

GUÍA DE TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS EN MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO LLANQUIHUE EN PLATAFORMA “LAGO EN LÍNEA”.

Elaborado por:

Ing. Consuelo Fernández V.

MV. Catherine Opitz R.

Ing. Pedro Riquelme R.

Geogr. Gino Sandoval V.

Septiembre 2022.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES GENERALES	2
2.1. Lago Llanquihue	2
2.1.1. Hidrografía	2
2.1.2. Geografía	2
2.1.3. Clima	2
2.1.4. Localidades	3
2.1.5. Amenazas	3
2.2. Proyecto FIC Más Azul	3
2.2.1. Objetivos	4
2.2.2. Lago en Línea	4
3. ESTACIÓN DE MONITOREO	6
3.1. Descripción de tecnología	6
3.2. Requerimientos	7
3.2.1. Permisos para la instalación de estación de monitoreo.	7
3.3. Manual de implementación/uso	10
3.4. Indicadores	13
4. TELEDETECCIÓN	15
4.1. Descripción de tecnología	15
4.2. Requerimientos	16
4.3. Manual de uso	18
4.4. Indicadores	23
4.5. Recomendaciones	26
5. METAGENÓMICA	27
5.1. Descripción de tecnología	27
5.2. Requerimientos	27
5.3. Manual de uso	31
5.4. Indicadores	33
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
7. ANEXOS	38
7.1. Glosario	38

1. INTRODUCCIÓN

En la región de Los Lagos cerca del 70% del suelo corresponde a cuencas hidrográficas, en las cuales los ríos, lagos y aguas subterráneas han sostenido actividades económicas productivas regionales como la agricultura, ganadería, silvicultura, acuicultura y el impacto más recientemente, el turismo, el crecimiento y desarrollo de las zonas urbanas y rurales a partir del aseguramiento de fuentes de agua para potabilización y consumo humano de más de 820 mil personas.

Bajo este marco y debido a las circunstancias generadas por el Cambio Climático y las actividades que se ven involucradas en las intervenciones dentro de las diferentes cuencas hidrográficas, se entrega este trabajo que considera la gran preocupación por los cambios climáticos que se ha avistado dentro del Lago Llanquihue.

Dentro de este documento se explican las tres tecnologías que fueron aplicadas dentro del ciclo del proyecto denominado "Evaluación de tecnologías de la información y herramientas biotecnológicas para el monitoreo ambiental del Lago Llanquihue" ejecutado por la Universidad San Sebastián y financiado por el Gobierno Regional de Los Lagos.

Esta guía tiene el propósito de entregar información sobre las herramientas y tecnologías utilizadas al público en general, considerando la toma de decisiones, requerimientos y procesos necesarios para su implementación y aplicación, que permitan a personas naturales, organizaciones y/o instituciones realizar estudios y análisis en otras cuencas lacustres.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Lago Llanquihue

El lago Llanquihue se encuentra en la región de Los Lagos, Chile, entre las provincias de Llanquihue y Osorno, posee una extensión de 870 km^2 con una profundidad en promedio de 182 metros y una máxima de 317 metros, además de una altura de 51 metros sobre el nivel del mar.

2.1.1. Hidrografía

El lago Llanquihue, de origen glaciar y afectado por diversos eventos volcánicos, es el segundo lago más grande de Chile, después del lago General Carrera. No posee ríos afluentes o tributarios de gran caudal y su régimen de alimentación es casi exclusivamente pluvial.

Entre los ríos más importantes podemos mencionar el río Pescado, el cual se origina en los faldeos del volcán Calbuco; y el río Tepu, originado en napas subterráneas (freático). Otro río relacionado al lago es el Maullín. Este se origina en el sector occidental del lago Llanquihue y recorre una distancia de 85 km hasta desembocar en el Océano Pacífico.

