los pares de cables se denominan: 1/2 (azul), 3/4 (naranja), 5/6 (verde) y 7/8 (marrón).



**Figura 86. Esquema de conexión de los dispositivos a nodos del bus de datos Ethernet.**

- La asignación de los pares del cable Ethernet que se destinan a transmisión/recepción de datos se rige por el estándar EIA/TIA 568-B.
- Adicionalmente, tal como se ha mencionado en este informe, cada dispositivo sensor recibe energía eléctrica a través de 2 pares de cables Ethernet, en un estándar conocido como Poe pasivo (Passive Power Over Ethernet). La inyección de energía utiliza los pares 4/5 como positivo, y 7/8 como negativo o GND.

#### i) Conectores y cables submarinos

- Tanto los conectores, como los cables escogidos corresponden a cables y conectores de la línea Ethernet del proveedor Macartney. Los cables están terminados en sus extremos por conectores hembra. En el caso de las cajas estanco, donde están los sensores, y caja de control, se encuentran conectores macho. Los conectores macho y

hembra tienen una única forma de acople, por lo que no existe posibilidad de una conexión inadecuada.

- Tal como se señaló, el hecho de estar utilizando PoE pasivo, implica que los conectores desde la caja estanco de control estarán energizados. Si por alguna razón no se va a conectar un cable a alguno de los conectores de la caja de control, el conector respectivo de la caja deberá ser protegido por un conector conocido como dummie.

#### **10.6.2.4.3. Mantenición**

A. La mantención de los sistemas de comunicación se deberá realizar en conjunto con las mantenciones de las estaciones de monitoreo. Esta mantención debe incluir antenas y sistemas de energía. Dentro de la mantención de las antenas, se debe asegurar que la posición de estas no haya cambiado, y que se encuentren en buen estado y limpias.

B. En cada mantención se deberá comprobar que todos los cables, de comunicación y datos, estén en buen estado para evitar cortes en la transmisión de datos. En el caso que ocurran cortes, se deberá contar con un sistema de almacenamiento local en cada estación de monitoreo, y se deberá restablecer la comunicación en no más de 1 semana (2 semanas en caso exclusivo de mal tiempo), desde detectado el fallo. Debido a que es probable que la falla de comunicación no sea detectada de inmediato, es que la memoria local deberá ser capaz de almacenar hasta 35 días de datos sin pérdidas.

C. En caso de falla del sistema de alimentación principal de la estación de monitoreo o estación base, debe existir un sistema de alimentación eléctrica de respaldo que garantice

que, durante la duración de la falla, los datos lleguen en forma íntegra a la Plataforma de Datos. Tanto la estación de monitoreo como la estación base, deberán contar con un mecanismo que permita detectar una falla en el suministro eléctrico principal y reportarlo a la Plataforma de Datos en forma inmediata, de manera que permita tomar las medidas de reparación en un plazo no superior a 1 semana (2 semanas en caso exclusivo de mal tiempo).

#### **10.6.2.4.4. Calibración**

A. En general los sistemas de comunicación no necesitan ser calibrados. Sin embargo, se sugiere revisar, durante las mantenciones o en caso de fallas en la comunicación, la alineación de las antenas de la estación de monitoreo y la estación base, dado que, es posible, que fuertes ráfagas de viento u otros eventos naturales, produzcan desajustes que hagan necesaria una realineación de las antenas.

### **10.6.3. Evaluación económica**

Un punto importante a considerar, son los costos involucrados en la puesta en marcha y funcionamiento del sistema de monitoreo.

Para esto debe tener en cuenta tanto el costo de los equipos, como los costos de instalación y funcionamiento general.

#### **10.6.3.1. Selección de equipos**

Antes de realizar la compra de instrumento de medida, se habrán definido las especificaciones mínimas requeridas, según el criterio definido según variable en la Tabla 5 del punto 10.2.1.2.1 del Proyecto.

Las especificaciones mínimas requerida se compararon, con las especificaciones que nos proporcione el fabricante, adquiriendo aquellos equipos cuyas especificaciones son como mínimo iguales a las requeridas por el sistema SOOAA. Bajo este criterio se presenta una lista de sensores sugeridos que cumplen con las características necesarias para el monitoreo. Los sensores a utilizar pueden pertenecer a esta lista o ser de similares características (Tabla 27 y 28).

**Tabla 27. Lista de sensores meteorológicos sugeridos que cumplen con las características básicas para ser utilizados en SOOAA.**

Tipo variables	Variable	Sensores disponibles					
		Precisión / Exactitud	Sensor	Empresa	Precio (clp)	Ventajas	Desventajas
<b>Meteorológicas</b>	<b>Temperatura</b>	- ± 0,3 ° C (± 0,5 ° F) en toda la gama	Digital integrado con humedad relativa del aire, tipo Sensirion	davis	50000	Alta precisión y menor costo, se puede calibrar directamente por software	Sin batería ni memoria
	<b>Presión Atmosférica</b>	Resolución 0,1 hPa, Precisión de lectura no corregida 1,0 hPa, a temperatura ambiente	Digital	davis	150000	Alta precisión y menor costo, se puede calibrar directamente por software	Sensor está soldado a la placa de circuito de consola principal y por lo general requiere una nueva placa de circuito a ser instalado
	<b>Viento</b>	6 points (22.5°) on compass rose, 1° in numeric display Accuracy . ±3°	Veleta de viento y potenciómetro	davis	220.000	Alta precisión y menor costo, se puede calibrar directamente por software	Sin batería ni memoria
		Range 2 - 173 knots, Accuracy 2 kts, or ± 5%, whichever is greater	Sensor magnético de estado sólido	davis		Alta precisión y menor costo, se puede calibrar directamente por software	Sin batería ni memoria
	<b>Precipitación</b>	Área de recolección: 200 cm², Resolución: 0,2 mm, Precisión: ±4%	Pluviómetro de balancin	davis	100000	Alta precisión y menor costo, se puede calibrar directamente por software	Sin batería ni memoria
	<b>Radiación</b>	Respuesta espectral: 400 a 1.100 nm, Rango: 0 a 1.800 W/m2 , Precisión: ±5%, Deriva: 2% por año (máx.)	Tipo Davis Instruments Ref. 6450	Davis	220.000	Alta precisión y menor costo, se puede calibrar directamente por software	Sin batería ni memoria

**Tabla 28. Lista de sensores oceanográficos sugeridos que cumplen con las características básicas para ser utilizados en SOOAA.**

Tipo variables	Variable	Sensores recomendados						
		Precisión / Exactitud	Sensor	Empresa	Precio (clp)	Ventajas	Desventajas	
Oceanográficas	Medición con CTD	Temperatura	±0.002°C	HydroCAT	SBE		Se puede utilizar en modo anclado, con memoria y batería interna. Especialmente diseñado para periodos largos y resistir el ataque de fouling con piezas de cobre. Incluye sensor de oxígeno. El modelo HydroCAT-EP incluye sensores de pH, turbidez y clorofila	Requiere calibración en laboratorio especializado. Alto consumo de baterías por utilización de bomba para hacer fluir el agua a través de los sensores. Utiliza baterías de litio, siendo más difíciles de adquirir en el comercio local
		Conductividad / Salinidad	±0.003 mS/cm	HydroCAT	SBE			
		Profundidad / presión	± 0.1 m (FS: 100m)	HydroCAT	SBE			
		Temperatura	±0.002°C	304plus	Idronaut		Similar precisión a equipos con calidad SBE, pero de menor precio. No contiene bomba para hacer fluir el agua a través de los sensores, por lo que tiene menor consumo de poder y amplia memoria interna. Es posible integrar sensores de Oxígeno y Turbidez	Requiere calibración en un laboratorio especializado
		Conductividad / Salinidad	±0.003 mS/cm	304plus	Idronaut			
		Profundidad / presión	± 0.05 m (FS: 100m)	304plus	Idronaut			
		Temperatura	±0.1°C	Hydrolab Serie 5	OTT	\$10.055.000 (DS5X, incluye sensores)	Ideal para despliegues de largo periodo de tiempo, con memoria y batería interna. Se puede incluir sensores de pH, oxígeno, clorofila y turbidez. Ajuste electrónico de los sensores periódicamente con uso de software. El modelo DS5X, contiene un cepillo de limpieza para disminuir el fouling del sensor óptico de oxígeno	La precisión del sensor de temperatura no es la deseable (±0.05°C), y por la naturaleza del sensor de presión, éste debe ser corregido con la presión barométrica in-situ
		Conductividad / Salinidad	± (0.5%+0.001 mS/cm)	Hydrolab Serie 5	OTT			
		Profundidad / presión	± 0.05 m (FS: 100m)	Hydrolab Serie 5	OTT			

**Tabla 28. (Continuación)**

<b>Oceanográficas</b>	<b>Temperatura</b>	$\pm 0.002^{\circ}\text{C}$	SBE 39plus	SBE		Diseñado para sistemas anclados y posibilidad de incluir un sensor de presión. Interfase USB para una rápida descarga	Utiliza baterías de litio, siendo más difíciles de adquirir en el comercio local
		$\pm 0.002^{\circ}\text{C}$	Temperature sensor	Idronaut		Alta precisión, menor costo que SBE y posibilidad de integrar un sensor de conductividad	Requiere calibración en un laboratorio especializado. No presenta piezas para evitar fouling
		$\pm 0.03^{\circ}\text{C}$	Temperature sensor 4060	ANDERAA		Corto tiempo de respuesta (<2 seg). Resistente y robusto. Coeficientes de calibración almacenados internamente por el sensor	Sin batería ni memoria
	<b>Conductividad / Salinidad</b>	$\pm 0.003 \text{ mS/cm}$	SBE 4	SBE		Sensor aislado electrónicamente y salidas ópticamente acopladas para eliminar cualquier posibilidad de ruido y corrosión causado por bucles de tierra. Ofrece el modelo 4M para sistemas anclados. Diseño mejorado para la compensación de los cambios de temperatura y rápido tiempo de	Ya que el sensor está ubicado internamente, necesita una bomba para hacer fluir el agua en su interior. Requiere mantención de limpieza en laboratorio
		$\pm 0.003 \text{ mS/cm}$	Combined 20 ms Conductivity/Temperature sensor	Idronaut		corrección integrada del sensor por efecto de la temperatura. No se necesita bomba. Puede ser mantenida durante la campaña	Requiere calibración en un laboratorio especializado. No presenta piezas para evitar fouling
	<b>Profundidad / presión</b>	$\pm 0.1 \text{ m (FS: 100m)}$	SBE 50	SBE		Sensor de alta precisión y alta resolución (16 Hz de muestreo). Compensación interna de la temperatura	Sin memoria o poder externo. Calibración en un laboratorio especializado
		$\pm 0.05 \text{ m (FS: 100m)}$	PIEZORESISTIVE PRESSURE TRANSDUCERS	Idronaut		Alta precisión. Todas las piezas metálicas en contacto con los medios de presión son de acero inoxidable: Compensación interna de la temperatura	Requiere mantención de limpieza en laboratorio. Calibración en un laboratorio especializado

**Tabla 28. (Continuación)**

<b>Oceanográficas</b>	<b>Fluorescencia</b>	<b>0.02 ug/L</b>	ECO	SBE		Diseñado con material antifouling y bio-limpiaparabrisa. Longitudes de onda configurables: clorofila (470/695 nm), fluorescencia CDOM (370/460 nm), uranina (470/530 nm), rodamina/ficoeritrina (540/570 nm) y ficocienina (630/680 nm). Diseño Triplet-w para medir 3 parámetros simultáneamente. Memoria interna y batería opcionales	Requiere ajuste de sensor con mediciones de campo. Calibración en fabrica cada 1 año
		<b>0.03 ug/L</b>	Chlorophyll a sensor	OTT		Fácil calibración en laboratorio	Requiere mantención de limpieza en laboratorio
	<b>Oxígeno disuelto</b>	<b>2% de saturación</b>	SBE 43	SBE	US \$5,825		
		<b>&lt;5% de saturación</b>	Optode 4835	AANDERAA		Rápida respuesta (<8 seg), estabilidad en el tiempo. Diseñado para ambientes de alta productividad. Tiene sensor de temperatura integrado (precisión ±0.1°C)	Requiere calibración en un laboratorio especializado. La mantención implica cambiar periódicamente la lámina negra que genera aislamiento óptico de la luz solar y partículas fluorescentes en el agua
	<b>Turbidez (700 nm)</b>	<b>0.013 NTU</b>	ECO FLNTU	SBE	~US \$4,100	Medición de clorofila simultaneamente, memoria, batería interna y limpiadores antifouling son opcionales	Requiere ajuste de sensor con mediciones de campo. Calibración en fabrica cada 1 año
		<b>0.1-1 NTU</b>	Turbidity sensor	OTT		Fácil calibración en laboratorio. Posee un cepillo de limpieza	Requiere mantención de limpieza en laboratorio

**Tabla 28. (Continuación)**

Oceanográficas	Nutrientes	Amonio	-	AMMONIUM SENSOR	Idronaut		Sensor de membrana líquida que compensa la presión, protegiéndolo de roturas y tensiones	Las mediciones presentan interferencias de iones como cloro, bromo, bicarbonat, perclorato y clorato. Por lo tanto, tiene bajo rendimiento en Agua de mar
		Nitrato	≈ 2 uM	SUNA V2	SBE	US\$ 37,890 (+ IVA)	Medición en todo el espectro UV para mayor precisión. Posee calibraciones específicas para Agua de Mar. Corrección interna utilizando datos de T/S que ingresan al equipo. Posee limpiador antifouling	Requiere ajuste de sensor con mediciones de campo. Interferencia con CDM (materia orgánica disuelta coloreada). La precisión se reduce en regiones de alta concentración de nitratos, debido a que el instrumento está calibrado para el rango más pequeño de concentraciones de nitratos que se encuentran típicamente en agua de mar
			-	NITRATE SENSOR	Idronaut		Sensor de membrana líquida que compensa la presión, protegiéndolo de roturas y tensiones	Las mediciones presentan interferencias de iones como cloro, bromo, bicarbonat, perclorato y clorato. Por lo tanto, tiene bajo rendimiento en Agua de mar
		Fosfato (870 nm)		HydroCycle-PO4	SBE		Sensor químico húmedo, proporcionando gran confiabilidad de los datos. Apto para despliegues largos, sin mantención, de hasta 5 meses de duración.	Calibración en fábrica cada 12-18 meses

**Tabla 28. (Continuación)**

<b>Oceanográficas</b>	<b>pH</b>	<b>± 0.1 pH</b>	SBE 18	SBE		La sonda de pH reemplazable se sella permanentemente y se suministra con un accesorio de botella de remojo que impide que el electrodo de referencia se seque durante el almacenamiento. El sensor es un paquete modular, autónomo que es fácil de instalar, de servir y de calibrar.	
		<b>± 0.2 pH</b>	pH sensor	OTT		Dos versiones disponibles: 1) pH de referencia estándar y un electrodo de medición por separado, y 2) el pH de referencia integrado, combina el electrodo de medición y la referencia en la medición	

### **10.6.3.1. Valorización económica**

Para la valorización económica, se consideró una estación de monitoreo con 5 puntos de medición (0 m, 5 m, 10 m, 25 m y fondo), con una anclaje de 50 m de profundidad, más una estación meteorológica completa. Además se consideró el costo de la toma de mediciones de nutrientes de forma mensual y anual (Tabla 29). Los valores considerados corresponden a una media de los costos, por sensores y equipos de diferentes marcas, que cumplen con los requisitos solicitados, sin embargo, existen otras alternativas presentes en el mercado, que corresponden a sistemas integrados, lo que dependiendo de la estrategia administrativa a implementar en SOOAA, podrían disminuir los costos en caso de ser utilizados de manera general. Ejemplo de esto se presenta en el Anexo 14.8.

Por otro lado se debe tener en cuenta el costo de instalación, funcionamiento y procedimientos de mantención, calibración y validación, para una estación de monitoreo completa. Para esto se consideraron los costos de H/H y equipos a utilizar durante 1 año de funcionamiento. (Tabla 30).

**Tabla 29. Valorización económica estación de monitoreo completa.**

Variables Oceanográficas en línea	Número de sensores	Profundidad (m)						Costo (US) unitario	Costo (US) N° de sensores	Observaciones		
Temperatura	4	0-1	5	10	25					Valor de CTD que incluya las 3 variables		
Conductividad/Salinidad	4	0-1	5	10	25		\$ 8.000,00	\$32.000,00				
Presión (incluido en cada sensor)	0											
Oxígeno Disuelto	5	0-1	5	10	25	fondo	\$ 5.825,00	\$29.125,00				
Fluorescencia	4	0-1	5	10	25		\$ 14.100,00	\$56.400,00				
Turbidez	4	0-1	5	10	25		\$ 4.100,00	\$16.400,00				
Corrientes	1	0-25					\$ 33.200,00					
ph	3	0-1	5	10			\$ 7.500,00	\$22.500,00				
Boya	1						\$ 25.000,00					
Accesorios instalación anclaje oceanografico (cabos, grilletes, peso muestro, liberador acustico, etc)	1						\$ 49.800,00		con liberador acústico	Para un anclaje de ~ 50m , considerando un liberado de ~16600- 19,920 US		
							\$ 33.200,00		sin liberador acústico			
Sistema de transmisión	Número de sensores											
Paneles solares	5						\$ 166,00	\$830,00				
Baterías	2						\$ 332,00		150 A /hr			
Controlador de carga	1						\$ 99,60		12 V a 220 V			
Inversor de carga	1						\$ 265,60		1000 W			
Antena Lora	2						\$ 1.356,41		Incluyendo licencia, importación y modem			
Integración de sensores							\$ 2.988,00		Depende del profesional, precio por replicación de integración (por integración nueva \$6.640 US)			
Conexión Lora (sensores Oceanográficos)	1						\$ 16,60		Mensual			
Conexión Modem estación meteorológica	1						\$ 29,88		Mensual			
Variables Meteorológicas en línea	Número de sensores											
Temperatura	1						\$ 830,00		Considerando una estación meteorológica integral			
Humedad relativa	1											
Presión atmosférica	1											
Viento (magnitud y dirección)	1											
Precipitación	1											
Radiación solar	1					\$ 249,00						
Base para sensor radiación solar	1						\$ 41,50					
software + Datalogger	1						\$ 381,80					
Tripode de montaje básico	1						\$ 116,20					
Accesorios instalación estación meteorológica (tubos, cables, etc)							\$ 249,00		Mastil de 10 m, fierro			
							\$ 343,07		Mastil de 3 m, acero inoxidable			
Costo (US)							Unitario	Total				
							\$ 154.989,66	\$272.553,66	Con liberador acústico			
							\$ 138.389,66	\$255.953,66	Sin liberador acústico			
Variables discretas nutrientes	Profundidades (m)						N° muestras/ triplicado	Costo (UF) unitario sin IVA	Costo (UF) total	UF al día 02/04/2018	Costo (\$) total mensual	Costo (\$) total anual
Nitrato	0-1	5	10	25	5	3	0,11	1,65	26.966,89	44.495	533.944	
Fosfato	0-1	5	10	25	5	3	0,11	1,65	26.966,89	44.495	533.944	
Silicato	0-1	5	10	25	5	3	0,11	1,65	26.966,89	44.495	533.944	
Nitrito	0-1	5	10	25	5	3	0,11	1,65	26.966,89	44.495	533.944	
0,11 UF + IVA. 5% descuento por cantidades mayores a 30 muestras y 10% por cantidades mayores a 50 muestras. Mínimo de muestras : 5									<b>Total</b>	<b>177.981</b>	<b>2.135.778</b>	

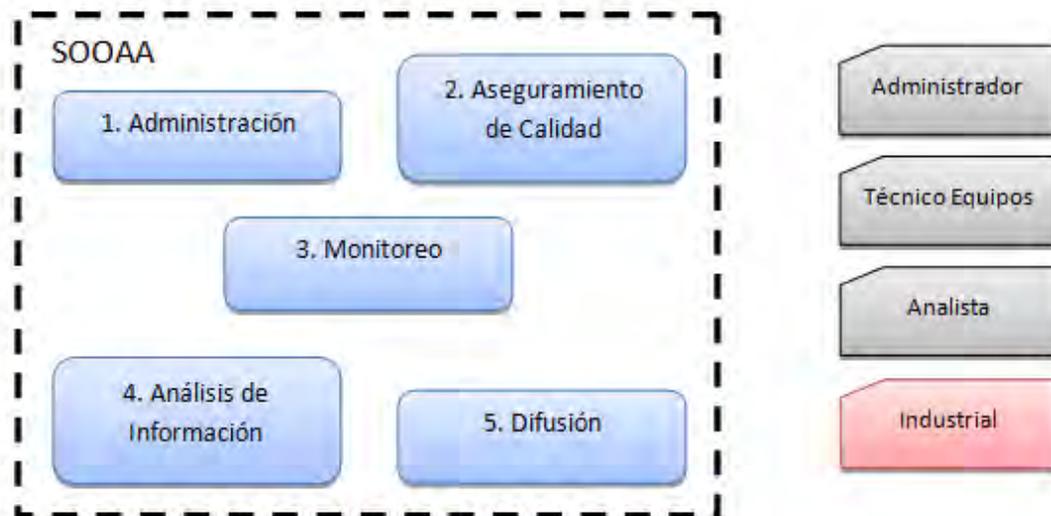
**Tabla 30. Costos de instalación y funcionamiento general, durante 1 año, basado en Horas Hombre (H/H) y equipamiento.**