2.1.2. Geografía

La cuenca del lago Llanquihue, ubicada a los pies de la Cordillera de Los Andes, ha sido afectada por la erosión glaciar, lo que le generó una apariencia principalmente baja y ondulada. Pese a dicho efecto los volcanes Osorno y Calbuco, son los principales volcanes que se destacan dentro del paisaje. El primero tiene una altura de 2.652 m, con una formación piramidal; y el segundo tiene forma irregular producto de sus violentas erupciones (la última el año 2015), y alcanza una altura de 2.003 m.

2.1.3. Clima

La cuenca del Llanquihue se caracteriza por presentar altas precipitaciones durante casi todo el año, las que disminuyen durante el verano, características propias de un clima templado lluvioso con influencia mediterránea. Este tipo de clima ha permitido que en la cuenca se desarrollen especies vegetales valiosas destacándose por su alto nivel de endemismo (flora y fauna exclusivos del territorio).

Este tipo de vegetación recibía el nombre del paisaje del Sur de Chile, pero la intervención del hombre ha sido a gran escala, causando deforestaciones para la implementación de la

agricultura, ganadería, obtención de madera y urbanización. Los incendios forestales también han contribuido de manera importante a la reducción de los bosques.

2.1.4. Localidades

Administrativamente, la cuenca del lago Llanquihue se divide entre 4 comunas: Puerto Octay, Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas, que a su vez representan las ciudades más importantes de sus costas. Otras localidades relevantes son Las Cascadas y Ensenada, además de una serie de sectores rurales.

2.1.5. Amenazas

Actualmente, y debido a que sus afluentes son de pequeña magnitud, el principal riesgo para la calidad de las aguas es el potencial impacto de las actividades generadas en el lago o sus alrededores, como lo son los agroquímicos, las pisciculturas y el vertimiento de residuos.

2.2. Proyecto FIC Más Azul

Debido a la creciente preocupación por la condición ambiental del lago Llanquihue, el cual se ve afectado por fenómenos globales como el Cambio Climático y las actividades productivas que se realizan en su entorno, la Sede De La Patagonia de la Universidad San Sebastián, ha impulsado el Programa Territorial Hito "Más Azul", cuyo principal desafío es convertir al Lago Llanquihue en un modelo de gestión de cuerpos lacustres de clase mundial; en materia de conservación, ciencia aplicada, tecnología y educación ambiental, en equilibrio con el desarrollo sostenible del territorio y las comunidades.

El Proyecto FIC Más Azul forma parte de este programa y nace en respuesta a la falta de monitoreo ambiental, por ende, información de la mayoría de los ecosistemas acuáticos de nuestro país. Este contexto limita la capacidad de conocer, reconocer y reaccionar ante cambios e impactos que estos ecosistemas puedan sufrir, así como la posibilidad de identificar las oportunidades que nos ofrecen para el desarrollo sostenible.

Para acortar estas brechas el proyecto, denominado "Evaluación de tecnologías de la información y herramientas biotecnológicas para el monitoreo ambiental del Lago Llanquihue", ejecutado por la Universidad San Sebastián y financiado por el Gobierno Regional de Los Lagos es un esfuerzo interdisciplinario, único en Chile, que busca realizar un aporte en concreto a la gestión del residuo hídrico a partir de la validación de tecnologías, productos y servicios de última generación que permitan el monitoreo efectivo y eficiente de la calidad de agua en los cuerpos lacustres de la Región.

El proyecto instala equipamiento y aplica herramientas biotecnológicas y de teledetección, con la finalidad de evaluar su factibilidad de uso e integración en una plataforma de monitoreo de calidad de agua, que responda a las crecientes demandas de información actualizada, confiable, de fácil accesibilidad y orientada a distintos tipos de usuarios, tanto del ámbito privado como público.

2.2.1. Objetivos

Objetivo General:

Generar un sistema de información que permita monitorear la calidad del agua de cuerpos lacustres de la Región de Los Lagos, con la finalidad de contribuir a su conservación y uso con fines productivos.

Objetivos Específicos:

1. Desarrollar una plataforma digital integrada que almacene y despliegue información ambiental de los cuerpos lacustres de la Región de Los Lagos, facilitando la toma de decisiones para la inversión privada, el monitoreo ciudadano, la generación de conocimiento y la elaboración de políticas públicas.
2. Instalar y evaluar una unidad comercial de monitoreo remoto de calidad de agua (físicoquímico), para determinar técnica y económicamente su factibilidad de implementación en los cuerpos lacustres de la Región de Los Lagos
3. Evaluar la aplicación de la metagenómica para el monitoreo de la diversidad microbiana e identificación de microorganismos que potencialmente afecten la salud humana y animal, en los cuerpos lacustres de la Región de Los Lagos.
4. Evaluar la utilización de la teledetección como técnica para el monitoreo de calidad de agua de cuerpos lacustres.
5. Transferir y promover el uso y acceso al sistema de información de cuerpos lacustres a los diversos actores públicos y privados de la Región de Los Lagos.

2.2.2. Lago en Línea

“Lago en línea” es una plataforma digital integrada que nace con el objetivo de entregar información a disposición del público sobre el monitoreo ambiental, contribuyendo de esta manera a la conservación y uso sostenible del Lago Llanquihue.

En esta plataforma se podrá acceder a los resultados de las tres tecnologías empleadas (estación de monitoreo, metagenómica y teledetección) con el fin de difundir y transferir los resultados del proyecto, sensibilizando a actores públicos, privados y a la ciudadanía, sobre los beneficios y oportunidades de estas herramientas.

Los datos e insumos desplegados en la plataforma entregan información relevante para aportar en la toma de decisiones sociales, ambientales y económicas en torno al lago.



Ilustración 1: Pagina web www.lagoenlinea.cl

3. ESTACIÓN DE MONITOREO

3.1. Descripción de tecnología

El proceso de recolección manual de muestras puede resultar ineficiente si se trata de registrar de manera recurrente. Gracias al desarrollo de las tecnologías de transmisión inalámbricas, el proceso de detección de parámetros de calidad de agua se puede realizar de forma remota y de manera continua en el tiempo.

La estación de monitoreo remoto implementada en el proyecto FIC Más Azul, es una boya equipada con distintos sensores de medición, acoplados a un sistema de almacenamiento y transmisión de datos que miden variables físicas y químicas del ambiente. Esta herramienta permite el registro y visualización en tiempo real, desde un dispositivo con acceso a Internet, de parámetros fundamentales para el monitoreo de la calidad del agua: temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, saturación y turbidez.

Esto es posible gracias al desarrollo de tecnologías WSN (acrónimo de Wireless Personal Area Network). El sistema requiere de una alimentación de energía, la cual se realiza por medio de placas solares instaladas en la torre de control. Una parte de la energía acumulada en las baterías se destina al funcionamiento de los sensores y a la transmisión, cuyos nodos emiten información hacia un receptor. Posteriormente, vía GPRS la información se transmite hacia una plataforma remota que permite visualizar los valores obtenidos para cada parámetro.

Otras opciones de transmisión consideradas fueron: la radio frecuencia, muy útil para alcances lineales de entre 5 a 10 km pero que podría presentar interferencias; y la señal satelital, cuyo costo económico es más elevado.

La información que entrega esta tecnología tiene altos niveles de precisión y está disponible sin importar las condiciones climáticas; sin embargo, es importante tener en consideración que esta información corresponde solo a un solo punto en el lago, por lo que sus resultados no deben utilizarse para sacar conclusiones sobre la calidad del volumen del cuerpo de agua.