<b>Mantenciones preventivas</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Total anual (USD)</b>
<b>(12 salidas x 2 días c/u)</b>	<b>Insumos</b>			
Procedimientos	Camioneta	24	133	3.200
Toma de muestras discretas, limpieza de biofouling a sensores	Barco	24	3.000	72.000
	Bencina, transbordos, y gastos menores	12	367	4.400
	Buzo	12	300	3.600
	Viáticos (2 días x 3 personas)	72	133	9.600
	HH (4 días x 3 personas)	1152	25	28.800
	Imprevistos	1	2.000	2.000
			<b>TOTAL (USD)</b>	<b>123.600</b>
<b>Mantenciones de rutina</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Total anual (USD)</b>
<b>(1 salida x 6 días)</b>	<b>Insumos</b>			
Procedimientos	Camioneta	6	133	800
retira boya, limpia y/o cambio de sensores, cabo, cadenas y conectores, calibración de sensores	Barco	6	3.000	18.000
	Bencina, transbordos, y gastos menores	3	367	1.100
	Buzo	2	300	600
	Viáticos (6 días x 3 personas)	18	133	2.400
	HH (8 días x 3 personas)	192	25	4.800
	Imprevistos	1	2.000	2.000
			<b>TOTAL (USD)</b>	<b>29.700</b>
<b>Mantenciones correctivas</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Total anual (USD)</b>
<b>(2 salidas x 2 días c/u)</b>	<b>Insumos</b>			
Procedimientos	Camioneta	4	133	533
Verificación de datos y corrección de sensores	Barco	4	3.000	12.000
	Bencina, transbordos, y gastos menores	2	367	733
	Buzo	2	300	600
	Viáticos (4 días x 3 personas)	12	133	1.600
	HH (6 días x 3 personas)	144	25	3.600
	Imprevistos	1	1.000	1.000
			<b>TOTAL (USD)</b>	<b>20.067</b>
<b>Mantenciones de emergencia</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Total anual (USD)</b>
<b>(1 salida x 6 días)</b>	<b>Insumos</b>			
Procedimientos	Camioneta	6	133	800
Recuperación / arreglo y mantención boya/sensores	Barco	6	3.000	18.000
	Bencina, transbordos, y gastos menores	3	367	1.100
	Buzo	2	300	600
	Viáticos (3 días x 3 personas)	18	133	2.400
	HH (6 días x 3 personas)	144	25	3.600
	Imprevistos	1	1.000	1.000
			<b>TOTAL (USD)</b>	<b>27.500</b>
<b>Administración de SOOAA</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Total anual (USD)</b>
<b>(Trabajo 24/7)</b>	<b>Insumos</b>			
	Administrador de sistemas informáticos	1	30.000	30.000
	Internet dedicado	1	15.000	15.000
	Sala climatizada (energía)	1	5.833	5.833
	Arriendo de servidores	1	6.000	6.000
	Arriendo de data storage	1	1.000	1.000
			<b>TOTAL (USD)</b>	<b>57.833</b>

**10.7. Elaborar una propuesta de los diferentes elementos técnicos que deberían ser regulados para la implementación y funcionamiento de un sistema de monitoreo en línea.**

Para la correcta implementación y funcionamiento de SOOA es necesario regular ciertos aspectos técnicos que hacen referencia principalmente al personal e instalaciones necesarias para los diferentes procesos que están implicados en el análisis de datos y correcto funcionamiento de las estaciones de monitoreo.

En la Figura 85 se muestran los procesos (generales) que deben ser ejecutados en paralelo para el eficiente funcionamiento de un Sistema de Observación en la X Región de Los Lagos.



**Figura 87. Elementos Técnicos que deben ser regulados para la implementación y funcionamiento de SOOAA.**

A la derecha de la figura, se presenta la lista de funciones/actores que deben participar, y que serán responsables de supervisar permanentemente algunas actividades del proceso. La definición y alcance de cada función/actor es:

- ✓ Administrador: Personal interno, responsable de las configuraciones del sistema (e.g. administrar estaciones de monitoreo, usuarios) y monitoreo (e.g. verificar conectividad, estado de los servidores), asegurando el eficiente funcionamiento del sistema de observación (Revisar sección 10.6.1).
- ✓ Técnico Equipos: Responsable de verificar el correcto funcionamiento de las estaciones de monitoreo, en particular, la calibración de sus sensores. Es el encargado de la ejecución de nuevas calibraciones, ya sea de forma programada o bajo demanda (e.g. por fallas).
- ✓ Analista: Encargado de la ejecución de análisis no automatizados sobre los datos. Es el encargado de responder a los requerimientos externos de información (e.g. Estado) sobre los datos que se obtienen desde las estaciones de monitoreo.
- ✓ Industrial: Agrupaciones de concesionario acuícolas que podrían hacer uso de la información (e.g. en forma de alertas).

#### **10.7.1. Equipo técnico**

Considerando lo expuesto en el decreto N°15, Reglamento de Registro de Personas Acreditadas para elaborar los Instrumentos de Evaluación Ambiental y Sanitaria y las Certificaciones exigidas por la Ley General de Pesca y Acuicultura y sus Reglamentos (de

---

ahora en adelante Registro) y en concordancia con los Criterios generales para la Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración, según NCh-ISO17.025.Of2005, el personal técnico necesario para los procesos de instalación, mantención, calibración y validación deben estar obligatoriamente inscritos en el Registro. Asimismo, los procesos de calibración deben realizarse en Laboratorios Certificados por SERNAPESCA, los cuales deben estar de igual manera inscritos en el Registro.

En el caso de los Laboratorios de Calibración, en este momento en Chile no existe ningún Laboratorio que esté certificado para calibrar todos los sensores que se incluyen en el Proyecto, por lo que es necesario que durante el periodo de implementación del Proyecto se regularice esta situación.

A continuación, se describen las características que debe tener un laboratorio para obtener su certificación como Laboratorio de Calibración de sensores de SOOAA.

#### **Características técnicas necesarias para certificación de Laboratorio de Calibración.**

SOOAA facilitará el material existente en la lista maestra de sensores al adjudicatario con las siguientes condiciones:

- Este material se utilizará exclusivamente para la calibración y estudio del parque de sensores y estaciones de SOOAA.
- En el caso de que se vaya a utilizar el mencionado material con otros usos no especificados en el presente expediente, se deberá solicitar permiso escrito a la

- Agrupación de Concesionarios Acuícolas de quien depende el sensor, quien en función del motivo y el interés investigativo, educativo o integrador dará o no permiso de utilización.
- El adjudicatario se encargará de gestionar, enviar, recibir, trasladar y mantener en perfecto estado el parque de patrones propiedad de SOOAA, es decir, tener el material de patrones propiedad de la DMC en perfecto estado de trazabilidad y operatividad, estando éste perfectamente asegurado.
  - Este material, lo deberá gestionar el adjudicatario desde la adjudicación hasta la finalización del contrato y será a su cargo el traslado y gestión que genere dicho material.
  - El material se devolverá a SOOAA en perfecto estado de uso, entendiéndose por éste aquel que sea consecuencia de un uso razonable del mismo. La reparación de los daños producidos por un uso negligente o no adecuado correrá a cargo del adjudicatario.
  - Este material será manipulado solamente por personal perfectamente cualificado para el tema (técnicos de laboratorio) y con experiencia demostrable en calibración de sensores meteorológicos.
  - El alcance del laboratorio en cada una de las áreas y siempre que la trazabilidad así lo permita será el adecuado para cumplir con los requisitos de aceptación y rechazo indicados en las características de cada área.

### **10.7.2. Procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se deberá contar con el personal capacitado.

El profesional a cargo deberá demostrar experiencia en la logística relaciona la medición de variables oceanográficas y atmosféricas, en la calibración de equipos y posterior validación de los datos recolectados. En cuanto a las habilidades de procesamiento de datos, se espera que el profesional posea práctica en métodos analíticos estadísticos descriptivos e inferenciales de datos, así como ser versado en análisis de series temporales en el dominio del tiempo y frecuencia de variables geofísicas distribuidas en el espacio.

Se debe resaltar que el profesional responsable por el procesamiento e interpretación de los datos debe poseer familiaridad con las disciplinas que componen la Oceanografía y Meteorología Operativa, a fin de comprender mejor los procesos que afectan la variabilidad de los datos observados y de esa forma poder evaluarlos de forma consistente.

Debido al gran volumen de datos generados en las innumerables estaciones de monitoreo, y siendo el sistema SOOAA de carácter operacional, el profesional deberá producir rutinas computacionales para automatizar el procesamiento de los datos y proponer métodos automáticos para detectar valores espurios o inconsistentes en las series temporales. Se debe intentar reducir al máximo el tiempo entre la recolección de datos en las estaciones de monitoreo, su incorporación a la base de datos y posterior disponibilización de los datos, productos y análisis a los múltiples usuarios de SOOAA.

Entre los productos esperados, el profesional deberá ser capaz de producir mapas, diagramas, tablas, gráficos y análisis estadísticos que resumen los principales módulos de variabilidad emergentes de los datos y sus modos estadísticos, siendo ambos en escalas temporales horarias relacionadas con las oscilaciones de la marea hasta las multidecadal, las cuales reflejan las interacciones del sistema climático y oceánico a gran escala.

Además de las habilidades expuestas arriba, el profesional debe poseer un profundo conocimiento de Gestión de la Información, que incluye la realización de copias de seguridad diarias, alimentación de las bases de datos y recuperación de datos de forma eficiente en las bases de datos, además el profesional debe tener la capacidad de trabajar en un equipo multidisciplinario en donde deberá interactuar con profesionales de Tecnología de la Información, Ingenieros de Software y Analistas de Sistemas responsables de esas áreas en SOOAA.

### **10.7.3. Monitoreo**

Dentro de los elementos técnicos a regular, se deben considerar ciertos elementos que tienen relación exclusiva con el monitoreo y el aseguramiento de una buena calidad en la toma de datos que sea estable y duradera en el tiempo.

#### **10.7.3.1. Vida útil de sensores**

La vida útil de los sensores esta generalmente indicada por los fabricantes. En el caso de los sensores meteorológicos se suele recomendar cambiar los sensores de temperatura y anemómetros cada 5 año, los sensores de radiación cada 4 años. Sin embargo, debido a las

condiciones altamente corrosivas del ambiente marino se recomienda una revisión anual del estado de los sensores, de acuerdo a estas revisiones y a la respuesta a la calibración que tengan los diversos sensores se deberá tomar la decisión de reemplazar los sensores.

Similar situación ocurre con los sensores oceanográficos, la zona de fiordos presenta una alta productividad, por lo que el biofouling es un punto importante a considerar, lo que sumado al ambiente extremadamente corrosivo (corrosión galvánica) disminuye la vida útil de los sensores oceanográficos, que al igual que en el caso de los sensores meteorológicos, deberán ser calibrados y revisados de forma anual. En el momento en que los sensores dejen de responder a la calibración, el biofouling o el ambiente los tengan muy dañados y las mediciones no estén dentro de los rangos de exactitud los sensores deberán ser reemplazados, sin importar que el tiempo de vida útil dado por los fabricantes aún no se haya cumplido. Especial atención se deberá tener con los sensores de oxígeno, sensores sensibles a las condiciones medioambientales. Se estima que se deberá realizar un recambio completo de los sensores cada 2 años.

Por otro lado, para los sistemas de comunicación y alimentación, la vida útil dependerá del sistema escogido, por lo que se deberán seguir las indicaciones dadas por los fabricantes para cada equipo y uso específico. Se recomienda una revisión de las baterías cada 6 meses y realizar un cambio total de las baterías de las estaciones de monitoreo 1 vez al año.

### **10.7.3.2. Mecanismos anti-biofouling**

Debido a la alta productividad primaria de la zona de estudio, es que se recomienda que los sensores incluyan un sistema automático anti-biofouling para sensores, con la finalidad de asegurar una medición continua y sin interferencia.

Hoy en día en el mercado existen diferentes alternativas, entre ellas escobillas y sensores UV. En el caso de las escobillas, éstas necesitan ser limpiadas en cada mantención y reemplazada una vez deja de cumplir su función a cabalidad. Los sensores UV por su parte, no necesitan mantención y/o calibración, y su actuar es más preciso. Tienen una vida útil similar a la de los sensores ópticos de medición de variables oceanográficas.

La elección final del sistema a utilizar deberá ser realizada por los responsables de las estaciones oceanográficas. Cabe destacar que estos sistemas son, en esencia, para los sensores y no para las estructuras que se encuentran en el agua (e.g. boyas, cabos), por lo tanto, su utilización, no reemplaza ni modifica los procesos de mantención y limpieza descritos en los protocolos para la estación de monitoreo.

### **10.7.3.3. Ubicación y responsabilidad de las estaciones de monitoreo**

#### **Selección de ubicación**

Si bien la metodología y criterios de selección de sitios de estudio se presentan en el punto 10.3 del presente informe, cabe detallar los pasos a seguir en caso de agregar nuevas estaciones a las ya existentes. Se debe tener en cuenta que el número de estaciones inicial presentadas en este proyecto corresponde al mínimo necesario para un buen funcionamiento

---

de SOOAA, por lo que no se deben quitar estaciones, pero si es posible agregar nuevas de acuerdo a las nuevas necesidades que surjan en el tiempo.

### **Protocolo elección ubicación estaciones de monitoreo**

Paso 1: Realizar un análisis utilizando como herramienta Funciones ortogonales empíricas (EOF), del campo de las variables de mayor relevancia en el monitoreo ambiental oceanográfico como nutrientes y/u oxígeno del sector a monitorear. El resultado obtenido mostrará las zonas de mayor variabilidad ambiental para cada variable y por tanto, la zona recomendada para realizar el monitoreo.

Cabe hacer presente que este método posee mayor robustez cuanto mayor sea la resolución espacial y temporal del dato utilizado.

Paso 2: Independiente del paso 1 y en consideración al modelo representativo del funcionamiento de un fiordo, seleccionar al menos una estación de monitoreo en la cabeza y boca de cada fiordo en el que exista productividad asociada a la acuicultura y cuando el fiordo posea una extensión superior a 10 km, considerar una estación en el centro de éste.

### **Responsabilidades**

1. La responsabilidad sobre las estaciones de monitoreo se regirá por el siguiente procedimiento:
  - La responsabilidad recaerá sobre la asociación de acuicultores más cercana.

- En caso de existir la misma distancia con dos o más asociaciones, la responsabilidad deberá ser definida a criterio de la autoridad considerando el número de estaciones a cargo de cada asociación, tamaño de la asociación, y criterios y políticos definidos por la autoridad.
- En el caso de disolución de alguna agrupación responsable de estaciones de monitoreo, se retomará la justificación de la existencia de las estaciones involucradas considerando los pasos 1 y 2 sobre la variabilidad ambiental (EOF), de acuerdo a la importancia de cada estación (sector de mayor o menor variabilidad). Para aquellas ubicadas en sectores de máxima variabilidad ambiental, se debe continuar con el monitoreo y asignarse la nueva responsabilidad a la agrupación que cumpla con los criterios de asignación descritos en el párrafo 1, de lo contrario, la autoridad pesquera podrá autorizar el cierre temporal de la estación.

#### **10.7.3.4. Elementos de seguridad**

Se debe considerar que las diferentes estaciones de monitoreo deben tener incorporados elementos de seguridad que permitan monitorear su ubicación y estado.

- Sistema de rastreo GPS: Las estaciones deberán contar con un sistema de rastreo GPS que permita obtener la ubicación exacta de las mediciones, y que servirá como medida de seguridad en caso de pérdida. La posición de las estaciones deberá ser comunicada de manera continua y se deberá definir un radio de acción, dentro del cual la estación de monitoreo podrá actuar. En caso de que la estación de monitoreo salga del radio de acción definido,

deberá enviar una señal de alerta al responsable. Luego de dada la señal de alerta, se deberá confirmar la ubicación de la estación, y en caso de que no se encuentre en su posición, se deberán efectuar las maniobras necesarias para la recuperación y posterior reposición de la estación de monitoreo. Este punto es de especial importancia en las estaciones de monitoreo oceanográficas, las que pueden sufrir cortes de amarres y quedar a la deriva.

## 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

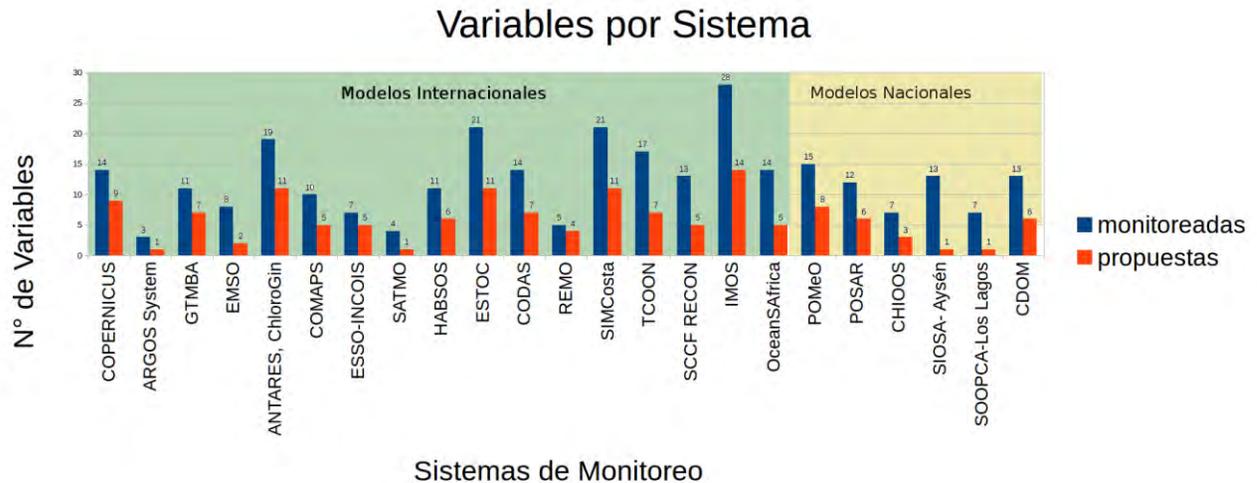
Para conocer el estado nacional y mundial de los sistemas de monitoreo (Objetivo 1.1) y la importancia que han adquirido, al poderse obtener con ellos información esencial para la toma de decisiones oportunas y planificación estratégica, principalmente sobre las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, es que durante el Proyecto se evaluaron un total de 23 Sistemas de Observación del Océano: 6 nacionales y 17 internacionales. La selección de los sistemas evaluados se realizó en base a la información otorgada por los propios Sistemas en sus plataformas web, y se consideraron/priorizaron los que tuvieran la información disponible para el público general.

A través de la evaluación, se logró establecer las variables registradas por la mayoría de los sistemas, en base a lo cual se elaboró una lista con 15 “variables esenciales” que deben ser medidas para el propósito de este Proyecto: *temperatura del aire, presión atmosférica, viento, radiación solar, precipitación, temperatura del agua, salinidad/conductividad, presión/profundidad, corrientes, fluorescencia, turbidez, nutrientes, oxígeno disuelto, pH y FAN*. Cabe mencionar, que la elaboración de la lista de “variables esenciales”, no sólo consideró las solicitadas por el artículo 87 ter de la Ley General de Pesca y Acuicultura, sino que, además, consideró otras variables relevantes para la región de estudio y el objetivo final del Proyecto.

Posteriormente, la lista de “variables esenciales” fue sometida a una evaluación durante el desarrollo de un Taller de Expertos. En el Taller, se validó la lista expuesta, discutiendo la factibilidad y frecuencia de medición de cada variable. De esta forma, se consensuó que

algunas de éstas deben ser incorporadas con el tiempo, como es el caso de FAN (Floraciones de Algas Nocivas), debido a que actualmente no se encuentran disponibles los sensores “probados” (operativos), sin embargo, en el taller se dejó a FAN como una variable que debe ser agregada a SOOAA, destacando su importancia para el sector productivo de la Región.