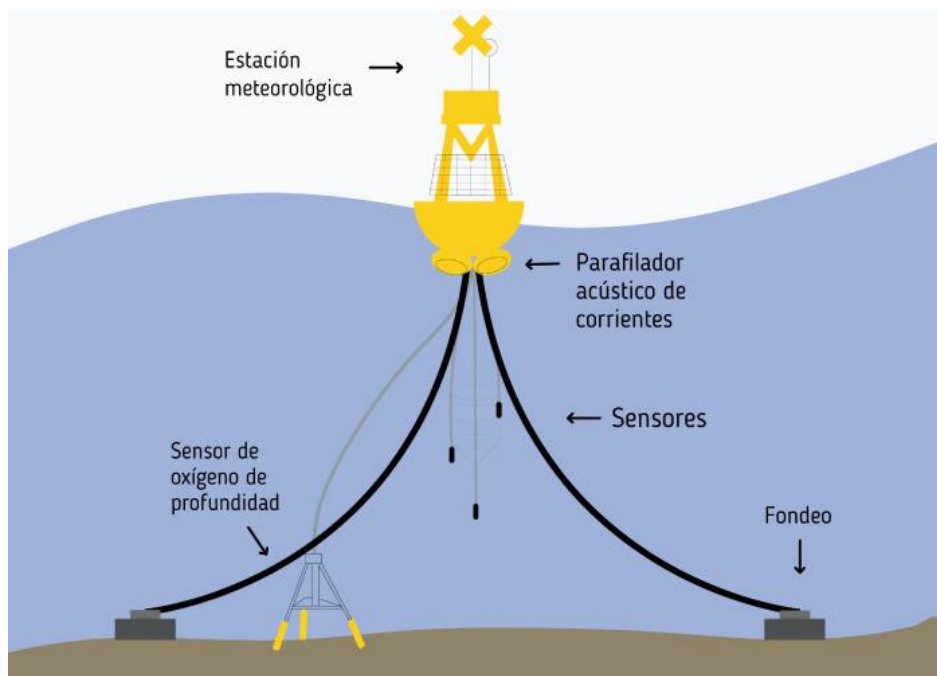


Ilustración 2: Elementos de la boya instalada en el Lago Llanquihue.

3.2. Requerimientos

3.2.1. Permisos para la instalación de estación de monitoreo.

Dependiendo del tipo de estación de monitoreo (para más detalles revisar sección 3.3 de "Manual de implementación/uso"), se deberán considerar los permisos necesarios para la instalación de esta. En el caso de la estación de monitoreo implementada en el Lago Llanquihue, que consideraba una boya en un punto del lago, fue necesaria la tramitación de tres permisos que se detallan a continuación.

Cabe recalcar que es importante la verificación periódica de que estos se encuentren vigentes mientras se ejecuta el proyecto.

Solicitud de autorización para realizar investigación científica y/o tecnológica Marina por entidades nacionales. DS N.º 711 del 22 de agosto de 1975.

Este es un documento de autorización sin costo que otorga el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), y que habilita para realizar estudios oceanográficos de un área gráfica determinada.

Esta solicitud puede ser realizada por toda persona natural o jurídica y de nacionalidad chilena, ligada a la actividad marítima costera, que acredite datos de facturación.

Se requieren tres documentos:

- Solicitud de autorización para realizar investigación científica y/o tecnológica Marina por entidades nacionales.
- Antecedentes del proyecto de la investigación a realizar.
- Antecedentes de la embarcación que se va a utilizar (si corresponde).

Este trámite puede ser realizado a través de la página web <http://www.shoa.cl/php/index.php>, en la sección de "Trámite Fácil" accediendo al ícono del formulario que muestra la solicitud. Los antecedentes requeridos deben ser enviados al SHOA con por lo menos 3 meses de antelación.

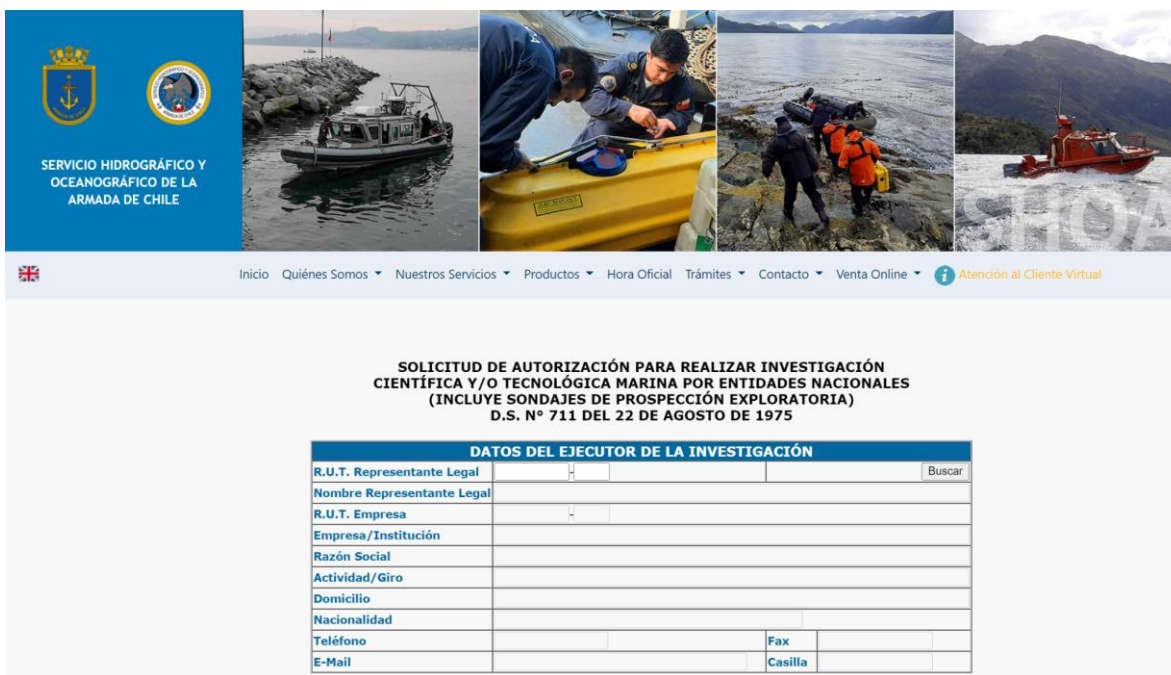


Ilustración 3: Página web de SHOA para solicitud de permiso.

Permiso de escasa importancia a Capitanía de Puerto.

El permiso de escasa importancia autoriza el uso particular de bienes nacionales de uso público o bienes fiscales, a personas naturales o jurídicas, a través de una resolución que faculta a su beneficiario a realizar las siguientes actividades: Extracción de materiales varios que se encuentren en las áreas sujetas a fiscalización y control del Ministerio de Defensa Nacional o Subsecretaría para las Fuerzas Armadas (ex Subsecretaría de Marina), instalación

temporal de carpas u otras construcciones desarmables, avisos de propaganda, boyas y atracaderos para embarcaciones menores, colectores de semillas, balsas para bañistas y boyarines destinados a delimitar áreas de recreación.

El trámite se puede realizar durante todo el año en la capitanía de puerto correspondiente, se demora aproximadamente 45 días en recibir la respuesta y el documento tiene una vigencia de un año.

Para hacer el trámite se requiere rellenar el formulario de permiso de escasa importante y adjuntar los siguientes antecedentes:

- Plano en soporte digital.
- Certificado del Servicio de Impuestos Internos de tasación fiscal del metro cuadrado y comercial, en caso de existencia de mejoras fiscales.
- En caso de solicitud de playa y de terreno de playa urbano, certificado de la Dirección de Obras Municipales, indicando si las obras proyectadas cumplen con el plano regulador.
- En caso de solicitud de playa y de terreno de playa rural, certificado de la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, indicando si las obras proyectadas cumplen con el plano regulador.
- Certificado de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, respecto de si hay solicitudes de concesiones de acuicultura ya otorgadas y si existen áreas de manejo de recursos bentónicos decretadas, espacios costeros marinos para pueblos originarios o parques y reservas marinas.
- En caso de que el certificado informe de la existencia de guaneras en el radio señalado o sea lugar de aposentamiento de aves guaníferas, el solicitante deberá acompañar, además, la autorización del Ministerio de Agricultura para el otorgamiento del permiso o autorización.
- En caso de que se pretendan desarrollar obras temporales o instalaciones, deberá acompañarse un presupuesto simple, detallando el monto a invertir y las obras o instalaciones a ejecutar, firmado por el peticionario.
- Respecto de las solicitudes para extracción de áridos en ríos y lagos navegables, deberá acompañarse un informe de la Dirección Regional de Obras Hidráulicas, certificando que la extracción no afectará el curso de las aguas y no provocará inundaciones o daños en infraestructura (puentes, caminos u otras obras públicas).