En la Figura 83, se muestra una comparación entre las variables registradas por los diferentes Sistemas de Observación evaluados versus las variables propuestas por SOOAA. En la figura, se puede observar que el Sistema que registra la mayor cantidad de variables es el IMOS de Australia, en el cual se miden 14 de las 16 variables propuestas por SOOAA, convirtiéndolo en el Sistema de Observación más completo en la actualidad, seguido por SIMCosta de Brasil y ESTOC de las Islas Canarias.



**Figura 88. Gráfico comparativo entre el número total de variables medidas por los 23 Sistemas de Observación evaluados (azul) y el número de “variables esenciales” propuestas por SOOAA (rojo).**

Además de las “variables esenciales” propuestas por SOOAA, durante el Taller de Expertos se sugirió incluir otras variables relevantes para la región de estudio, como la medición de

redox (óxido-reducción), la resistencia del sedimento a antibióticos, y gases invernaderos en agua y atmósfera. Sin embargo, estas variables no fueron expuestas en esta etapa del Proyecto debido a que su forma de medición posee requerimientos que no permiten (o no son necesarios) ser incluidos en un sistema de monitoreo continuo y en línea, por ejemplo, no es necesario medir los sedimentos de manera horaria debido a que los cambios en él están dados por las tasas de sedimentación, por lo que sólo requieren ser medidos con frecuencia estacional, y para lo cual, se requiere tomar muestras de sedimento y analizarlas fuera del agua, por lo tanto, no es posible integrar de manera directa (i.e. como sensor) este tipo de medición a un sistema como SOOAA; sin embargo, los expertos sugieren que estas variables sean incluidas en el futuro, con muestreos cada cuatro meses y disponibilizar los resultados en SOOAA. Paralelamente a la selección de las “variables esenciales”, se llevó a cabo un estudio integral sobre los diferentes métodos y sistemas de comunicación, transmisión y almacenamientos de datos disponibles en la actualidad. Se consideraron diferentes métodos que podrán ser usados de manera conjunta, para lograr que todas las estaciones de monitoreo tengan una conexión a internet. La elección del método de comunicación final, dependerá de la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo, la accesibilidad al sitio de monitoreo, y la existencia de sistemas de comunicación en el lugar. Se considerará el uso de tecnología celular, punto a punto, LPWAN y satelital.

Para el diseño de las estaciones de monitoreo, se consideró la hidrodinámica y geografía de la Región, además de los requerimientos de las diferentes variables a monitorear. Bajo estos criterios, se determinó la necesidad de implementar dos tipos de estaciones de monitoreo: una

estación oceánica y una estación costera. Las profundidades de monitoreo fueron seleccionadas de acuerdo al análisis de perfiles verticales de temperatura, salinidad y densidad obtenidos desde la recopilación de antecedentes (e.g. datos cruceros CIMAR) y la experiencia de los expertos en la Región, procurando captar la variabilidad más relevante de cada sitio/sector analizado. Cabe destacar que los datos utilizados provenientes de los cruceros CIMAR, que, si bien son de alta calidad y son los únicos disponibles a la fecha, los mismos presentan una baja densidad de cobertura espacial y temporal.

Para la selección de la ubicación geográfica de los sitios de monitoreo, fue necesario considerar más de un criterio de selección: hidrodinámico, estadístico, cobertura comunicacional y facilidad de acceso. Con los resultados, se generó un mapa con la ubicación ideal de las estaciones, obteniendo un total de 60 sitios de monitoreo oceanográfico. La factibilidad final de la instalación de las estaciones será determinada considerando las restricciones legales que puedan existir en cada caso, lo que no fue evaluado en esta etapa del Proyecto. Es importante mencionar, que los análisis estadísticos e hidrodinámicos se realizaron con la información existente actualmente en la Región, sin embargo, es posible que, al tener una mayor cantidad y calidad de datos, las locaciones finales de las estaciones de monitoreo sean similares, pero no necesariamente las mismas que las obtenidas con la información actual.

Respecto a diseñar e implementar un prototipo simple que permita la medición de variables oceanográficas (Objetivo 1.4), se debe destacar que la utilización de un prototipo simple nace del hecho de que, por definición, un prototipo es el primer modelo que sirve como

representación o simulación del producto final y nos permite verificar el diseño y confirmar que cuenta con las características específicas planteadas. De él se puede aprender, testar y probar antes de poner en funcionamiento el producto definitivo. Un producto final, a diferencia de un prototipo, es aquel producto que ha sido sometido a variadas pruebas de control, pasando por varios prototipos diferentes antes de ser comercializado y cuyos costos son muy diferentes. Por ejemplo, la boya oceanográfica instalada al este de la isla Guar, al centro del seno Reloncaví, es un producto comercial que contempla la gran mayoría de las variables consideradas en SOOAA, y cumple con los requisitos de calidad de los sensores y transmisión de datos en tiempo real, pero tiene un costo superior a cien millones de pesos (136 millones para la compra e instalación de la boya y 27 millones para el mantenimiento anual).

Respecto al diseño del prototipo oceanográfico, se presentó un sistema modular, que tiene la facultad de cambiar los diferentes dispositivos (sensores), el cual fue probado con sensores de dos fabricantes diferentes, y puesto en marcha entre el 23 de marzo y 25 de mayo de 2018 en dependencias de la empresa Salmones Multiexport. Este prototipo fue desarrollado íntegramente por la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, y consideró tres aspectos fundamentales a evaluar en su desarrollo:

1. Construir un dispositivo de integración de bajo costo, que integre distintos modelos y marcas de sensores oceanográficos, para medir las variables y comunicar dichas mediciones a una central.
2. Probar tecnología de punta orientada a IoT, (del inglés, Internet of Things).

3. Testar el efecto del biofouling sobre los sensores especialmente considerando que éste puede variar con las estaciones, con un incremento y crecimiento particularmente grande en verano.

El prototipo estaba formado por un domo de 40 cm de diámetro por 70 cm de alto, con una fuente de poder 220V a 24V, simulando la carga de un panel solar. El sistema general toma la información de 2 grupos de sensores, ubicados a 5 m y 10 m de profundidad, que transmiten a través de un enlace RF, a un Gateway, que los decodifica y envía por internet vía 3G. La estación ubicada a 5 m de profundidad cuenta con un sensor de oxígeno disuelto y temperatura, Optode 3830, mientras, que la estación ubicada a 10 m, posee cuatro sensores que miden, salinidad, concentración y porcentaje de oxígeno disuelto, temperatura, presión y profundidad. En cuanto a las mediciones meteorológicas, se instaló en tierra una estación meteorológica marca Davis modelo Vantage Pro2 con conexión IP.

Durante los 2 meses de funcionamiento y concluido el periodo de pruebas del prototipo, se elaboró un resumen que refleja el trabajo realizado durante ese periodo, y el cual destacan los inconvenientes observados y su efecto en el resultado. Entre éstos se encuentra; Falla de comunicación entre raspberry de los sensores y raspberry maestra, atribuida a la discontinuidad de la alimentación eléctrica, provocada por cortes de energía sistemáticos. Esta situación fue resuelta con la ampliación de la capacidad del banco de baterías. El segundo problema observado se relación con el hardware, fue una falla de fábrica del cargador/inversor de las baterías que obligó a reemplazar el equipo a la brevedad. En este sentido el cargador utilizado cuenta con un amplio prestigio en la zona y del cual no se había reportados informes de fallas, siendo el primero en 6 años de experiencia, razón por la cual

sólo puede comentarse que independiente de la calidad de los materiales, siempre existe la posibilidad de fallas, por lo que se debe estar bien preparado y así minimizar tiempos de respuesta. El tercer inconveniente se relacionó con la falla total de la estación de 10 m. Esta falla se debió al ingreso de agua a los circuitos de integración de los sensores. A pesar de considerar un sello estanco de con capacidad de resistir la presión hasta 15 m de profundidad, éste no resistió entrando agua al sistema electrónico luego de 5 días de funcionamiento. La falla puede atribuirse a algún golpe en la estación, sin embargo no se encontraron evidencias de aquello, por lo que sólo queda pensar que se debió algún problema de diseño de la integración que no le permitió aguantar por tiempos prolongados la presión de la profundidad de fondeo. Es por esto, que se recomienda no utilizar sensores a las profundidades máximas dadas por lo fabricantes, sino que, siempre dejar al menos un 20% de profundidad de seguridad respecto a lo informado por el fabricante.

Durante el periodo de instalación del prototipo se decidió no realizar mantenimiento a las estaciones, objeto comprobar la agresividad del biofouling. En este periodo, se pudo comprobar que la acumulación de biofouling, no permite mantener los sensores sin limpiar por más de 30 días (15 días para mediciones superficiales en tiempos de máxima productividad), ya que, pasado este tiempo, las mediciones presentan graves errores provocados por la incrustación de algas y animales, incluyendo pequeños pulpos.

En cuanto al diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento de datos (Objetivo 1.5), éste consideró la captura de las variables de monitoreo, la transmisión, recepción, el almacenamiento y el despliegue de los datos

enviados por las Estaciones de Monitoreo integradas a la plataforma SOOAA, y los requerimientos de escalabilidad, alta demanda y tolerancia a fallas que demanda el sistema. Para esto, se consideró el uso de la opción LPWAN por sobre la conexión de telefonía móvil y satelital dada la necesidad de probar el sistema en condición extrema (aislamiento geográfico). De acuerdo a lo propuesto, se diseñó un prototipo funcional del software que implementa las principales funcionalidades requeridas por un sistema operativo como SOOAA, tales como un módulo de administración y uno de consulta y visualización.

Por su parte, se abordaron los escenarios administrativos (objetivo 1,6), logrando concretar la propuesta de dos modelos de gestión del sistema SOOAA el primero apegado a la letra de la Ley otorga la responsabilidad del monitoreo a las Agrupaciones de Concesionarios Acuícolas, dejando la administración de la base de datos y el procesamiento de éstos, a la SUBPESCA, considerando al SERNAPESCA como ente fiscalizador. La segunda propuesta, que desde el punto de vista del proponente es la más ventajosa y orgánica, considera la creación de una Institucionalidad encargada de la administración, gestión y control del sistema SOOAA, desde la instalación de las estaciones hasta la publicación de los datos, dejándola con la responsabilidad de hacer llegar esto a la SUBPESCA para su posterior uso en la toma de decisiones. En esta segunda propuesta, SERNAPESCA tendría el mismo rol fiscalizador que en la propuesta 1.

Por otro lado, se generaron y describieron los diferentes protocolos de instalación, mantención, validación y calibración de las estaciones de monitoreo, los sistemas de comunicación y alimentación, agregando además una lista de sensores que cuentan con las

características necesarias para formar parte del SOOAA, con su respectiva valoración económica. Cabe destacar que debido a que los procesos de calibración y mantenimiento pueden variar entre diferentes sensores, es que los protocolos se realizaron considerando los procesos comunes y generales más que específicos, por lo que cada encargado deberá tener presente que, además de los protocolos presentados en este proyecto, deberá considerar las recomendaciones realizadas por cada fabricante.

Finalmente se describieron algunos de los elementos técnicos que se deberán regular para el correcto funcionamiento del sistema SOOAA. Estos elementos hacen referencia a las capacidades profesionales del personal encargado del manejo de los datos, algunos elementos que tienen relación con el monitoreo y aseguramiento de la calidad de los datos y elementos de seguridad para las estaciones de monitoreo. Además de aclarar la necesidad de contar con laboratorios de calibración dentro del país que puedan cubrir la demanda que surgirá con la implementación de SOOAA, y que hasta el momento no existen. Este punto se volverá crítico y necesitará ser solucionado a la brevedad, debido a que frente al gran volumen de sensores y equipos que se deberán usar en SOOAA, el no contar con un adecuado sistema de calibración podría afectar en gran medida a la calidad y continuidad de los datos.

## 12. CONCLUSIONES

A partir de los 23 Sistemas de Observación evaluados (y6 nacionales y 17 internacionales), se concluye que si bien, no todos los sistemas de monitoreo oceanográfico consideran el monitoreo de la atmósfera, en aquellos sistemas que sí lo hacen, la variable más monitoreada es el viento, seguido de la temperatura y la presión atmosférica. Respecto de las variables oceanográficas, el monitoreo de la temperatura del mar y la salinidad son las más observadas, seguidas del oxígeno disuelto y la fluorescencia. El uso de anclaje de boyas es la estación/método de monitoreo más utilizado a nivel mundial.

Con los antecedentes recopilados se seleccionaron 15 “variables esenciales” a ser monitoreadas en la X Región bajo el marco del Proyecto, las que posteriormente fueron evaluadas en conjunto a un Taller de Expertos, quienes luego de una fructífera discusión aprobaron la selección de la lista de variables (Tabla 31). Así mismo, en el Taller se sugirió/destacó la importancia de realizar, en un futuro, el monitoreo de otras variables de interés para la Región, como lo son: el redox (procesos de óxido-reducción) y los gases invernadero.

**Tabla 31. Variables esenciales a medir en SOOAA.**

➤ Meteorológicas:	➤ Oceanográficas
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Temperatura</li> <li>✓ Presión atmosférica</li> <li>✓ Viento (magnitud y dirección)</li> <li>✓ Radiación solar</li> <li>✓ Precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Temperatura</li> <li>✓ Conductividad / Salinidad</li> <li>✓ Presión / Profundidad</li> <li>✓ Corrientes</li> <li>✓ Fluorescencia</li> <li>✓ Turbidez</li> <li>✓ Nutrientes (nitrato, amonio, fosfato)</li> <li>✓ Oxígeno disuelto</li> <li>✓ pH</li> <li>✓ FAN</li> </ul>

Para la medición de las variables esenciales, se deberán utilizar sensores y equipos que cumplan al menos con los requisitos definidos de acuerdo a estándares mundiales, presentados en la Tabla 32. Cabe destacar los requisitos presentados, corresponden a requisitos mínimos a cumplir, por lo que todo sensor o equipo que los igual o supere podrá ser utilizado en SOOAA.

**Tabla 32. Requisitos mínimos a cumplir por los sensores y equipos para pertenecer a SOOAA.**

	Variables	Unidad de medida	Rango de medición	Resolución	Exactitud / Precisión
Meteorológicas	Temperatura	°C	-20 a 45 (SOA) -80 a 60 (OMM)	0,1	± 0,3
	Presión	hPa	500 - 1080	0,1	± 0,1
	Magnitud viento	m s <sup>-1</sup>	0 - 70	0,5	± 0,5 (Mag. ≤ 5) ± 10% (Mag. >5) (*)
		knt	0- 137	0,05	± 0,05 (Mag. ≤ 10) ± 10% (Mag. >10) (*)
	Dirección viento	Grados (°)	0 - 360	5	± 5
	Ráfaga viento	m s <sup>-1</sup>	7 - 75	1	± 10 %
		knt	9 -146	2	
Radiación solar	W m <sup>-2</sup>	0-1800	1	±5% de rango medido en un día	
Precipitación	mm	0 a > 400	0,2	± 0.1 (Prep. ≤ 5) ± 4% (Prep. >5) (*)	
Oceanográficas	Velocidad corrientes	m s <sup>-1</sup>	Columna de agua de 25 m	Celdas de 1 m.	± 1% ± 5 mm s <sup>-1</sup>
	Dirección corrientes	Grados (°)	0 - 360	5	± 5
	Presión	bar	-	0,1	± 1% (*)
	Profundidad	m	-	0,1	± 1% (*)
	Temperatura	°C	2 - 20	0,01	± 0,05
	Salinidad (Conductividad)	g Kg <sup>-1</sup> / PSU (mS cm <sup>-1</sup> )	0 - 38 (50- 60)	0,01 (0,001)	± 0,05 (±0,005)
	Oxígeno disuelto/ % Saturación	mL L <sup>-1</sup>	0 - 10	0,1	± 0,1
		mg L <sup>-1</sup>	0 -7	0,07	± 0,07
		%	0 - 200	0,1	± 0,5
Turbidez (medir a 800-890 nm)	NTU	0-1000	0,5	± 0, 5	
pH	-	1 - 14 (general) 7 - 9 (fiordos)	0,1	± 0,5	

Nitrato	$\mu\text{M}$	0 - 34 (superficie) 8 - 31 (subsuperficial)	0,1	$\pm 0,5$
Amonio	$\mu\text{M}$	0 - 2,56 (superficie) <1 - 2,01 (subsuperficial)	0,01	$\pm 0,05$
Fosfato	$\mu\text{M}$	0 - 2,0 (superficie) 0,8 - 2,79 (subsuperficial)	0,01	$\pm 0,05$
Fluorescencia	$\text{mg m}^{-3} / \mu\text{L}^{-1}$	-	0,01	$\pm 0,01$

En cuanto a la ubicación de las estaciones de monitoreo, se utilizaron diversos criterios de selección: hidrodinámico, estadístico, cobertura comunicacional y facilidad de acceso. Con los resultados, se generó un mapa con la ubicación ideal de las estaciones, obteniendo un total de 60 sitios de monitoreo oceanográfico. Es importante mencionar que los resultados del análisis estadístico obtenidos, fueron directamente proporcionales a la cantidad de información analizada, por lo que al poder contar con una mayor cantidad de información se podrían obtener resultados más representativos, y por tanto es necesario reevaluar las ubicaciones a medida que se obtenga más información.

A partir de la evaluación de los principales sistemas de comunicación existentes (punto 10.2), se concluye lo siguiente:

- ✓ El sistema de transmisión podrá variar por cada sitio de monitoreo, dependiendo de las opciones más óptimas para cada caso, pudiendo utilizar redes LoRa, GPRS, WiFi, Satelital, etc.
- ✓ Se requiere como “funcionalidad”, adicionar o disponer de los datos en tiempo real para su análisis en un portal de configuraciones.

- ✓ Se debe privilegiar la conexión a Internet en los sitios de monitoreo donde exista.

Respecto al uso de un prototipo de prueba, es importante considerar que un prototipo es una visión preliminar del producto final, es un modelo operable, fácilmente ampliable y modificable, que tiene todas las características propuestas/deseadas, pero realmente es un modelo básico, de bajo costo, que no tiene que ser perfecto ni poseer alta fidelidad, pero debe permitir detectar problemas/fallas a ser mejoradas en desarrollos posteriores, las que permiten llegar al producto final.

El prototipo observacional, diseñado e implementado por la ECM, de la estación de monitoreo contempló una estructura modular que permitirá el intercambio de sensores. Para la prueba de los sistemas se escogió utilizar sensores de dos proveedores. En cuanto al sistema de comunicación se decidió probar el sistema de LPWAM por sobre la conexión celular, con la intención de confirmar los beneficios que presenta esta tecnología en zonas remotas en donde no haya acceso a redes celulares. Además se logró probar tecnología de punta orientada a IoT, (del inglés, Internet of Things) y evaluar el efecto del biofouling sobre los sensores.

Las pruebas realizadas con el prototipo, durante los dos meses de funcionamiento (23 de marzo y 25 de mayo de 2018), permitieron definir los siguientes requisitos fundamentales para su integración a SOOAA:

- 1.- Asegurar una alimentación de energía eléctrica continua y estable, que permita una correcta comunicación entre las tarjetas controladoras y entre los sensores y las tarjetas

controladoras. En algunos lugares se realizan sistemáticamente cortes de energía que afectan el adecuado funcionamiento de los sensores.

2.- El tiempo requerido para realizar el mantenimiento parcial o completo de una estación de monitoreo/boya depende de la accesibilidad al lugar de emplazamiento, la disponibilidad de embarcación y de las condiciones de apertura y cierre de puerto. Estas últimas no necesariamente dependen de las condiciones atmosféricas/oceanográficas locales.

3.- Es deseable que las estaciones de monitoreo cuenten con indicadores de alimentación de los sensores, dispongan de un alcance adecuado de la red WiFi que permita navegar dentro de los dispositivos de la boya a mayor distancia sin necesidad de conexión por cable, idealmente utilizando el enlace LoRa.

4.- Realizar pruebas para chequear la reacción de las diferentes partes del prototipo, verificar el efecto de la presión del agua sobre los sensores y sistemas estancos, dejando un margen de seguridad de un 20% sobre lo que indica en fabricante.

5.- Seleccionar dispositivos robustos, idealmente resistentes a golpes.

6.- Debido a la gran agresividad del biofouling, se sugiere realizar una mantención/limpieza mensual de los sensores, reduciendo este tiempo a la mitad durante los periodos de máxima productividad biológica, principalmente en los sensores más superficiales.

7.- Respecto al diseño del sistema de transmisión de datos, se consideraron tres soluciones: celular, LPWAN y satelital. Se propone como primera alternativa el uso de red 3G/LTE, y en zonas donde esta no se encuentra disponible usar la tecnología LPWAN, dejando como

última alternativa la comunicación satelital, debido a su alto costo. Una parte importante de los criterios de selección del sistema de comunicación corresponde a la obligatoriedad de contemplar a lo menos un 90% de datos recuperados.

Se presentó, y dejó a disposición como modelo, un prototipo funcional del software de administración y visualización de datos (plataforma web). Este software cuenta con las principales funciones y características requeridas para el sistema SOOAA y además podrá ser usado como base para el software definitivo a utilizar una vez el sistema esté en completo funcionamiento.

Se estandarizaron los protocolos de instalación, calibración validación y mantención de las diferentes estaciones de monitoreo (oceánica y costera), los que garantizarán la calidad de cada medición. Los protocolos descritos se realizaron tomando en cuenta los aspectos generales a considerar. Los procedimientos específicos de cada sensor deberán ser realizados siguiendo las indicaciones dadas por cada fabricante.

Lograr minimizarlos costos de instalación, operación y mantención de SOOAA, requiere establecer estaciones de monitoreo sectorizadas y específicas, es decir, monitorear más donde la variabilidad ambiental sea mayor. Debido a los costos de implementación, es que, además, se sugiere un proceso paulatino de instalación debiendo estar el sistema completo en funcionamiento en un período de 10 años.

Se proponen dos opciones de sistemas de administración, el primero siguiendo la letra de la Ley, deja a cargo de las Concesiones de acuicultura la implementación y correcto

funcionamiento del sistema, teniendo como encargado de los datos a la SUBPESCA o entidad estatal similar y al SERNAPECA como ente fiscalizador. La segunda propuesta considera la creación de un Institución, que puede ser pública y/o privada, que se haga cargo completo del sistema, desde la implementación hasta la publicación de los datos, debiendo entregar la totalidad de los datos a SUBPESCA para la posterior toma de decisiones y teniendo de igual forma a SERNAPESCA como ente fiscalizador. En ambos casos se considera que para poder implementar SOOAA, se requiere un financiamiento compartido entre las Agrupaciones de Concesiones de Acuicultura y el Estado.

Se definieron algunos elementos técnicos que se deberán regular previo y durante el proceso de implementación de SOOAA. Se incluyen elementos de seguridad y se hace especial hincapié en la necesidad de contar con personal e instalaciones, especialmente laboratorios de calibración, certificados y dentro del país.

### 13. REFERENCIAS

**Aiken, C. 2008.** Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry. *J. Geophys. Res.*, 113(C08024):doi10.1029/2007JC004593.

**Alvera-Azcarate, A., A. Barth, M. Rixen & J. Beckers. 2005.** Reconstruction of incomplete oceanographic data sets using empirical orthogonal functions. Application to the Adriatic Sea Surface Temperature. *Ocean Model.* 9: 325 - 346.

**Arneborg, L. & B. Liljebladh. 2001.** The internal seiches in Gullmar fjord. Part II: contribution to basin water mixing. *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 2567-2574.

**Blain, S., Guillou, J., Tréguer, P.J., Woerther, P., Delauney, L., Follenfant, E., Gontier, O., Hamon, M., Leilde, B., Mer, D., Cnrs, U.M.R., Nicolas, P., Mer, D., Cnrs, F.R. &**

**Björnsson, H. & S. Venegas. 1997.** A Manual for EOF and SVD Analyses of Climatic Data. McGill University. 52 pp.

**Björnsson, H. & S.A. Venegas. 1999.** A manual for EOF and SVD analyses of Climatic Data. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Centre for Climate and Global Change Research. McGill University, Montreal, Québec. Report #97-1, 52pp.

**Cáceres, M., A. Valle-Levinson & L. Atkinson. 2003.** Observations of cross-channel structure of flow in an energetic tidal channel. *J. Geophys. Res.*, 108(C4)3114:11-1 - 11-9.

**Carpenter, J.I.I., 1969.** New Measurement of oxygen solubility in pure and natural water. *Limnology and Oceanography*, 11, 264-277.

**Castillo, M., O. Pizarro, U. Cifuentes, N. Ramirez & L. Djurfeldt. 2012.** Subtidal dynamics in a deep, strongly stratified fjord of southern Chile. *Cont. Shelf. Res.*, 49: 73 - 89.

**Castillo, M., O. Pizarro, U. Cifuentes, W. Rojas, & N. Ramírez. 2012.** Subtidal dynamics in a deep fjord of southern Chile. *Continental Shelf Research*, 49, 73-89.

**Castillo, M.I., Cifuentes, U., Pizarro, O., Djurfeldt, L. & Cáceres, M., 2016.** Seasonal hydrography and surface outflow in a fjord with a deep sill: the Reloncaví fjord, Chile. *Ocean Science*, 533–544.

**Castillo, M., O. Pizarro, N. Ramirez & M. Cáceres. 2017.** Seiche excitation in a highly stratified fjord of southern Chile: the Reloncaví fjord. *Ocean Sci.*, 13, 145-160.

**Castro, L.R., Cáceres, M., Silva, N., Muñoz, M., León, R., Landaeta, M.F. & Soto-Mendoza, S., 2011.** Short-term variations in mesozooplankton, ichthyoplankton, and nutrients associated with semi-diurnal tides in a patagonian Gulf. *Continental Shelf Research*, 31, 282–292.

**Coloma, K. 2016.** Variabilidad intramareal de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes inorgánicos en el fiordo Reloncaví y golfo Corcovado (CIMAR 12 y 17 Fiordos). Trabajo de titulación para optar al título de Oceanógrafo. Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 88 pp.

**Copernic, P.N., 2004.** High frequency monitoring of the coastal marine environment using the MAREL buoy. *Journal of Environmental Monitoring*, 6, 569–575.

**Correa-Ramírez, M., & S. Hormzazábal. 2012.** MultiTaper Method - Singular Value Decomposition (MTM-SVD): Variabilidad espacio-frecuencia de las fluctuaciones del nivel del mar en el Pacífico suroriental. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(4): 1039-1060.

**Dyer, K. R. 1973.** Estuaries: a physical introduction. John Wiley and Sons. 195 pp.

**Dyer, K. 1997.** Estuaries: A physical introduction. 2nd Edition. Wiley, London, 210 pp.

Officer, C. 1976. Physical oceanography of estuaries and associated coastal waters. John Wiley & Sons, Inc., New York, 465 pp.

**Edler, L. & Elbrächter, M., 2010.** The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis.

**Eischeid, J.K., Baker, T.K., Díaz H.F., 1995.** The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *J. Appl. Meteor.*, 34, 2787- 2795.

**Farmer, D. & H. Freeland. 1983.** The physical oceanography of Fjords. *Progress in Oceanography*, 12(2):147-194.

**Feng, S., Hu, Q., Qian, Q., 2004.** Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: a new dataset. *Int. J. Climatol.*, 24, 853-870.

**Fiebrich, C.A., Crawford, K.C., 2001.** The impact of unique meteorological phenomena detected by the Oklahoma Mesonet and ARS Micronet on automated quality control. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 82(10):2173-2187.

**Fischer, J.P. & Wenzhöfer, F., 2010.** A novel planar optode setup for concurrent oxygen and light field imaging: Application to a benthic phototrophic community. *Limnology and Oceanography: Methods*.

**Gandin, L.S., 1988.** Complex quality control of meteorological data. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1137-1156.

**Gillibrand, P.A. 1993.** Circulation and mixing in a Scottish sea loch. Thesis, University of Wales, Bangor, U.K.

**Gillibrand, P., W. Turrell & A. Elliott. 1995.** Deep-water renewal in the upper basin of Loch Sunart, a Scottish fjord. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 1488 - 1503.

**Graybeal, D. Y., DeGaetano, A. T., Eggleston, K.L., 2004a.** Improved quality assurance for historical hourly temperature and humidity: development and application to environmental analysis. *J. Appl. Meteor.*, 43, 1722-1735.

**Grüter, E., Häberli, C., Küng, U., Mumenthaler, P., Mettler, J., Bassi, M., Konzelmann, T., Dösseger, R., 2001.** The next generation of quality control tools for meteorological data at Meteoswiss DACH-MT 2001.

**Hannachi, A. 2004.** A Primer for EOF Analysis of Climate Data. Department of Meteorology, University of Reading, United Kingdom. 33 pp.

**Holmes, R.M., Aminot, A., K erouel, R., Hooker, B.A. & Peterson, B.J., 1999.** A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, 1801–1808.

**Horel, J., Splitt, M., Dunn, L., Pechmann, J., White, B., Ciliberti, C., Lazarus, S., Slemmer, J., Zaff, D., Burks, J., 2002.** Mesowest: Cooperative Mesonets in the Western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 211-225.

**Hubbard, K.G., 2001.** Multiple station quality control procedures. Automated weather stations for applications in agriculture and water resources management. *World Meteorological Organization Tech. Doc. AGM-3 WMO/TD No. 1074*, 133-136.

**Inall, M. & P. Gillibrand. 2010.** The physics of mid-latitude fjords: a review. *Geological Society, London, Special Publications 344*: 17-33.

**Kunkel, K.E., Andsager, K., Conner, G., Decker, W.L., Hillaker Jr., H.J., Knox, P.N., Nurnberger, F.V., Rogers, J.C., Scheeringa, K., Wendland, W.M., Zandlo, J., Angel, J.R., 1998.** An expanded digital daily database for climatic resources applications in the Midwestern United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 79 (7):1357-1366.

**Mann, M. & J. Park. 1999.** Oscillatory spatiotemporal signal detection in climate studies: a Multiple-Taper Spectral domain approach. En: Dmowska, R. & B. Saltzman (Eds). *Advances in geophysics*. Elsevier, 41: 1-131.

**Meek, D.W., Hatfield, J.L., 1993.** Data quality checking for single station meteorological databases. *Agricultural and Forest Meteorology*. 36:85-109

**O'Brien, K.J., Keefer, T.N., 1985.** Real-time data verification. In: *Computer Applications in Water Resources*. Proc. ASCE Spec. Conf., Buffalo, N.Y., ASCE, New York, N.Y., pp. 764-770.

**Officer, C. B. 1976.** *Physical Oceanography of estuaries and associated coastal waters* John Wiley and Sons. 465 pp.

**Olsen, L.M., Hernández, K.L., Ardelan, M. Van, Iriarte, J.L., Bizsel, K.C. & Olsen, Y., 2017.** Responses in bacterial community structure to waste nutrients from aquaculture : an in situ microcosm experiment in a Chilean fjord. *Aquaculture Environment Interactions*, 9, 21–32.

**Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2017.** WIGOS. Sistema mundial integrado de sistemas de observación de la OMM. Disponible en WEB: [[https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/Principal\\_Docs/WIGOS\\_flyer\\_es.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/Principal_Docs/WIGOS_flyer_es.pdf)]

**Oviatt, H.S., Wilkins, D.E., 2002.** USDA-ARS meteorological monitoring in Northeastern Oregon. Reprinted from 2002 Columbia Basin Agricultural Research Annual Report. Spec. Rpt. 1040, pp. 16-29, 2002.

**Pérez-Santos, I., J. Garcés-Vargas, W. Schneider, L. Ross, S. Parra & A. Valle-Levinson. 2014.** Double-diffusive layering and mixing in Patagonian fjords. *Prog.Oceanogr.* 129:35-49.

**Pérez-santos, I., 2017.** Deep ventilation event during fall and winter 2015 in the. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45, 223–227.

**Prado-fiedler, R., 2000.** Distribución espacial del amonio en fiordos y canales comprendidos. *Ciencia y Tecnología Marina*, 23, 15–24.

**Prado-fiedler, R., 2009.** Winter and summer distribution of dissolved oxygen, pH and nutrients at the heads of fjords in Chilean Patagonia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44, 783–789.

**Prado-fiedler, R. & Salcedo, J., 2008.** Aporte Fluvial y Pluvial de Nitrógeno y Fósforo al fiordo Aysén y Canales Jacaf - Ventisquero - Puyuhuapi. *Ciencia y Tecnología Marina*, 31, 75–95.

**Pugh, D. 2004.** *Changing sea levels.* Cambridge University Press, Cambridge, 265 pp.

**Reek, T., Doty, S.R., Owen, T.W., 1992.** A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the Cooperative Network. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 73(6):753-762.

**Robins, P. 2008.** *Baroclinic Circulation in the Gareloch: A Scottish Fjord,* Tesis, University of Wales, U.K.

**Robinson, D.A., 1990.** The United States Cooperative Climate Observing Systems: reflections and recommendations. *Bulletin of the American Meteorological Society*.71 (6):826-831.

**Ross, L. A. Valle-Levinson, I. Pérez-Santos, F. Tapia & W. Schneider. 2015.** Baroclinic annular variability of internal motions in a Patagonian fjord. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 5668 - 5685, doi: 10.1002/2014JC010669.

**Shafer, M.A., Fiebrich, C.A., Arndt, D. S., Fredrickson, S. E., Hughes, T. W., 2000.**Quality assurance procedures in the Oklahoma Mesonet. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 17, 474-494.

**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.

**Schroeder, J.L., Burgett, W.S., Haynie, K.B., Sonmez, I., 2005:** The West Texas Mesonet: a technical overview. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22, 211-222.

**Silva, N. & S. Palma (eds). 2006.** Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. Comité Oceanográficos Nacional - Pontifica Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.

**Silva, N. & Vargas, C.A., 2014.**Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. *Progress in Oceanography*, 129, 62–74.

**Snyder, R.L. & Pruitt, W.O., 1992.** Evapotranspiration data management in California. Irrigation and Drainage, Saving a Threatened Resource –In Search of Solutions, T.E. Engman, Ed., American Society of Civil Engineers, 128-133.

**Stigebrandt, A. 1981.** A mechanism governing the estuarine circulation in deep, strongly stratified fjords. Estuarine, Coastal and Shelf Science 13: 197-211.

**Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R., 1972.** A Practical Handbook of Seawater Analysis, The Alger. (ed. by J.C. Stevenson) Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

**Syvitski, J.P.M, D.C. Burrell & J.M. Skei. 1987.** Fjords: Processes and Products, Springer Verlag, NY.

**Thompson, D. & J. Woodworth. 2014.** Barotropic and baroclinic annular variability in the southern hemisphere, J. Atmos. Sci., 71, 1480 - 1493, doi:10.1175/JAS-D-13-0185.1.

**UNESCO, 2012.** A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNE UNESCO 2012, IOC/INF-1284, doi: 10.5270/OceanObs09-FOO

**UNE 500510, 2005.** Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas. Aspectos generales y nomenclatura. AENOR.

**UNE 500540, 2004.** Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas. Directrices para la validación de registros meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas. Validación en tiempo real. AENOR.

**Valle-Levinson, A. 2010.** Contemporary Issues in Estuarine Physics. Cambridge University Press. 315 pp.

**Venegas, S.A. 2001.** Statistical Methods for Signal Detection in Climate. Danish Center for Earth System Science, Niels Bohr Institute for Astronomy, Physics and Geophysics. University of Copenhagen. Denmark. Report #2, 96 pp.

**Wade, C. G., 1987.** A quality control program for surface mesometeorological data. J. Atmos. Oceanic Technol., 4, 435-453.

**Yevenes, M.A., Bello, E., Sanhueza-guevara, S. & Farías, L., 2016.** Spatial Distribution of Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) in the Reloncaví Estuary – Sound and Adjacent Sea (41 ° – 43 ° S), Chilean Patagonia. Estuaries and Coasts.

**You, Y. 2002.** A global ocean climatological atlas of the Turner angle: implications for double-diffusion and water-mass structure. Deep-Sea Res. I, 49: 2075-2093.

## **14. ANEXOS**

### **14.1. Acta Primera Reunión de Coordinación con Subsecretaría de Pesca**

Proyecto FIPA 2016-68 “Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para implementación de una red de monitoreo de las agrupaciones de concesiones de acuicultura”

**Entidad Ejecutora:** Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

**Fecha:** 20/12/2016

**Lugar:** Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

#### **1. Asistentes a la reunión:**

Srta. Malú Zavando	Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Sr. Eugenio Zamorano	Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Sr. Sergio de la Barrera	Superintendencia de Medio Ambiente
Srta. Ana Camel Merino	Dirección Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático
Srta. Carolina Valdebenito	Dirección Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático
Sr. Cristian Acevedo	Subsecretaría de Pesca
Srta. Susana Giglio	Subsecretaría de Pesca
Sr. Samuel Hormazábal	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Sr. Jorge Jiménez	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Sr. Miguel Fernández	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

#### **2. Desarrollo de la Reunión**

En el transcurso de la reunión el Dr. Samuel Hormazábal presentó los objetivos del proyecto y metodologías para cada uno de objetivos particulares, destacando las siguientes ideas y propuestas:

- Reunir esfuerzos con otro proyecto denominado POMeO de Innova CORFO, que actualmente se encuentra en ejecución en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV).
- Se hace énfasis en aspectos como conexión de Internet industrial y servidores de alto desempeño que son necesarios considerar, para asegurar un flujo de datos de alta velocidad en ambos sentidos, una capacidad de procesamiento y un gran número de usuarios concurrentes en forma simultánea.
- Se propone utilizar la plataforma de POMeO para alojar sistema propuesto, señalando que esta plataforma estará físicamente ubicada en dependencias de la PUCV y que será administrada por un consejo directivo, para el cual se invitaría a la Subpesca a formar parte de éste.

Al respecto, la Subpesca señala que la propuesta se ve interesante, sin embargo, podrían existir aspectos legales que debieran ser estudiados, no descartando la opción.

- Se hace presente la inquietud sobre la fecha de inicio del proyecto, en consideración a que lo que resta del año y los meses de enero y febrero son meses críticos para convocar un taller de expertos, taller de gran relevancia para el desarrollo y éxito del proyecto. Posponer el taller repercutiría en otras actividades como por ejemplo la realización del primer informe de avance.

Por su parte la Subpesca solicita analizar dicho planteamiento, considerando los requerimientos y tiempo que se maneja. Para ello se acuerda revisar la Carta Gantt, e intentar

la realización del taller de experto en varias etapas, situación que deberá ser respaldada con una nueva propuesta sometida a análisis de la Subpesca y del consejo del FIPA.

Finalmente, la Subpesca refuerza que de acuerdo a las bases del concurso, la ubicación geográfica para la instalación de la red de observación, debe estar concentrada en la décima región, para lo cual se requiere seleccionar los lugares más apropiados para el monitoreo. Lo anterior de acuerdo a los lineamientos que fija la ley en base a la acuicultura y su efecto sobre el medio ambiente.

## **14.2. Informe 1º Taller de Expertos**

Proyecto FIPA 2016-68 “Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para implementación de una red de monitoreo de las agrupaciones de concesiones de acuicultura”

Ejecutor: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Fecha: 20/01/2017

Lugar: Centro de Investigación I-Mar, Universidad de los Lagos.

### **Contexto y objetivos de la reunión**

En el marco del desarrollo del proyecto “Evaluación y análisis de los requerimiento necesarios para la implementación de una red de monitoreo para las agrupaciones de concesiones de acuicultura”, y siguiendo la programación de actividades, el día 20 de enero del 2017 entre las 09:30 y 13:30 hrs, la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso organizó en la Ciudad de Puerto Montt, un Taller de Expertos con la participación de Investigadores responsables y gestores de acuicultura de la región de los Lagos. El objetivo de este Taller, fue discutir y analizar las directrices de ejecución del proyecto, en particular las variables medioambientales que se deberán monitorear con el propósito de disponer de un sistema adecuado a la realidad geográfica del extremo sur austral de Chile, orientado a la medición y la *observación* sistemática de diversas variables físico-ambientales, con el objeto de obtener información confiable y oportuna para la toma de decisiones.

La reunión comenzó con las palabras de bienvenida del Dr. Iván Pérez Santos, anfitrión del Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos y Ambientes Costeros, I-Mar de la Universidad de Los Lagos. A continuación, el Dr. Samuel Hormazábal Jefe del Proyecto,

---

presentó a parte del equipo que lo acompañaba y expuso el Objetivo General del Proyecto explicando cada uno de los objetivos específicos. También se aprovechó la ocasión para exponer nuevas tecnologías de comunicación de bajo consumo (LPWAN); con baterías de duración de 10 años, que perfectamente podrían ser aplicados en un sistema cooperativo como un enlace robusto para el monitoreo continuo de las variables físico-ambientales. Al finalizar, se realizó una ronda de preguntas logrando un interesante debate del que se pudieron extraer las siguientes ideas y observaciones:

Entre los aspectos comentados se resaltó la escasez de series de tiempo (mediciones de largo plazo) continuas en la zona, aspecto fundamental al momento de analizar y evaluar condiciones ambientales, consensuando que lograr un monitoreo continuo y centralizado significará un gran avance para el conocimiento de la zona en cuestión.

Otro aspecto discutido fue la determinación de la escala de los procesos que se requiere monitorear, considerando que no todas las variables poseen el mismo comportamiento y grado de dificultad de medición.