El valor del trámite se fija dependiendo de las características de lo solicitado, de acuerdo con el reglamento sobre concesiones marítimas. Las tarifas se reajustan anualmente el 1 de enero, de acuerdo con el porcentaje de variación experimentado por el índice de precios al

consumidor de los Estados Unidos o el índice que lo reemplace, en un margen de un año, contado a partir del 30 de noviembre del año anterior al de su vigencia.

Permiso de señalización a Capitanía de Puerto.

Este permiso es un trámite sin costo donde la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Directemar) autoriza la instalación de señales destinadas a advertir de un peligro o un área de restricción para la navegación; o bien instalar un punto de referencia para la recalada de una nave a un muelle o para la navegación segura de las embarcaciones en un determinado sector.

La autorización detalla las especificaciones técnicas que debe cumplir, pues una vez instaladas las señales -y a solicitud del interesado- los Centros Zonales de Señalización Marítima realizan una inspección para verificar su cumplimiento. De ser aprobadas, informa el inicio de operación de las señales. Se difunde su instalación y se incorpora a todas las publicaciones hidrográficas del país.

Pueden solicitar este permiso empresas relacionadas con muelle, puertos y terminales marítimos o pesqueros, que cumplan con los siguientes requisitos:

- El solicitante debe acreditar ser el representante de las entidades que solicita la instalación de la ayuda a la navegación.
- Indicar qué tipo de señalización desea instalar, explicando el uso y efecto que se quiere lograr.
- El Estudio de Maniobrabilidad del Puerto debe estar aprobado, si corresponde.

El plazo legal de realización es de 45 días.

3.3. Manual de implementación/uso

El primer paso para la instalación de una estación de monitoreo es la toma de decisiones. Para tomar dichas decisiones, debemos considerar la información que tenemos acerca del lago en particular donde se realizará el monitoreo, como por ejemplo su hidrografía.

Se deben considerar tres preguntas:

¿Qué es lo que se quiere medir?

El set de parámetros es amplio, por lo que se deben seleccionar aquellos que se consideren fundamentales para los objetivos de estudio y para los que existan sensores disponibles. Algunos ejemplos serían los siguientes:

- Parámetros físicos: temperatura, turbidez, profundidad/presión, corriente de agua.
- Parámetros químicos: conductividad, oxígeno disuelto, saturación, pH, nutrientes (NH₄, NO₂, PO₄, NO₃, Cl), materia orgánica disuelta.
- Parámetros biológicos: clorofila, algas verdes-azules/cianobacterias.

Un estudio de correlación mostrará la dependencia de la temperatura, conductividad eléctrica y turbidez con los restantes parámetros.

¿Dónde medir?

Dependiendo de qué sea lo que nos interesa medir, existirán maneras más eficientes de obtener los datos, por ello es importante considerar dónde se ubicará a estación de monitoreo.

Para este caso, se considerarán dos opciones: en un punto de flotación del lago a través de una boya, o en un punto específico de descarga con sensores fijos.

En el caso de la boya, al estar ubicada en medio del lago, servirá para obtener datos de calidad de agua más generales, ya que la contaminación que percibe proviene de múltiples orígenes, sin que se pueda atribuir a uno en específico. Aun así, cabe recalcar que un solo punto de monitoreo de este tipo no será suficiente para concluir el estado general de una extensión del lago, sino sólo de un punto específico. Si esto es lo que se desea, se deberán instalar múltiples boyas en diferentes ubicaciones, y la cantidad variará según la extensión del cuerpo de agua.