Se hizo hincapié en que la información obtenida debe ser de dominio público, manteniendo las salvaguardas en el caso de información estratégica, la que debería ser tratada en forma distinta, estableciéndose para ésta procedimientos y tiempos de liberación apropiados.

Entre las dudas señaladas se comentó sobre la elección de las zonas de muestreo, considerando que existen los Barrios (zonas urbanas) o si se considerará otro tipo de área. Así mismo, frente a la consulta sobre la forma de realizar el monitoreo, en el sentido de

hacerlo en tiempo real o por realización de campañas post-proceso, se clarificó que la idea es proponer un sistema de monitoreo continuo y en tiempo real, considerando que el Estado necesita tomar decisiones y dar directrices oportunas en caso de eventos catastróficos.

Durante la conversación se mencionó que ya existiría el estudio de variables necesarias realizado por IFOP, a lo que se explicó que la idea es monitorear permanentemente para detectar cambios y también de ser necesario, establecer alertas tempranas de eventos extraordinarios.

Otro aspecto a tomar en consideración y que fue tratado durante el taller es la existencia de más de 1000 concesiones, y que solamente un tercio de ellas se encontrarían activas. Por tal razón podrían existir zonas importantes, cuyo monitoreo podría no ser continuo o simplemente no podría realizarse al existir concesiones que se activan y desactivan según criterios prácticos del productor, por lo que posiblemente al momento de implementar los puntos de monitoreo, será necesario establecer responsabilidades que podrían escapar a los intereses de un determinado concesionario, debiéndose tratar el tema como grupo, responsabilidad que deberá quedar claramente establecida al momento de proponer el monitoreo.

De igual forma se observó inquietud entre los asistentes sobre el interés que los legisladores al momento de redactar el artículo 87 ter de la Ley 20.434, Ley General de Pesca y Acuicultura, en particular conocer si se perseguía cautelar el medio en el que se desarrolla la acuicultura o cautelar la productividad de la acuicultura. También se habló sobre las debilidades del artículo que no considera mediciones como oxígeno disuelto y nutrientes,

---

mediciones relevantes en el proceso de protección del medioambiente. En tal sentido se señaló por parte de la representante de la Subpesca que la idea es lograr un equilibrio: económico, ambiental y social, y que la filosofía de la ley de pesca es que el acuicultor se responsabilice de cuidar el medio ambiente. Sin embargo, será necesario considerar que un reglamento no puede estar por sobre la ley, por lo tanto, exigir monitorear oxígeno y nutrientes como lo establece el Proyecto debe estar apropiadamente justificado, para que voluntariamente, de no existir otra herramienta jurídica, el concesionario se vea obligado a incluir estas mediciones.

Al analizar las variables a ser monitoreadas, se manifestó que aparentemente el monitoreo no apuntaba hacia los efectos de la acuicultura sobre el ambiente, en él, se observa sólo la columna de agua, por lo que las variables consideradas apuntarían a caracterizar el ambiente al no considerar variables como sedimento.

Se mencionó la necesidad de adoptar protocolos adecuados para el mantenimiento del instrumental dadas las condiciones extremas en que deberán operar éstos y sobre el temor de que se establezca el uso exclusivo de alguna marca de sensor, en tal sentido el Jefe de Proyecto precisó que los protocolos forman parte de los objetivos del proyecto, por lo cual estaría considerado. Sobre el uso exclusivo de alguna marca de instrumental en particular, precisó que se dejaría abierto a diferentes marcas y modelos que cumplan con ciertos criterios pre-establecidos.

Sobre la determinación de los lugares a monitoreo, se produjeron variadas opiniones producto al desconcierto respecto del motivo de éste, en tal sentido se recibieron algunos

comentarios de sucesos (e.g. “La variación de muestreo entre un extremo y otro de una jaula era muy grande”), situación que fue aclarada, comentando que la intención del monitoreo es conocer el estado ambiental del entorno, con la finalidad de interpretar si éste podría afectar a las concesiones medioambientales de la acuicultura (ejemplo aumento temperatura superficial del mar, disminución del oxígeno, aumento de nutrientes, etc.) o si el manejo de las concesiones pudieran eventualmente afectar el entorno.

Sobre la escala temporal, se recibieron opiniones respecto a que no todas las variables presentan la misma variación temporal, por lo que se requeriría determinar una frecuencia acorde a las distintas situaciones, entre las que destacaron la vida útil del instrumental, el costo, el mantenimiento requerido, etc., aspectos que serán considerados en el desarrollo del Proyecto.

### **Comentarios varios**

Se habló de promover la creación de un grupo de trabajo técnico-científico interinstitucional e interdisciplinario para administrar un sistema de monitoreo de la envergadura del señalado en el Proyecto.

### **Conclusiones**

Se observó gran interés de los asistentes en lograr series de tiempo continuas de parámetros hidro-meteorológicos, útiles para facilitar el conocimiento del entorno medioambiental de la zona, proporcionando información y experiencias técnicas, científicas y los procedimientos

mínimamente necesarios para la implementación del monitoreo medioambiental requerido por el Proyecto.

Tanto los comentarios como las opiniones recibidas durante el desarrollo del taller fueron muy positivas, recalando aspectos como la determinación de la escala de los procesos, determinación del tipo de instrumental, la escala temporal y espacial, uso de las actuales parcelaciones (o barrios) para la determinación de la distribución del monitoreo y sobre la interacción con el entorno del sistema propuesto, al responder a estímulos medioambientales en un plazo de tiempo determinado (tiempo real), y muy especialmente sobre el tipo de instrumental a proponer, antecedentes que serán evaluados y considerados en la propuesta final del Proyecto.

Dado el alto grado de interés en el proyecto por parte de los asistentes, se desarrolló una segunda etapa como parte del mismo Taller.

## Participantes Taller de Expertos

El Taller de Expertos, estuvo constituida por Investigadores, Responsables y Gestores de la Acuicultura de la Región de Los Lagos

**Tabla 33. Listado de asistentes al Taller de Expertos con la participación de Investigadores Responsables y Gestores de acuicultura de la Región de los Lagos**

Nombre Experto	Institución a la que pertenece
Susana Giglio	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Paulina Montero	Centro de Investigación Ecosistemas Patagónicos (CIEP)
Xavier Gutiérrez	NIVA Chile
Felipe Briceño	NIVA Chile
Nelson Silva	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)
Leonardo Guzmán	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Gastón Vidal	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Margarita Pérez	Universidad de Los Lagos
Patricio Mejías	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Manuel Castillo	Universidad de Valparaíso
Geysi Urrutia	MultiexportFoods
César Fernández	Plancton Andino Spa.
Nicolás Mayorga	I.M.A.Y
Eduardo Navarro	Instituto Milenio de Oceanografía Universidad de Concepción
Elias Pinilla	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Gabriel Soto	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Cristina Pérez	Pelicanos Ltda. / 32 Points
Edwin Niklitshek	Universidad de los Lagos
Joselin Blanco	BlueWater
Julio del Río	Sustent
Giovanni Daneri	Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) Programa COPAS Sur-Austral.
Nicole Olavarría	I-MAR
Oscar Hofmann	Salmes Austral Spa.
Miguel Fernández	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)
Samuel Hormazábal	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)

### **14.3. Informe 2º Taller de Expertos**

Proyecto FIPA 2016-68 “Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para implementación de una red de monitoreo de las agrupaciones de concesiones de acuicultura”

Ejecutor: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Fecha: 26/05/2017

Lugar: Auditorio Quinto Centenario de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

#### **Contexto y objetivos de la reunión**

Siguiendo con el desarrollo del Proyecto: “Evaluación y análisis de los requerimiento necesarios para la implementación de una red de monitoreo para las agrupaciones de concesiones de acuicultura”, y dada la complejidad de la Región, siguiendo las recomendaciones obtenidas durante el primer taller de expertos realizado en el mes de enero en la ciudad de Puerto Montt, se realizó un segundo taller con la finalidad de confirmar la propuesta sobre las variables oceanográficas definidas de gran relevancia para una red de monitoreo en línea, los lugares para instalar las estaciones de monitoreo y la profundidad a la cual deberán ser realizadas las mediciones. Este taller se desarrolló en el Auditorio Quinto Centenario, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y con la participación investigadores, y profesionales del área de la oceanografía y la acuicultura del país.

La actividad comenzó a las 15:20 hrs. con la bienvenida y posterior ponencia el director del proyecto Dr. Samuel Hormazábal, quien destacó el objetivo general del proyecto, la regulación que exige el monitoreo en línea de los parámetros ambientales de las agrupaciones

de concesiones acuícolas, la importancia y potenciales usos de los resultados del proyecto, finalizando con una propuesta de las variables a monitorear y ubicaciones de las estaciones de monitoreo. Al término del taller, se llegaron a los siguientes acuerdos:

- Si bien, realizar el monitoreo en los primeros metros de profundidad son fundamentales para estudios de variaciones en la superficie, dependiendo de la zona se han detectado variaciones importantes en la estratificación hasta 40 m, situación que sugiere realizar mediciones al menos hasta esa profundidad, condición que al no ser constante variaría según la zona.
- Se sugiere incluir mediciones de sedimento en el fondo marino a frecuencias de muestreo más bajas (app 1 mes).
- Se sugiere medir potencial redox, considerando la importancia de comprender los procesos químicos que tienen lugar, además de comprender la biología relacionada.
- Se sugirió considerar al momento de ubicar las estaciones de monitoreo la importancia de los grandes cambios entre periodos de sicigia y cuadratura especialmente en el Canal Desertores, que podrían replicarse en otros lugares de la Región.
- Se enfatizó sobre la importancia de la medición de oxígeno particularmente en fiordos con o sin morrena como una forma de detectar hipoxia cuando esta proviene del fondo marino.
- Como forma de motivar el interés de los concesionarios acuícolas, se sugirió considerar variables de importancia para ellos además de integrar el monitoreo ya existente en la

zona, además señalándose que el proyecto considera dar facilidad para que se incorporen observaciones voluntarias y que cumplan con las normas de calidad estipuladas en él.

- Se advirtió sobre la detección de un aumento de gases tóxicos en la zona, por lo que se consideró interesante medir el metano y N<sub>2</sub>O.
- Se señaló la importancia del monitoreo de las variables meteorológicas como una forma de encontrar explicación a algunos fenómenos oceanográficos de menor escala que podrían afectar en forma significativa la actividad de algunos centros acuícolas.
- Se llegó a consenso sobre las variables meteorológicas y oceanográficas más relevantes a monitorear; generándose el siguiente cuadro resumen:

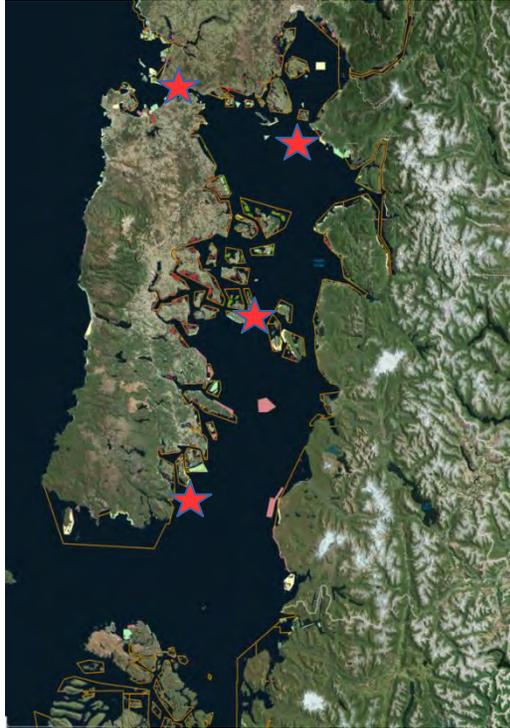
**Tabla 34. Variables oceanográficas y meteorológicas más relevantes seleccionadas para monitorear en SOOAA.**

Variables Meteorológicas	Variables oceanográficas		
Principales	Principales	Secundarias	Derivadas
Vientos	Temperatura	pH	Densidad
Presión atmosférica	Salinidad / conductividad		
Temperatura	Oxígeno disuelto	FAN	
Radiación solar	Profundidad / presión		
	Corrientes		
Precipitación	Fluorescencia		
	Turbidez		
	Nutrientes		

- Respeto de los lugares a monitorear, se coincidió en seleccionar la ubicación de las estaciones de monitoreo, considerando los siguientes criterios:
  - ✓ Dinámico
  - ✓ Estadístico

Este último criterio utilizado como herramienta que permita determinar las zonas que contribuyen significativamente a la variabilidad de los parámetros oceanográficos/atmosféricos de la región.

Se destacó la posibilidad de realizar mediciones de corriente al menos en los lugares propuestos en el siguiente mapa o cercanos a ellos, el resto de las estaciones considerar al menos una en cada cabeza y boca de los canales y ríos.



**Figura 89. Mapa de la Región de Aysén. Las estrellas marcan los lugares estratégicos para la medición de corrientes.**

- Respecto a las profundidades, los criterios acordados se basarán en análisis estadístico considerando la profundidad en la que se observa mayor varianza, que de acuerdo a la estadística mostrada, que se presenta mayormente en los primeros 25 m, no obstante, considerando la importancia de la somerización de zonas con escaso contenido de oxígeno, se sugirió realizar mediciones en sectores específicos hasta al menos los 40 m.

## **Conclusiones**

*Se propone generar un buen clima de acercamiento con los acuicultores, motivándolos a la implementación del sistema de monitoreo destacando la utilidad que tendría este monitoreo para el sector productivo.*

*La elección de las variables concitó gran interés de los presentes quienes sugirieron y justificaron variables que inicialmente no se encontraban en los requerimientos iniciales como medición de potencial redox, sedimento en el fondo marino y monitoreo de oxígeno a profundidades que escapan a la zona de mayor varianza.*

*Se sugiere flexibilidad al momento de determinar los lugares donde se instalarán las estaciones de monitoreo, dada la dificultad para establecer un único criterio para todas las estaciones de monitoreo.*

Tanto los comentarios como las opiniones recibidas durante el desarrollo del taller fueron muy positivas, recalcando el aspecto: *que la acuicultura es una industria que vino para quedarse, y por tanto, la idea es que se quede bien, entendiendo que todos estamos en el mismo barco.*

## Participantes 2° Taller de Expertos

Estuvieron presentes en la Reunión de Expertos investigadores-profesionales del área de la oceanografía y la acuicultura del país.

**Tabla 35. Listado de asistentes al 2° Taller de Expertos, con la participación de Investigadores profesionales del área de la oceanografía y la acuicultura del país.**

Nombre	Institución
Susana Giglio	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Eduardo Navarro	Instituto Milenio de Oceanografía
Ricardo Norambuena	Programa COPAS Sur-Austral.
Gustavo Rival	Casco Antiguo
Alex Brown	Ecosee/Fraunhofer
Elias Pinilla	Instituto de Fomento Pesquero
Cristian Ruiz	Instituto de Fomento Pesquero
Manuel Castillo	Universidad de Valparaíso
Jenny Maturana	Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático (DIRECTEMAR)
Ana Carriel	Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático (DIRECTEMAR)
Esteban Ruiz	Universidad Andrés Bello
Felipe Vera	Universidad Andrés Bello
José Yakasovic	Universidad Andrés Bello
Macarena Vidal	Universidad Andrés Bello
José Olate	Universidad Andrés Bello
Jhonathan Ramirez	Universidad Andrés Bello
Claudio Silva	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Marcela Cornejo	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Javier Díaz	Universidad de Magallanes
Beatriz Yannielli	Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
Klaudia Hernández	Universidad Andrés Bello CIMARQ
Joaquim Bento Pereira	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Erika Sagardía	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Yelena Randall	University of Rhode Island
Samuel Hormazábal	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

### 14.4. Personal Participante por Actividad

Nombre	Actividad / HH por mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Sub Total
Samuel Hormazabal	1 Adjudicación																0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación			4													4
	4 Taller de Expertos			8													8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPESCA					3		3									6
	6 Análisis de estado del arte			8	8	8											24
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA			8	8	8											24
	8 Definición de ubicación geográfica óptima			2	2	2											6
	9 Diseño de plataforma prototipo simple			2	2	2	2	2	2								12
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento			2	2	2	2	2	2								12
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo			2	2	2	2	2	4	4	4						18
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular			2	2	2	2	2	4	4	4						16
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo						2	2	2	8	8	8					24
	14 Taller de difusión de resultados												4				4
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1				8	8											16
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2							8	8								16
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									8	8						16
	18 Elaboración y entrega informe final											8	8				16
	19 Respuestas a observaciones Informe final												2	2	2	2	6
<b>Sub Total (HH mensual)</b>		<b>0</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>228</b>	
<b>HH por Actividad</b>																	
Marcela Cornejo	1 Adjudicación																0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación			4													4
	4 Taller de Expertos			8													8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPESCA					3		3									6
	6 Análisis de estado del arte			12	12	12											36
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA																0
	8 Definición de ubicación geográfica óptima			2	2	2											6
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento																0
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo									4	4	4					12
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular									4	8	8					20
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo																0
	14 Taller de difusión de resultados												4				4
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1				8	8											16
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2							8	8								16
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									8	8						16
	18 Elaboración y entrega informe final											8	8				16
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
<b>Sub Total (HH mensual)</b>		<b>0</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>160</b>	
<b>HH por Actividad</b>																	
Joaquim Bento	1 Adjudicación																0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación			4													4
	4 Taller de Expertos			8													8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPESCA					3		3									6
	6 Análisis de estado del arte			32	32	32											96
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA			4	4	4											12
	8 Definición de ubicación geográfica óptima			4	4	4											12
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento			4	4	4	4	4	4								24
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo						4	4	4	4	4	4					24
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular						4	4	4	4	4	4					24
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo									8	8						16
	14 Taller de difusión de resultados												4				4
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1				12	12											24
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2							12	12								24
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									12	12						24
	18 Elaboración y entrega informe final											12	12				24
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
<b>Sub Total (HH mensual)</b>		<b>0</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>326</b>	
<b>HH por Actividad</b>																	
Miguel Fernández	1 Adjudicación																0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación			4													4
	4 Taller de Expertos			8													8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPESCA																0
	6 Análisis de estado del arte			32	32	32											96
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA			4	4	4											12
	8 Definición de ubicación geográfica óptima			4	4	4											12
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento																0
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo							4	4	4	4	4	4				24
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular							8	8	8	8	8	8				48
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo										12	12	12				36
	14 Taller de difusión de resultados												4				4
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1				12	12											24
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2							12	12								24
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									12	12						24
	18 Elaboración y entrega informe final											12	12				24
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
<b>Sub Total (HH mensual)</b>		<b>0</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>340</b>	
<b>HH por Actividad</b>																	

INFORME FINAL, PROYECTO FIPA 2016-68  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO - ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Nombre		HH por Actividad													Sub Total		
Actividad / HH por mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Jorge Jimenes	1 Adjudicación	0															0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación		4														4
	4 Taller de Expertos		8														8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPECSA																0
	6 Análisis de estado del arte		16	16	16		3		3								48
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA		32	32	32												96
	8 Definición de ubicación geográfica óptima																0
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento		32	32	44	44	44	44									240
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo						8	8	8	8	8	8					48
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular					2	4	8	8	8	8						38
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo								64	64	64						192
	14 Taller de difusión de resultados											4					4
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1			12	12												24
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2						12	12									24
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									12	12						24
	18 Elaboración y entrega informe final											16	16				32
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
	<b>Sub Total (HH mensual)</b>	<b>0</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>104</b>	<b>57</b>	<b>68</b>	<b>75</b>	<b>80</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>788</b>
Nombre		HH por Actividad													Sub Total		
Actividad / HH por mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Carlos Bottner	1 Adjudicación	0															0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación		4														4
	4 Taller de Expertos		8														8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPECSA																0
	6 Análisis de estado del arte		8	8	8												24
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA		4	4	4												12
	8 Definición de ubicación geográfica óptima																0
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento		30	30	30	30	30	30									180
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo					4	4	4	4	4	4						24
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular							2	2	2	2						8
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo								24	24	24						72
	14 Taller de difusión de resultados											4					4
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1			2	2												4
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2						2	2									4
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									2	2						4
	18 Elaboración y entrega informe final																0
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
	<b>Sub Total (HH mensual)</b>	<b>0</b>	<b>54</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>348</b>
Nombre		HH por Actividad													Sub Total		
Actividad / HH por mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Luis Valencia	1 Adjudicación	0															0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación																0
	4 Taller de Expertos		8														8
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPECSA																0
	6 Análisis de estado del arte		32	32	32												96
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA																0
	8 Definición de ubicación geográfica óptima		16	16	16												48
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento																0
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo									8	8	8					24
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular									8	8	8					24
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo									8	8	8					24
	14 Taller de difusión de resultados																0
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1			8	8												16
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2						8	8									16
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									8	8						16
	18 Elaboración y entrega informe final											8	8				16
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
	<b>Sub Total (HH mensual)</b>	<b>0</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>264</b>
Nombre		HH por Actividad													Sub Total		
Actividad / HH por mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Erika Monsalve	1 Adjudicación	0															0
	2 Firma del contrato																0
	3 Reunión de coordinación																0
	4 Taller de Expertos		2														2
	5 Reunión de trabajo PUCV / SERNAPECSA																0
	6 Análisis de estado del arte		8	8	8												24
	7 Diseño de sistema de monitoreo SOOAA																0
	8 Definición de ubicación geográfica óptima																0
	9 Diseño de plataforma prototipo simple																0
	10 Diseño e implementación del sistema de transmisión, recepción y almacenamiento																0
	11 Elaboración protocolo de instalación, mantenimiento y calibración del sistema de monitoreo																0
	12 Propuesta de elementos técnicos a regular																0
	13 Instalación y prueba de plataforma prototipo												4				4
	14 Taller de difusión de resultados																0
	15 Elaboración y entrega informe de avance 1			24	32												56
	16 Elaboración y entrega informe de avance 2						24	32									56
	17 Elaboración y entrega pre-informe final									26	32						58
	18 Elaboración y entrega informe final											32	32				64
	19 Respuestas a observaciones Informe final																0
	<b>Sub Total (HH mensual)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>264</b>