Otra opción sería la instalación de sensores fijos en un punto específico. Esto es especialmente útil cuando se quiere conocer la calidad del agua que se esté liberando al lago a través de puntos de descarga, o de una ubicación en la orilla del lago. Además, se cuenta con la ventaja de que no se necesita saber la hidrografía del cuerpo de agua para poder implementarlo.

¿Cada cuánto medir?

Dependiendo de los objetivos con los que se quiera medir,

La recepción de información a tiempo real proporciona datos al momento, de gran utilidad en caso de que se desee entregar información de manera continua a la comunidad. Sin embargo, tiene un costo mayor a la recopilación de datos de manera periódica, ya que se necesita tener un servidor activo.

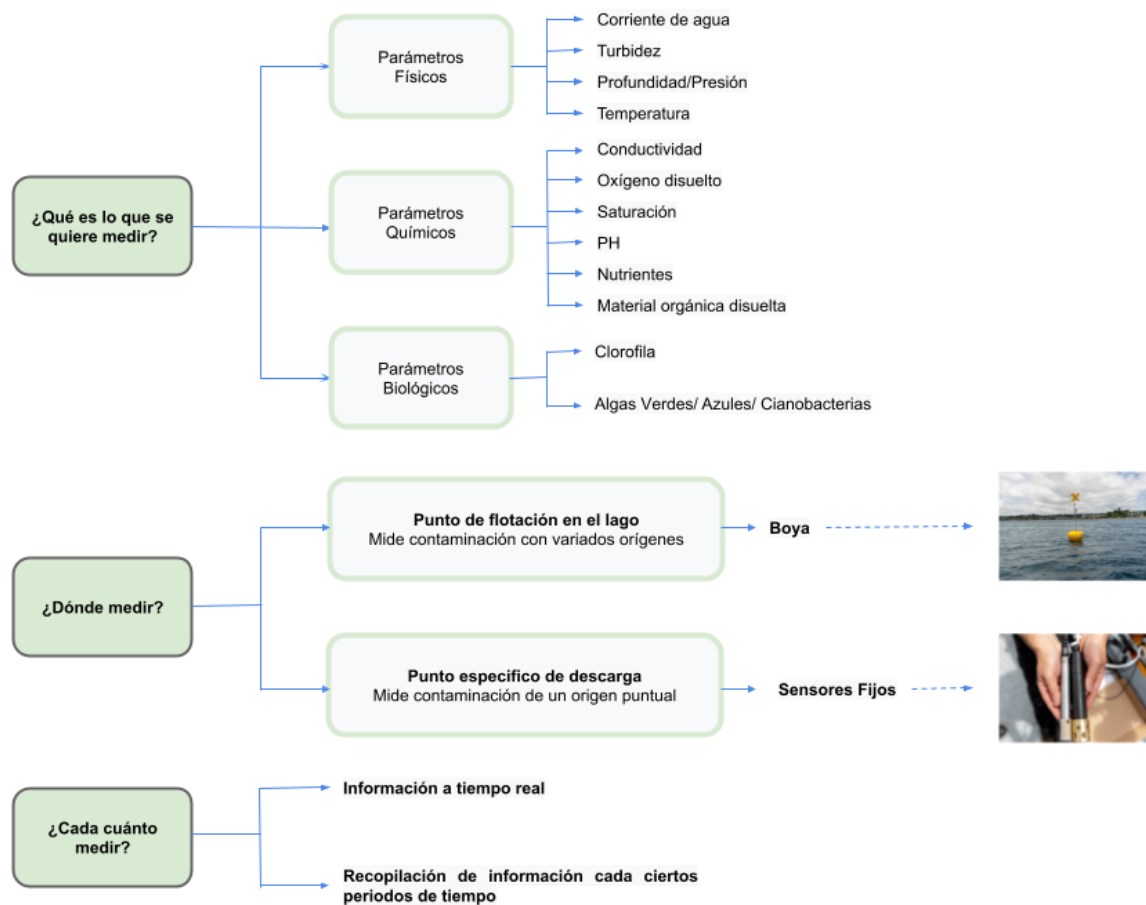


Ilustración 4: Diagrama toma de decisiones de instalación de estación de monitoreo.