### 14.5. Mapas de cobertura de señal celular en la X región.

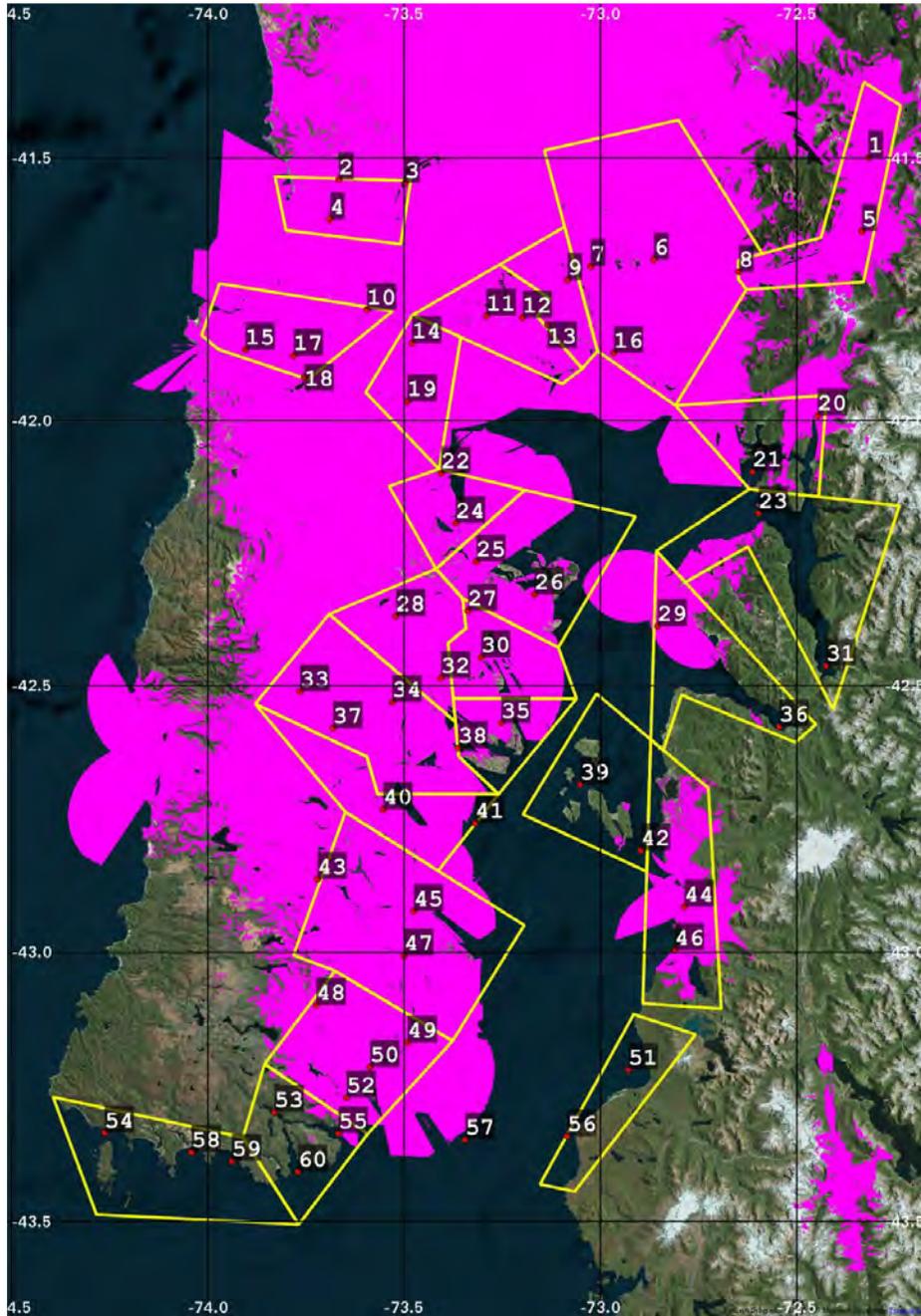


Figura 90. Mapa de disponibilidad de red 3G/4G LTE en la X región de Los Lagos. Se sobreponen las divisiones administrativas consideradas en este proyecto y las estaciones de monitoreo sugeridas.

## 14.6. Ejemplos Registros para mantenimiento, validación y calibración del sistema SOOAA

Tabla 36. Ejemplo REG-001 Hoja de vida (verificación, calibración y mantención)

<b>HOJA DE VIDA</b>						<b>031</b>	
INSTRUMENTO : CODIGO :			MARCA : CAPACIDAD :		AÑO ADQUISICIÓN		
	FECHA			ESTADO	RESPONSABLE	UBICACION	OBSERVACIONES
	VERIFICACION	MANTENCION	CALIBRACION				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
<b>INSTRUMENTO DADO DE BAJA</b>							
FECHA		AREA			MOTIVO		
COORDINADOR DE CALIDAD				JEFE DE MANTENCIONES			



**Tabla 38 Ejemplo REG-004, Plan anual de control de instrumentos**

PLAN ANUAL DE CONTROL DE INSTRUMENTOS 2011																										
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE			
	CONTR. INTERNO	CONTR. EXTERNO																								

**Tabla 39. Ejemplo REG-005, Registro control interno de instrumentos**

<b>CONTROL INTERNO DE INSTRUMENTOS</b>					
Proceso a realizar					
Instrumento:	Código de identificación	Calibración	Verificación	Mantenión	Reparación
Marca:	Modelo:				
<b>MANTENCIÓN</b>					
Fecha de mantención:	Responsable Mantención:				
Fecha próxima Mantención	Estado de la Mantención	APROBADA	REPROBADA		
OBSERVACIONES					
VºBº RESPONSABLE DE MANTENCIÓN		JEFE DE MANTENCIONES			
<b>VERIFICACIÓN</b>					
Fecha de verificación:	Responsable Verificación:				
Fecha próxima verificación	Estado de la verificación	APROBADA	REPROBADA		
OBSERVACIONES					
VºBº RESPONSABLE DE VERIFICACIÓN		JEFE DE MANTENCIONES			
<b>REPARACIÓN</b>					
Fecha de Reparación	Responsable Reparación				
Causa de la Reparación:					
Reemplazo <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <span style="margin-left: 100px;"><input type="checkbox"/> Definitivo</span> <span style="margin-left: 50px;"><input type="checkbox"/> Temporal</span>					
OBSERVACIONES					
VºBº RESPONSABLE REPARACIÓN		JEFE DE MANTENCIONES			





## **14.7. Manual de Usuario Portal Web**

Como parte del proyecto del proyecto FIPA – 2016 – 18, relativo a la Evaluación y Análisis de Requerimientos necesarios para la Implementación de una Red de Monitoreo para las Agrupaciones de Concesiones Acuicultura, se ha diseñado y construido un prototipo del Software encargado de la captura, almacenamiento y despliegue de la información entregada por las diferentes estaciones de monitoreo, ya sean boyas oceanográficas o estaciones meteorológicas.

En este documento se detalla la operación de los portales de consulta y de configuración de la información de monitoreo. Se debe destacar que el software desarrollado es un prototipo que demuestra la implementación del diseño propuesto dentro del proyecto. Como prototipo se implementan sólo las funcionalidades críticas para demostrar las capacidades de almacenamiento y consulta de grandes volúmenes de datos, de acuerdo al diseño propuesto.

Existen dos portales dentro del software desarrollado. Un portal de Configuración de la Información (Metadata) y otro diseñado para la visualización de los datos (Datos de Monitoreo). En este documento se describe el uso de ambos portales.

### **➤ Conceptos**

Desde el punto de vista del software, el sistema propuesto como red de monitoreo cuenta con dos “tipos” de información necesaria para su funcionamiento:

- **Metadata:** Corresponde a la información de configuración necesaria para poder recibir y almacenar los datos de monitoreo que envían las estaciones. Esta información incluye la definición de las estaciones meteorológica y boyas, las diferentes variables que ellas miden y sus unidades de medida.
- **Datos de Monitoreo:** Una vez que se han configurado las estaciones meteorológicas y boyas, estas pueden comenzar a enviar su información. Esta información enviada por cada estación de monitoreo corresponde a los datos de monitoreo.

El Portal de Configuración es el encargado de implementar las interfaces de usuario para la administración de la Metadata; es decir, para configurar los datos necesarios para almacenar y configurar el monitoreo.

El Portal de Visualización permite a los usuarios consultar en forma gráfica y tabular los datos de monitoreo recibidos desde las diferentes estaciones meteorológica y boyas.

#### **14.7.1. Portal de Configuración**

##### **Observación.**

*Para efectos de mostrar los puntos críticos de riesgo de la implementación del software propuesto, y dado el carácter de prototipo del software entregado, no se contempla la administración de usuarios. El portal de Configuración debería ser accedido sólo por personal interno, ya sea mediante autenticación interna (usuarios definidos en la B.D. del mismo portal) o externa, como un servidor LDAP.*

El objetivo del Portal de Configuración es ofrecer el ambiente de administración de la Metadata asociada al Monitoreo del SOOAA. En particular, el administrador del sistema usa este portal para crear, editar y eliminar las estaciones de monitoreo, configurar las variables que ellas miden y sus unidades de medida.

Toda estación de monitoreo que se integre en el sistema debe primero ser configurada en el portal de configuración por el administrador del sistema.

Al ingresar al Portal de Configuración, el administrador obtiene inmediatamente una vista de las estaciones meteorológica y boyas configuradas en el sistema, con la ubicación geográfica de cada una de ellas (Figura 86).

The screenshot shows the 'Administrador SOOAA' interface. On the left, there is a table of monitoring stations with columns for 'Codigo', 'Nombre', and 'Tipo'. The table contains three rows: 'e1' (Estación 1, estacion\_meteorologica), 'b1' (Boya 1, boya), and 'b2' (Boya 2, boya). Above the table are buttons for 'Agregar', 'Editar', and 'Eliminar'. On the right, a map displays the geographical locations of these stations in Chile, with labels for 'Puerto Montt', 'de Bariloche', 'Región de Los Lagos', 'Chile', 'Chubut', 'Puerto Aysén', and 'Coyhaique'. Below the map is a section titled 'Variables Monitoreadas' with a table of variables and their units. The table has columns for 'A', 'codigo', 'Nombre', and 'Unidad'. The variables listed are 'precip\_dia' (Precipitaciones Día, Milímetros), 'presion\_atm' (Presión Atmosférica, Hectopascuales), 'temp\_aire' (Temperatura del Aire, Grados Celcius), and 'temp\_sup' (Temperatura Superficial, Grados Celcius). The 'temp\_aire' and 'temp\_sup' rows have checkboxes that are checked.

	Codigo	Nombre	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/>	e1	Estación 1	estacion_meteorologica
<input checked="" type="checkbox"/>	b1	Boya 1	boya
<input checked="" type="checkbox"/>	b2	Boya 2	boya

A	codigo	Nombre	Unidad
<input type="checkbox"/>	precip_dia	Precipitaciones Día	Milímetros
<input type="checkbox"/>	presion_atm	Presión Atmosférica	Hectopascuales
<input checked="" type="checkbox"/>	temp_aire	Temperatura del Aire	Grados Celcius
<input checked="" type="checkbox"/>	temp_sup	Temperatura Superficial	Grados Celcius

**Figura 91. Vista inicial del portal de configuración. Se pueden observar las estaciones de monitoreo del sistema, con su respectiva ubicación.**

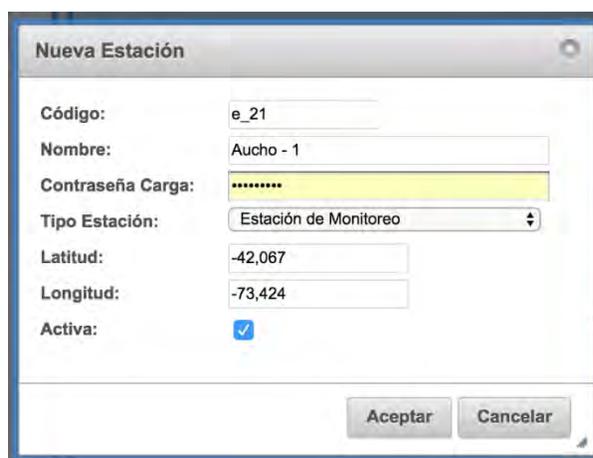
En la sección izquierda de la página se muestra la lista de las estaciones de monitoreo y a la derecha se despliegan en el mapa que muestra la ubicación de las estaciones con íconos

diferentes, dependiendo del tipo de estación (meteorológica o boya). Estos elementos se pueden seleccionar tanto en la lista de la izquierda como en el mapa. Al seleccionar uno de ellos, se muestra en la zona inferior las variables que se monitorean en el elemento seleccionado.

A continuación, se detallan los procesos de administración de estaciones meteorológicas boyas, de las variables y su forma de asociación y las unidades de medida de las variables.

#### 14.7.1.1. Administración de Estaciones y Boyas

Para agregar una nueva boya o estación meteorológica a la plataforma, se debe utilizar el botón “Agregar” sobre la lista a la izquierda de la página principal. Esta acción abre la ventana de edición de las estaciones de monitoreo (Figura 87)



The image shows a web form titled "Nueva Estación". It contains the following fields and values:

- Código: e\_21
- Nombre: Aucho - 1
- Contraseña Carga: .....
- Tipo Estación: Estación de Monitoreo
- Latitud: -42,067
- Longitud: -73,424
- Activa:

At the bottom right, there are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

**Figura 92. Ventana de edición de las estaciones de monitoreo.**

El código corresponde a un identificador único que debe crearse para cada estación de monitoreo. Una vez que se crea con el código indicado, éste no podrá ser modificado.

El código no puede contener espacios, ya que se utilizará internamente como el nombre de una colección en la base de datos de datos de monitoreo (MongoDB).

Cada vez que una boya o estación meteorológica envía datos de monitoreo, ésta debe identificarse en el servidor utilizando este nombre y la contraseña que se define para ella.

El nombre de la estación se debe completar con una descripción que será mostrada luego a los usuarios en el portal de visualización de la información.

El Tipo de Estación se debe escoger entre “Estación de Monitoreo” (meteorológica) o “Boya Oceanográfica”. Este valor indica el ícono que se mostrará en el mapa.

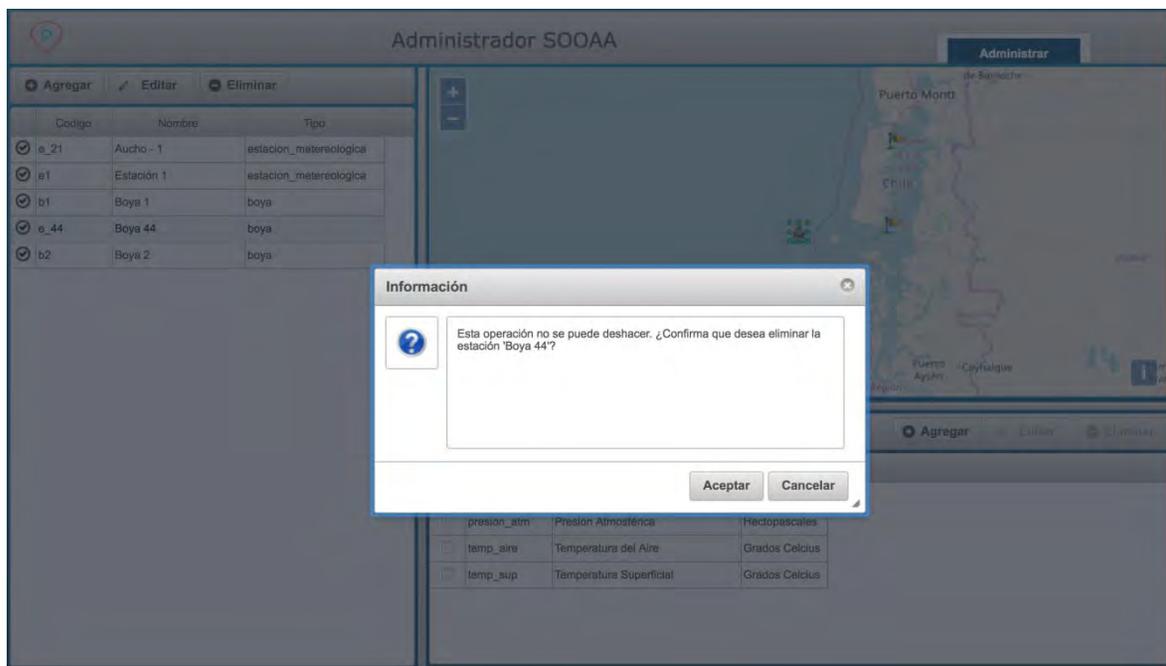
Las coordenadas de ubicación de la boya o estación meteorológica deben ser ingresadas en valores decimales (WGS84).

El campo “Activa” permite desactivar temporalmente una estación de monitoreo sin perder sus datos históricos (borrado lógico). Las boyas o estaciones meteorológicas desactivadas no son mostradas a los usuarios en el portal de visualización y no pueden recibir nuevos datos de monitoreo.

Una vez que la estación de monitoreo ha sido creada en el sistema, el administrador puede usar el botón “Editar” para modificar cualquiera de sus datos, a excepción de su código. Los datos modificados se reflejan automáticamente en el Portal de visualización.

Al editarse una boya o estación meteorológica, se abre la misma ventana de edición que la usada al momento de crearla.

Para eliminar una boya o estación meteorológica, se utiliza el botón “Eliminar”, el que abre una ventana de confirmación antes de ejecutar la operación (Figura 88).



**Figura 93. Ventana de confirmación para la eliminación de una estación de monitoreo. En esta se muestra la estación a eliminar y se advierte que es un proceso irreversible.**

Una vez que la boya o estación meteorológica es eliminada, el sistema borra todos sus datos y metadatos y no pueden ser recuperados. Esta opción debe utilizarse sólo en el caso en que se haya creado una estación de monitoreo duplicada o por error o prueba. Para los casos en que las estaciones de monitoreo dejan de estar operativas, se debe utilizar la opción desactivar (“Editar” y marcar el campo “Activo” como falso) para no perder información histórica.

### 14.7.1.2. Administración de Variables

Una variable corresponde a la categorización de un dato de monitoreo. La variable se define por un nombre y una unidad de medida. Las estaciones meteorológicas y boyas se asocian a variables, lo que significa que “miden valores” de esa variable.

En la zona inferior de la página de administración se despliega la lista de variables configuradas en el sistema (Figura 89).



A	codigo	Nombre	Unidad
<input type="checkbox"/>	precip_dia	Precipitaciones Día	Milímetros
<input type="checkbox"/>	presion_atm	Presión Atmosférica	Hectopascales
<input type="checkbox"/>	temp_aire	Temperatura del Aire	Grados Celcius
<input type="checkbox"/>	temp_sup	Temperatura Superficial	Grados Celcius

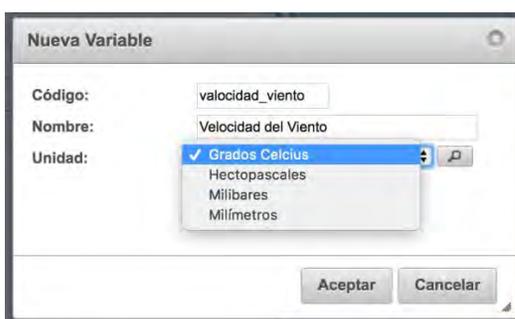
**Figura 94. Visualización de la lista de variables configuradas en el sistema con su respectiva unidad de medida.**

La primera columna permite asociar las variables a las estaciones meteorológicas o boyas.

Los botones de la zona superior de la lista permiten crear, modificar y eliminar variables.

Para la creación de una variable y su posterior integración a una estación de monitoreo existente se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Creación de la variable: El primer paso es crear la nueva variable. Para esto se usa el botón “Agregar” sobre la lista de variables de la zona inferior (Figura 89), lo que abre la ventana de edición de variables, en modo “Nueva Variable” (Figura 90), en donde se debe ingresar el código, nombre y unidad de medida de la nueva variable. En este caso, y como ejemplo, se utilizará la variable “velocidad\_viento”, la que se mide en “nudos” y será integrada a la estación “e\_21” creada en el punto anterior.



**Figura 95. Ventana de creación de nuevas variables.**

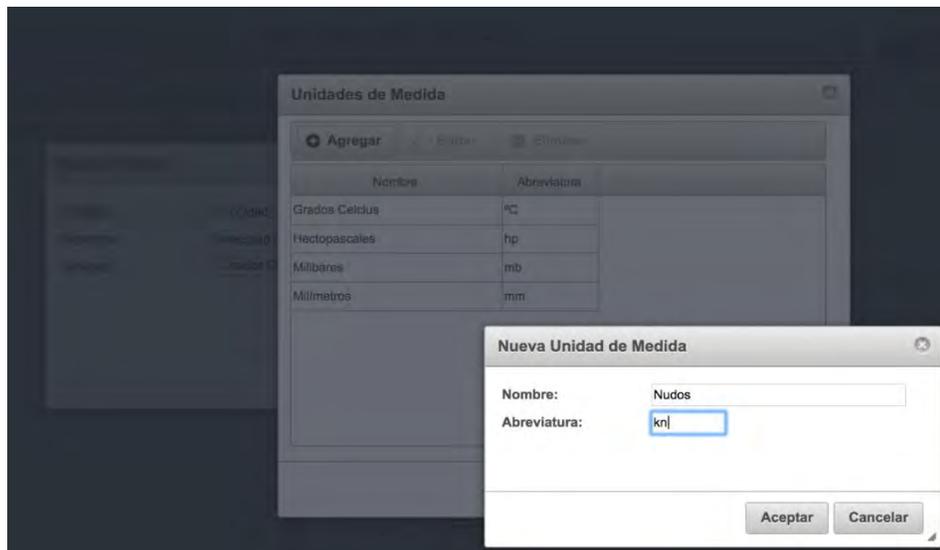
Al igual que en el caso de las estaciones de monitoreo, el código ingresado debe identificar únicamente a la variable que se crea y no podrá ser modificado. Este nombre corresponde, además, a la descripción que será mostrada a los usuarios en el Portal de Visualización de datos.

2. Creación de nueva unidad de medida: Para el ejemplo mostrado, no existe la unidad de medida “Nudos” que deseamos asociar a la nueva variable. Por lo tanto, utilizamos el botón a la derecha del campo “Unidad” (ícono de la lupa), lo que abre la ventana de administración de unidades de medida (Figura 91)



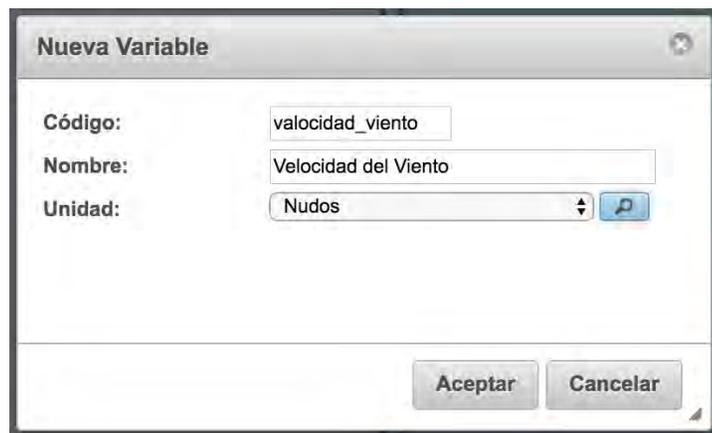
**Figura 96. Ventana de administración de unidades de medida.**

Usando el botón “Agregar” en esta ventana, se abre la ventana de creación de una nueva unidad de medida, en donde podemos ingresar el nombre y la abreviatura de la unidad de medida agregada.



**Figura 97. Ventana de creación de unidades de medida.**

Al aceptar en esta nueva ventana, se creará en la base de datos (metadata) la nueva unidad de medida que quedará de inmediato disponible en la lista de unidades para seleccionarla en la ventana de creación de la Variable (Figura 93)



The image shows a software dialog box titled "Nueva Variable". It contains three input fields: "Código:" with the text "velocidad\_viento", "Nombre:" with the text "Velocidad del Viento", and "Unidad:" with a dropdown menu showing "Nudos". At the bottom right, there are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

**Figura 98. Ventana de creación de nueva variable. En esta ocasión podemos observar que se puede crear la variable “velocidad\_viento” con la unidad de medida “nudos” recién creada.**

3. Asociar nueva variable a estación de monitoreo: Esta operación implica la utilización del panel de estaciones de monitoreo de la izquierda y el panel de variables de la zona inferior.

Se debe seleccionar desde el panel de la izquierda la boya o estación a la que deseamos asociar la nueva variable. En este caso, seleccionamos la estación “e\_21”, “Aucho – 1”. La selección se puede hacer haciendo click sobre la fila de la lista de estaciones de monitoreo, o haciendo click sobre su ícono en el mapa de la derecha. Ambas formas de selección tienen el mismo efecto.

Una vez que se ha seleccionado la nueva estación, en la zona de variables (lista inferior de la página) se muestra el estado de asociación de las variables a la estación seleccionada; es decir, qué variables están siendo medidas por la estación de monitoreo seleccionada. Esto se indica con el “check” de la primera columna de la tabla de variables (título “A” de “Asociada”).

Para indicar que la estación seleccionada (e\_21) mide la variable “Velocidad del Viento”, basta con clicar (checkear) en la primera columna de la tabla de variables, para la fila que contiene “Velocidad del Viento” (Figura 94)



Variables Monitoreadas				Agregar	Editar	Eliminar
A	codigo	Nombre	Unidad			
<input type="checkbox"/>	precip_dia	Precipitaciones Día	Milímetros			
<input type="checkbox"/>	presion_atm	Presión Atmosférica	Hectopascales			
<input type="checkbox"/>	temp_aire	Temperatura del Aire	Grados Celcius			
<input type="checkbox"/>	temp_sup	Temperatura Superficial	Grados Celcius			
<input checked="" type="checkbox"/>	valocidad_viento	Velocidad del Viento	Nudos			

**Figura 99. Ventana que muestra las variables monitoreadas por el sistema. Las variables que presentan el “check” en la primera columna, son las variables medidas por la estación de monitoreo seleccionada.**

Con la configuración recién efectuada, la estación ahora puede enviar datos para esa variable y los valores serán mostrados a los usuarios en el portal de visualización.

### **14.7.2. Portal de Visualización de Datos**

#### **Observación**

*El portal de visualización de datos debería contemplar un mecanismo de seguridad de acceso no incluido en este prototipo (a menos que se quiera dar acceso público, sin restricción). Otra opción no incluida en este prototipo es la exportación de los datos desde el mismo portal, sin embargo, se entregan contruidos los servicios de consulta de datos (REST), los que pueden ser utilizados fácilmente para la construcción de los procesos de exportación de datos de monitoreo.*

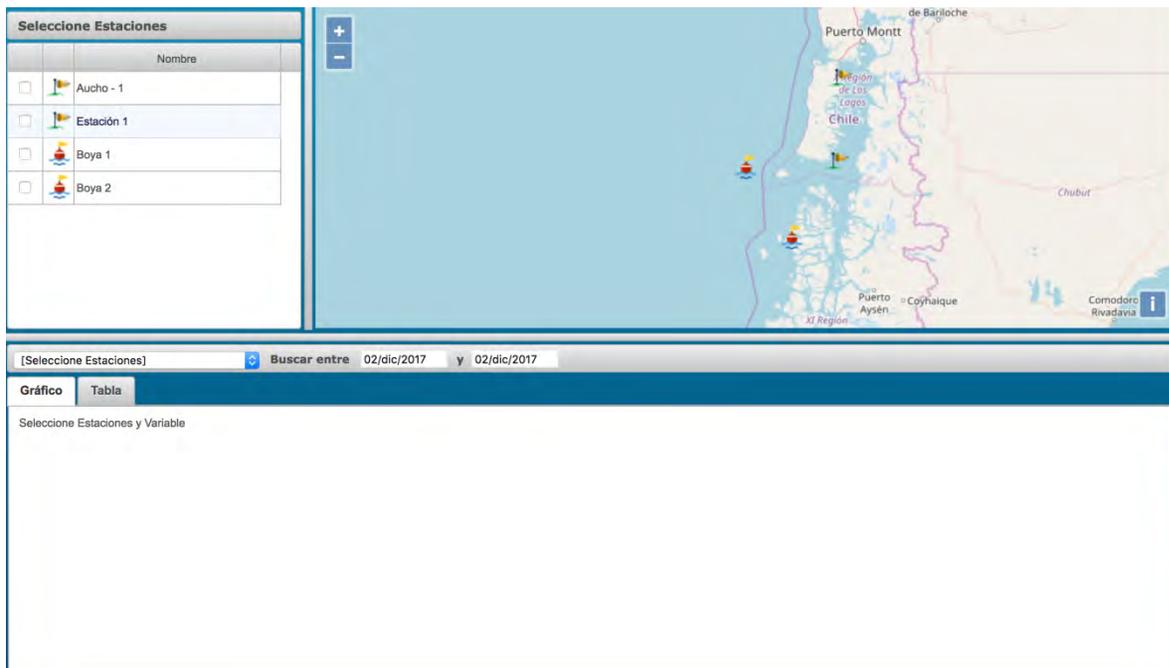
*Los datos de ejemplo mostrados en este manual son generados automáticamente para efectos de mostrar el uso del Portal y no corresponden a datos reales.*

El Objetivo del Portal de Visualización de datos es ofrecer un punto de consulta de la información de monitoreo capturada y enviada por las estaciones de monitoreo que forman parte de SOOAA.

El Portal permite consultar la información temporal de valores de las variables de las estaciones meteorológicas y boyas y compararlas entre sí (comparar la misma variable medida en varios puntos).

La página principal del Portal de Visualización se compone de tres áreas (Figura 95). La zona superior es para selección de la estación de monitoreo. A la izquierda está la lista de estos elementos y a la derecha se ubican en el mapa. Se muestran íconos diferentes para las estaciones meteorológicas y para las boyas oceanográficas.

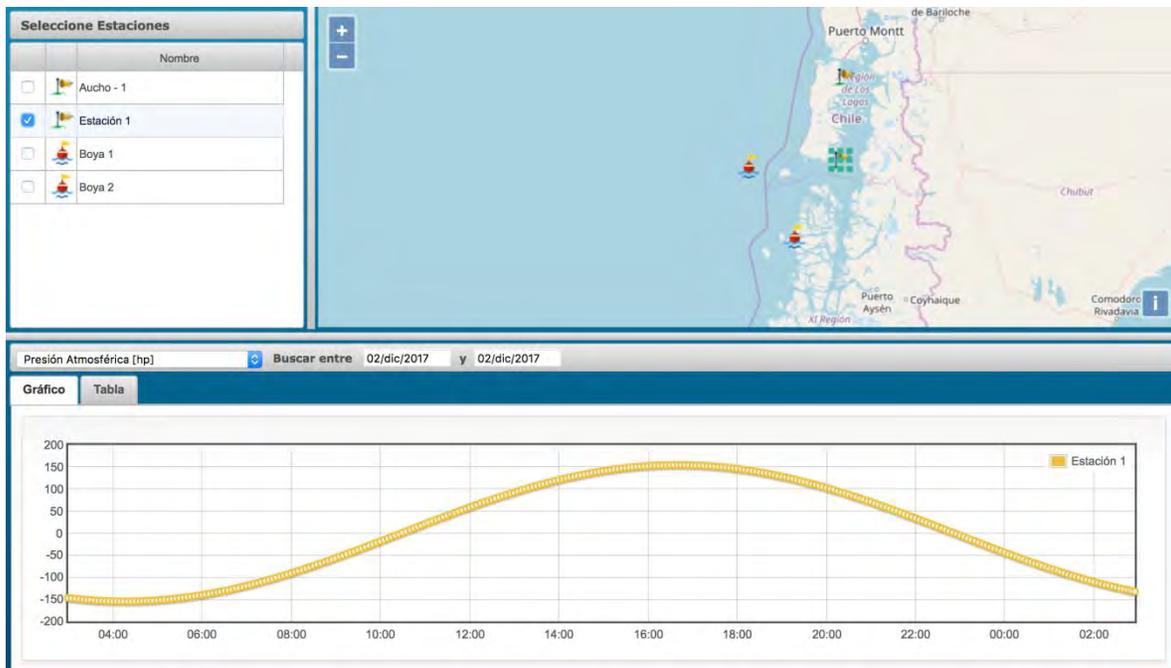
La zona inferior del Portal corresponde al área de visualización de datos. Se muestran en la zona inferior los datos de la o las estaciones meteorológicas y/o boyas seleccionados en la zona superior.



**Figura 100. Página principal del Portal de Visualización. Se observan las 3 áreas que la componen, lista de estaciones (arriba a la izquierda), mapa de estaciones (arriba a la derecha) y visualizador de datos (abajo).**

Para seleccionar una boya o estación meteorológica, se debe hacer click en la fila correspondiente o en el ícono del mapa correspondiente a la estación deseada. Ambos mecanismos son equivalentes.

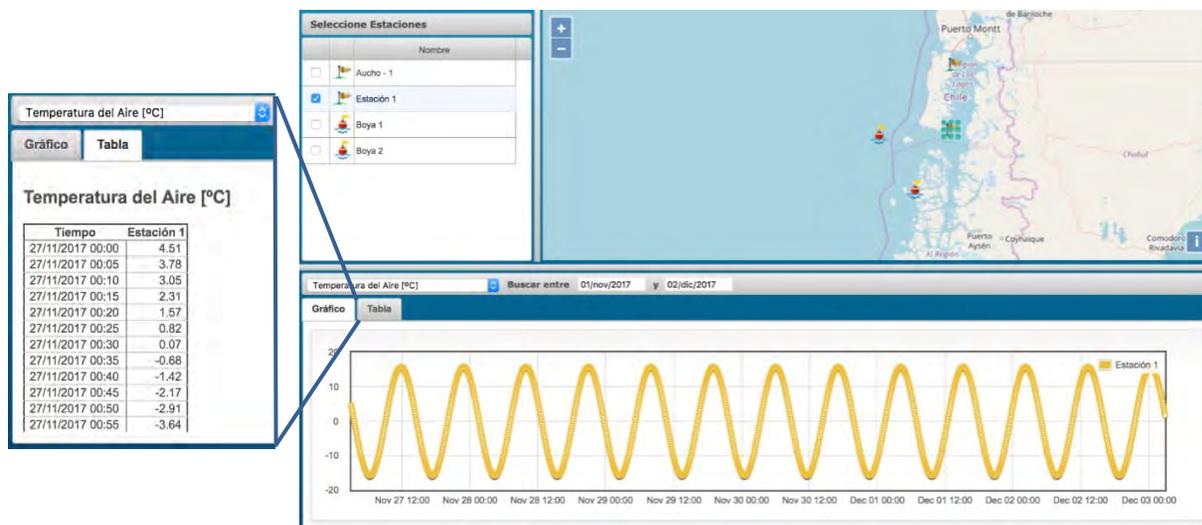
Una vez que se selecciona un elemento (boya o estación meteorológica), la zona inferior de visualización de datos muestra el valor de una de sus variables; por ejemplo, al seleccionar “Estación 1” en la lista o en el mapa, se muestra el siguiente contenido:



**Figura 101. Datos mostrados al seleccionar una estación. Inicialmente sólo se muestra la variable y período de tiempo definido por defecto.**

Sobre el gráfico existe un área de filtros, desde donde es posible cambiar el período de tiempo de visualización de los datos (inicialmente se propone el último mes) y la variable que se está visualizando.

Además de la visualización gráfica de los datos, usando la pestaña “Tabla” se puede obtener una vista tabular de los datos que se muestran para la/s estación/es y/o boya/s seleccionada/s. Ejemplo de estos últimos puntos se presentan en la Figura 97, en donde podemos visualizar la Temperatura del aire (°C) desde noviembre a diciembre de 2017.



**Figura 102. Visualización de datos de una estación de monitoreo para una variable y un periodo seleccionado por el usuario. A la derecha se puede observar la vista tabular de los datos.**

#### **14.7.2.1. Comparación de datos entre estaciones y boyas**

Para comparar el comportamiento temporal de una variable en dos o más ubicaciones (en donde existan estaciones de monitoreo que midan la misma variable), se deben seleccionar los puntos de monitoreo deseado desde la lista de estaciones de monitoreo, o bien, marcándolos en el mapa.

La lista de selección de variables muestra aquellas variables comunes a todos los puntos seleccionados; es decir, aquellas que se miden al mismo tiempo en todas las estaciones de monitoreo seleccionadas en ese momento.

Para el ejemplo, al seleccionar las Boyas 1 y 2 y la Estación 1, encontramos que entre las tres tienen en común la variable “Temperatura del Aire”. Por lo tanto, al seleccionarlas, el área de visualización mostrará los datos de las 3 estaciones de monitoreo al mismo tiempo (Figura

98), haciendo posible una comparación visual de los datos. De la misma forma, la vista tabular muestra los datos de la variable para los tres puntos seleccionados.



**Figura 103. Visualización de los datos de 3 estaciones de monitoreo de manera simultánea. Para este ejemplo, se observa la Temperatura del Aire en las boyas 1 y 2 y la estación 1. A la izquierda se observan los datos tabulados correspondientes a las tres estaciones.**

## 14.8. Alternativa presente en el mercado para sistemas integrados de monitoreo

SISTEMA MONITOREO NKE

**Casco**   
**Antiquo**  
OCEANOGRAFÍA

2018

Dirección: Calle Bernardino 1057, modulo 1, Puerto Montt - Chile  
Web: [www.cascoantiquo.com/profesional](http://www.cascoantiquo.com/profesional)  
Telf. +56 65 2270962 Cel. +56 9 97586470 / Email: [g.rival@cascoantiquo.com](mailto:g.rival@cascoantiquo.com)

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

La Boya es fabricada con la base plástica de flotación, con la base para ser sostenida mediante cabos de fondeos.

El equipo presupuestado incluye un instrumento multiparámetro con sensores de conductividad, presión, temperatura, oxígeno, turbidez, clorofila y CDOM.

La boya puede ser fondeada a una profundidad de 50 metros y posee una vida útil de 10 años como mínimo operando 24/7, siguiendo las mantenciones correspondientes.

El sistema integra lo siguiente:

- 1 Multiparametro NKE Sambat.
- 1 Modem Abin (con posibilidad de conectar otros equipos).
- 1 módem GPRS.
- 1 panel solar.
- 1 batería.
- 1 GPS.
- Cables.



La instalación y mantención no están incluidas en los valores.

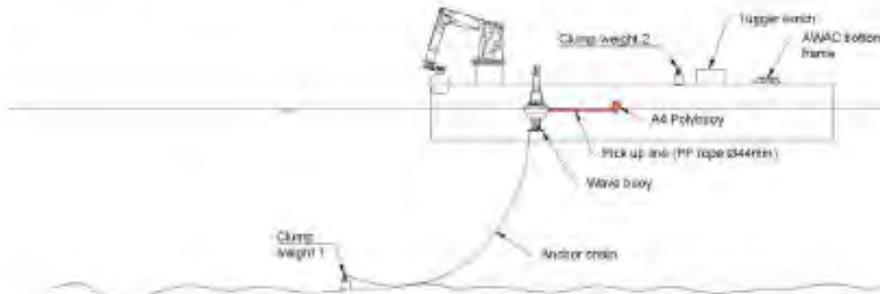
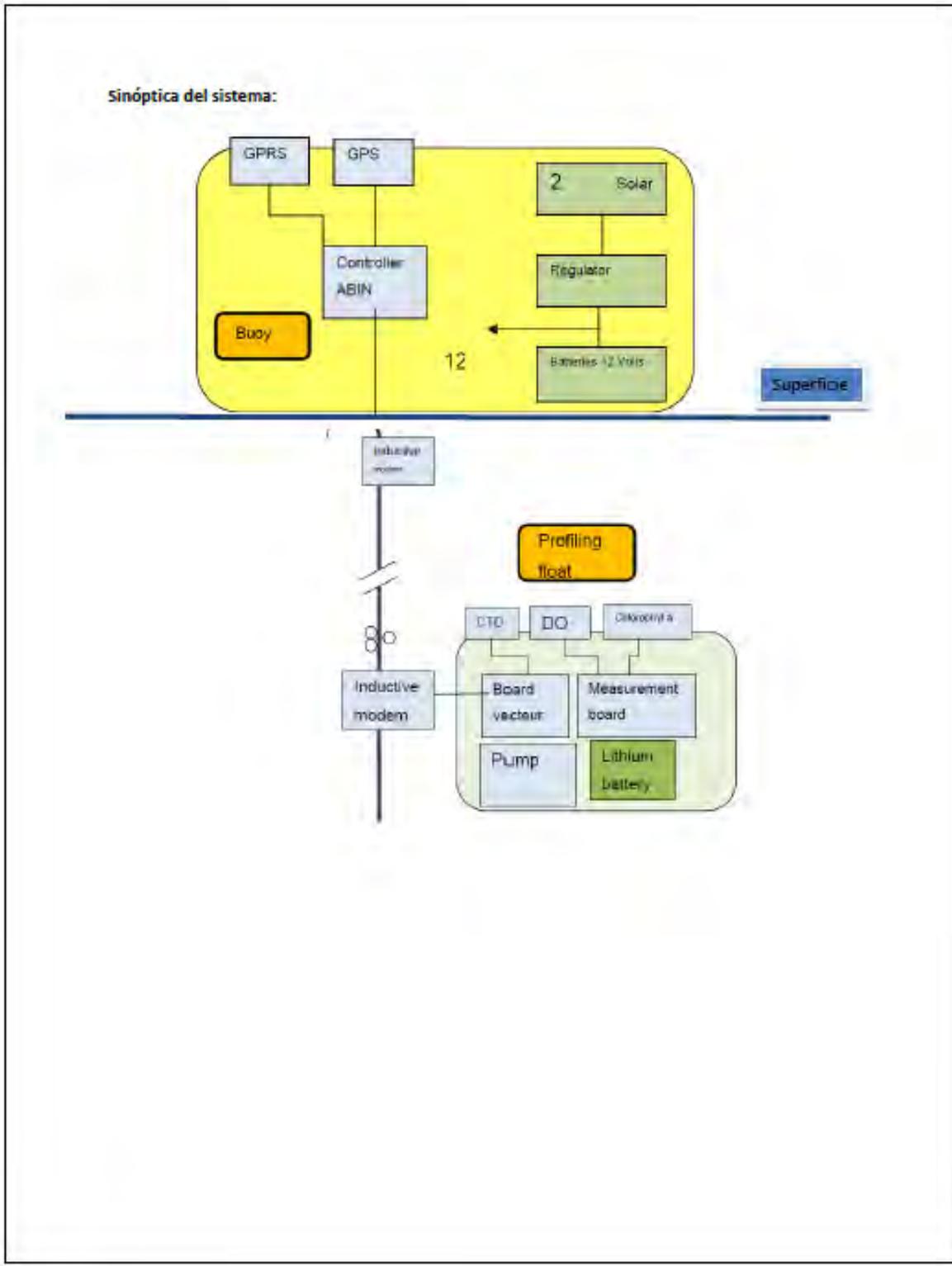


Imagen referencial de la instalación



### COMPONENTES

El sistema multiparámetro consiste en un instrumento NKE, modelo Sambat que posee capacidad de montar hasta 7 sensores. Incluye un sistema de limpieza autónomo, que evita que microorganismos se adhieran e interrumpan la recolección de datos.



El equipo presupuestado incluye dos instrumentos multiparámetros, cada uno con sensores de conductividad, presión, temperatura, oxígeno, turbidez, clorofila y pH.

#### Multi parámetro de variables oceanográficas

Physicochemical parameters		Technical features		
		Range	Accuracy	Resolution
Depth (D)	<i>In option</i>	0 - 20 m 0 - 30 m	< 0,06 m	0,006m
Temperature (T)		-5°C to +35°C	< 50m°C	1m°C to 10°C
Conductivity (C)		0 - 70 mS/cm 0 - 10 mS/cm 0 - 2 mS/cm	< 50 µS/cm < 50 µS/cm < 20 µS/cm	1,2 µS/cm 0,16 µS/cm 0,04 µS/cm
Salinity (sea version)		2 - 42 PSU	< 0,1 PSU	< 0,001
Dissolved oxygen (DO)	Concentration	0 - 20 mg/l	± 0,1 mg/l	0,01%
Optical measurement by luminescence	Saturation	0 - 200%	± 1%	0,01%
Turbidity		0-30NTU 0-300 NTU 0-3000 NTU	<5% <5% Linearity 0.99r2	<0.05NTU
Chlorophyll a		0-500µg/L	<5%	<0.008µg/L
Excitation wavelength 460nm		0-50µg/L	<5%	<0.0008µg/L
Emission wavelength 620nm-715nm		0-5µg/L	Linearity 0.99r2	<0.00008µg/L
Detection wavelength 300nm-1100nm				
pH		from 0 to 14 pH	± 0,1 pH	0.0003pH
Time	Internal clock with calendar (clock drift < 1mn/month)			
Sensors materials	SAMBAT sea water		Titanium	
Mechanical features	SAMBAT	Ø 11cm / length 42,5 cm / weight 3,6 kg		
Communication	Modbus			

Estación de meteorología WXT520 Vaisala

Wind	
<b>Speed</b>	
Measurement range	0 ... 80 m/s
Accuracy	±3% at 10 m/s
<b>Direction</b>	
Measurement range	0 ... 360°
Accuracy	±3°
Response time	250 ms
<b>Liquid precipitation</b>	
Rainfall	cumulative accumulation after latest automatic or manual reset
output resolution	0.01 mm, 0.001 inches
accuracy	5%*
Rainfall duration	counting each ten-second increment when droplet detected
output resolution	10 s
Rain intensity	one-minute running average in ten-second steps
range	0 ... 200 mm/h (broader range with reduced accuracy)
output resolution	0.1 mm/h, 0.01 inches/h
<b>Barometric pressure</b>	
Measurement range	600 ... 1100 hPa
Accuracy	±0.5 hPa at 0 ... 30 °C (+32 ... +86 °F) ±1 hPa at -52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F)
<b>Air temperature</b>	
Measurement range	-52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F)
Accuracy at +20 °C (+68 °F)	±0.3 °C (±0.5 °F)
<b>Relative humidity</b>	
Measurement range	0 ... 100 %RH
Accuracy	±3 %RH within 0 ... 90 %RH ±5 %RH within 90 ... 100 %RH



### Sensor de irradiancia CMP 11.

Spectral range (50% points)	285 to 2800 nm
Sensitivity	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Response time	< 5 s
Zero offset A	< 7 $\text{W}/\text{m}^2$
Zero offset B	< 2 $\text{W}/\text{m}^2$
Directional response (up to 80° with 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ beam)	< 10 $\text{W}/\text{m}^2$
Temperature dependence of sensitivity (-10 °C to +40 °C)	< 1 %
Operational temperature range	-40 °C to +80 °C
Maximum solar irradiance	4000 $\text{W}/\text{m}^2$
Field of view	180 °

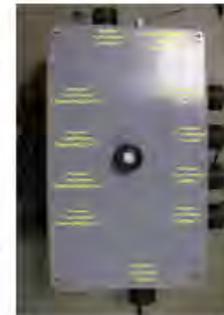


### Controladores

El sistema de tratamiento utilizado (para las funciones del PLC) es arquitectónico y el tipo de propietario alrededor de un microprocesador de 16 bits.

Esta solución ofrece la ventaja de obtener un sistema con:

- Bajo consumo (0.5W)
- Equipado con TCP/IP para proporcionar protocolos de comunicación universales.



### Recolección de datos:

Esta se realiza hacia una tarjeta SD. La creación y manejo de archivos (FAT), provee la posibilidad de descargar y leer automáticamente los archivos con el computador sin proceso. La transferencia de datos puede ser vía cable.

### Comandos de operación:

La disponibilidad de transferencia de comandos y funciones son idénticas para todos los sistemas. Estos son protegidos por medio de ID y claves. Existen diversos niveles (Operador, mantención, etc) desde una estación en tierra.

#### Comunicación:

La PLC está equipado con radio Link. Esto permite ser conectado con el instrumento sin estar en la boya. La transmisión de los archivos de la instrumentación a bordo se realiza con comunicación por satélite Iridium o GSM.

#### Transmisión de datos

Esta puede realizarse por medio de satélite o GSM, para finalmente enlazar todo hasta una estación base o laptop.

#### Sistema base para instalación en plataforma salmonera:

- 4 sondas multiparamétricas
- 1 estación meteorológica
- 1 sensor de irradiación
- 1 conexión disponible para un ADCP (no incluido)
- 1 controlador ABIN
- 1 módem GPRS
- Cables
- Soportes

#### Sistema de transmisión de datos

La transmisión de datos se realiza por 2 posibilidades a la orilla.

El sistema principal es un módem satelital.

Finalmente, se puede usar un enlace entre el controlador y una computadora portátil para recopilar los archivos de datos.

#### Transmisión principal

La transmisión principal es un módem GPRS.

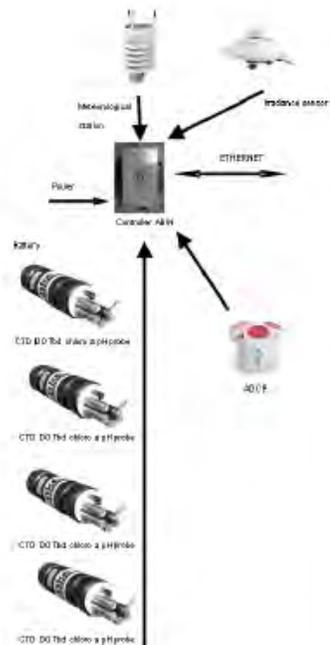
Instalamos el módem GPRS conectado al PLC para transferir los datos a la tierra.

Los datos se encuentran en un archivo ASCII y se transfieren por correo electrónico.

#### Energía

La red eléctrica de la granja proporciona energía eléctrica.

Un gabinete que recibe el controlador también está equipado con un transformador para proporcionar la corriente continua necesaria



Valores:

ITEM	CÁNTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Sambat	4	US\$ 10.946,65	US\$ 43.786,60
Sensor CTD	4	US\$ 3.021,00	US\$ 12.084,00
Sensor de Turbidez	4	US\$ 3.617,60	US\$ 14.470,40
Sensor de Oxígeno	4	US\$ 3.059,09	US\$ 12.236,36
Sensor de Clorofila	4	US\$ 5.335,20	US\$ 21.340,80
Sensor de pH	4	US\$ 888,53	US\$ 3.554,12
Cableado submarino	4	US\$ 1.364,53	US\$ 5.458,12
Estación Meteorológica	1	US\$ 3.365,00	US\$ 3.365,00
Sensor irradiancia	1	US\$ 2.602,13	US\$ 2.602,13
Controladores	1	US\$ 5.712,00	US\$ 5.712,00
Cabina electrónica	1	US\$ 4.601,33	US\$ 4.601,33
Soportes y accesorios	8	US\$ 350,00	US\$ 2.800,00
Asistencia ingenieros NKE	1	US\$ 31.768,00	US\$ 31.768,00
Entrenamiento y puesta en marcha	1	US\$ 11.044,00	US\$ 11.044,00
		<b>TOTAL</b>	<b>US\$ 174.823</b>

#### **14.9. Taller de difusión de resultados**

De acuerdo a lo comprometido con la Subsecretaría de Pesca, se llevó a cabo el taller de difusión de resultados del Proyecto FIPA 2016-68, en dependencias del Hotel Gran Pacífico en la ciudad de Puerto Montt. El taller fue efectuado entre las 9:00 y 13:00 hrs. del jueves 27 de septiembre del 2018 y contó con la participación de 26 personas, entre ellas representantes de instituciones pública, privadas y empresas del área acuícola (Tabla 42).

El taller se dividió en cuatro sesiones, siguiendo la estructura del proyecto. Comenzó el Sr. Samuel Hormazábal, PhD. en Oceanografía, con una introducción al proyecto, indicando los motivos que justifican el monitoreo oceanográfico en nuestro país, destacando la gran importancia que tiene entender los mecanismos asociados a la variabilidad y al cambio climático, cuyas fluctuaciones afectan significativamente a los ecosistemas marinos y con ello al sector pesquero y acuícola. En tal sentido destacó la gran relevancia que adquiere el contar con un sistema de monitoreo en línea para la toma de decisiones, especialmente en un país como el nuestro, cuya economía depende fuertemente de la explotación de los recursos naturales.

La segunda presentación estuvo a cargo de la Srta Erika Sagardía, Oceanógrafo, quien habló sobre el estado del arte del monitoreo ambiental oceanográfico y meteorológico a nivel nacional e internacional, incluyendo los diferentes sistemas existentes y las variables monitoreadas en cada uno, las que fueron tomadas como base de las variables mínimas, oceanográficas y meteorológicas, a monitorear en un sistema de monitoreo óptimo. Éstas variables, llamadas variables esenciales, fueron presentadas y aprobadas durante la

realización de los talleres de expertos llevados a cabo al comienzo del desarrollo del proyecto. Junto a esto se presentaron las directrices establecidas para la elección del instrumental a utilizar en SOOAA, destacando la existencia de requisitos de calidad, exactitud y la obligatoriedad de cumplir con protocolos de instalación, validación, calibración y mantenimiento de los diferentes componentes del sistema de monitoreo oceanográfico ambiental. Por otro lado, se explicaron los escenarios administrativos propuestos durante el proyecto, el primero, otorgando la responsabilidad del monitoreo a los concesionarios de acuicultura y el segundo, considerando una institución u organismo público o privado que se encargue de todo el monitoreo, financiado por las agrupaciones y con aporte del estado, incluyendo sus respectivos pros y contras.

La tercera presentación estuvo a cargo del Sr. Luis Valencia, Oceanógrafo, quien conversó sobre los mecanismos para definir la ubicación geográfica más adecuada para la instalación de una red de monitoreo en línea, los que fueron realizados bajo una perspectiva científica (basado en análisis estadísticos de la variabilidad ambiental), y logística (considerando la factibilidad de su acceso, legal, mantención y conectividad).

Explicó la metodología empleada para determinar los lugares y profundidades óptimas para el monitoreo, también habló de la accidentada geografía de la región, los aportes de agua fluviales, el ingreso de agua de origen oceánico en las capas más profundas y la escases de datos para el análisis. Destacó que el trabajo realizado, sobre análisis estadísticos, basados en una descomposición de la variabilidad en modos linealmente independientes, revelaron una heterogeneidad del sistema, lo que permitió mostrar la variabilidad de las componentes

oceanográfica analizadas, y así considerar los mejores lugares de monitoreo. Señaló que esta poderosa herramienta de análisis junto con la guía desarrollada, facilitará la incorporación de la nueva información recopilada y con ello la realización de nuevos análisis, logrando que el método propuesto sea dinámico y evolutivo contribuyendo para que en un futuro cercano se pueda optimizar la selección de los lugares donde realizar el monitoreo. Finalmente exhibió un mapa de la región, en el que combinando los resultados obtenidos con las herramientas estadísticas y la hidrodinámica del sector, se podía identificar 60 puntos de observación que contribuirían al monitoreo de la región, señalando además las profundidades óptimas de medición de 5, 10, 25 metros y fondo.

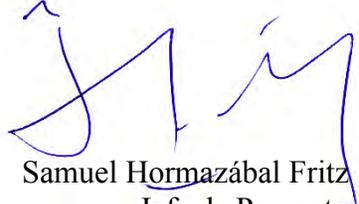
La cuarta presentación estuvo a cargo del Sr. Miguel Fernández Díaz, Meteorólogo, quien comenzó agradeciendo el extraordinario apoyo recibido por parte de la empresa Multiexport Foods, la que facilitó el espacio y personal para la instalación y retiro del prototipo, en dependencias que la empresa posee en la localidad de Llaguepe. Dicho lo anterior, explicó que, durante la ejecución del proyecto, se decidió optar por un desarrollo experimental, considerando las características técnicas que debe tener un sistema de observación del océano que asegure un óptimo funcionamiento y de paso demostrar que en Chile existe la tecnología para lograrlo.

Explicó, además, que el prototipo oceanográfico utilizado, constaba de un domo y sensores oceanográficos ubicados en dos niveles: a 5 m (sensor de conductividad) y a 10 m (sensores de temperatura, conductividad y presión), el que fue probado en conjunto a una estación meteorológica instalada en cercanías del prototipo. Como resultado de la prueba del

prototipo, realizada durante 2 meses, se reforzaron los temas de aseguramiento eléctrico, se otorgó mayor importancia al acceso de las boyas, se sugirieron mejoras en el alcance de la WiFi, incrementar la capacidad de almacenamiento interno, y permitió evaluar aspectos como el efecto de la presión del agua sobre los sensores y el biofouling sobre los instrumentos. Un aspecto a destacar fue la evaluación de nuevas alternativas de comunicación M2M como el uso de tecnología LoRa que promete bajo costo y mejores resultados que el uso GPRS.

Finalmente los resultados del taller fueron bastante positivos, lo anterior considerando la gran cantidad de preguntas y sugerencias realizadas a los panelistas. La mayoría de los participantes se mostró de acuerdo con el monitoreo, sin embargo manifestaron dudas de cómo llevarlo a cabo. También llamó la atención entre los participantes el sistema de comunicaciones LoRa implementado para el prototipo y por sobre todo el método utilizado para la elección de los lugares de monitoreo y su profundidad. Importante destacar que, entre los comentarios positivos, de parte de los asistentes al taller, resalta el valor que dieron a la iniciativa de la Subsecretaría, de solicitar un estudio previo con base científica, para proponer los requerimientos necesarios en la implementación de una red de monitoreo de las agrupaciones de concesiones de acuicultura

Valparaíso, 28 de septiembre del 2018



Samuel Hormazábal Fritz  
Jefe de Proyecto

**Tabla 42. Lista de asistencia al Taller de Difusión de Resultados FIPA 2016-68.**

Hoja 1

**Asistentes Taller de Resultados**  
 Proyecto FIPA 2016-68 "SOOAA"

Nombre	Organización	Correo
IGNACIO REITHBEIN	AQUACULTILE	IGNACIO.REITHBEIN@AQUACULTILE.COM
Horberto Ceballos	Salmones Aysén	hceballo@salmonesaysen.cl
CLAUDIO PAZ T	AQUACULTILE	CLAUDIO.PAZ@AQUACULTILE.COM
CHRIS PIMBLA M	IFOP	Chris.Pimbla@ifop.cl
DAVID ZAVIEZO A.	SALMONES BLUMAR	DAVID.ZAVIEZO@BLUMAR.CO
Patricia Mejías Wagner	IFOP	patricia.mejias@ifop.cl
Solange Pontoppe	Acuasesorias Hobo	spm@acuasesorias.cl solpontoppe.m@aguacul
Patricio Bernal	CSIPO - CHILE	Patricio.Bernal@csiipo.cl
Geysi Urretia	Multiexport Foods	geysur@multiexportfoods.com
Gaston Videla S.	IFOP	gaston.videla@ifop.cl
Pablo Rojas	IFOP	pablo.rojas@ifop.cl
Carolina Schreck	Termino Itaruast	carolin@terminoitaruast.cl @terminoitaruast.com
Pamela Usatic	Marine Harvest	pamela.usatic@marineharvest.com
Carolina Oyarce	IFOP	carolina.oyarce@ifop.cl

Página 1

**Tabla 42. Continuación**

Hoja1

**Asistentes Taller de Resultados**  
 Proyecto FIPA 2016-68 "SOOAA"

Nombre	Organización	Correo
Mauricio L'Huissier	Australin Mar	M.LHuissier@puntaleso.
Cristina Pérez	Pelicanos Ltda	cristina@32puntos.com
Alejandra Pino	Subpesca (BZP)	apined@subpesca.cl
Susana Cicero	SUBPESCA	scicero@subpesca.cl
Ximena Rojas	Intesal	Xrojan@intesal.cl
Eduardo Hernández	Innovex SPA	ehernandez@innovex.cl
Caroline Aquino	IFOP	Caroline.aquino@ifop.cl
Nicolás Becerra Espinoza	IFOP	Nicolas.Becerra@ifop.cl
David Opato	IFOP	david.opato@ifop.cl
Claudia Pérez Saiz	IFOP	claudia.perez@ifop.cl
Jose Luis Blanco	ZAMALAB	jose.blanco.carcia@zamalab.cl
Marciana Herrera A.	IFOP	marciana.herrera@ifop.cl

**14.10. Registro fotográfico del taller de resultados finales.**