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la instalación de una boya, como fue el caso del estudio en el Lago Llanquihue.

Evaluación de la flotabilidad y análisis de optimización del tamaño y volumen de la boya a utilizar, teniendo en cuenta aspectos operativos y medioambientales como el oleaje en el lago, el viento o la profundidad en el punto de fijación.

Optimización de sensores para que entreguen la mayor cantidad de información posible.

Evaluación de disponibilidad energética (radiación solar y almacenamiento en baterías) para el óptimo funcionamiento del sistema (periodicidad de los registros y transmisión de datos).

Procesos administrativos: solicitud de permisos al SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile).

Instalación: Para definir la localización de la estación de monitoreo deben tomarse en consideración varios factores: la profundidad del punto donde se instalará, ya que de ello dependerá el tipo de fondeo o muerto a colocar en el suelo lacustre; que esté lo suficientemente alejada de las áreas de recreo en el lago, minimizando la posibilidad de actos vandálicos en la unidad; la facilidad de transporte para la realización de labores de mantenimiento y la posibilidad de una buena transmisión de datos sin necesidad de recurrir a la señal satelital. Adicionalmente, si hay disponibilidad de datos, es importante considerar la dispersión de contaminantes en el lago.

Chequeo y mantención periódica de sensores (1 o 2 veces al mes).

3.4. Indicadores

Temperatura del agua.

Es un factor ambiental fundamental, ya que tiene una relación directa con la mayoría de los indicadores utilizados en la estación de monitoreo. Por ejemplo, cuando aumenta la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. También está directamente relacionada con la conductividad eléctrica, ya que cuando mayor es la temperatura, mayor es el movimiento de los iones en el cuerpo de agua (sales y materia inorgánica con carga eléctrica), por ende, mayor será la conductividad.

Oxígeno disuelto.

Es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua, fundamental para la vida en este ambiente. La mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para sobrevivir y crecer, pero los requerimientos de oxígeno son variables. Por ejemplo, la trucha necesita niveles elevados para sobrevivir, mientras que el bagre no.

La unidad de medida de este indicador es el miligramo por litro (mg/L). Valores inferiores a 3 mg/L son dañinos para el ecosistema acuático y pueden suponer la muerte de plantas y animales.

Nivel de conductividad eléctrica.

Indica la cantidad de sales y otros compuestos con carga eléctrica disueltos en el agua (iones). A mayor conductividad, mayor cantidad de iones. El origen de esta conductividad se debe a la descarga de iones de la tierra y las rocas por las que pasa el agua durante su ciclo descargan, por lo tanto, la geología de una cierta zona determina la cantidad y el tipo de iones en el agua.

La unidad de medida utilizada en este indicador es el microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Dependiendo del origen del agua, esta puede presentar diferentes niveles de conductividad, por ejemplo, la conductividad del agua para consumo humano es de alrededor de 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$,

la del agua de mar promedio es de 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la del lago Llanquihue suele estar por sobre los 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Saturación.

Es el porcentaje de oxígeno disuelto con respecto a la cantidad máxima de oxígeno disuelto en el agua, a una temperatura y presión determinadas. Cuando aumenta la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Cuando el agua contiene todo el oxígeno disuelto a una temperatura dada, se dice que está 100% saturada de oxígeno. El agua puede estar sobresaturada de oxígeno bajo ciertas condiciones, como por ejemplo en los rápidos de los ríos, o cuando las algas crecen y producen oxígeno más rápidamente del que puede ser usado o liberado a la atmósfera.

Turbidez.

Es la falta de transparencia en el agua debido a la presencia de partículas en suspensión como arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente fraccionada, plancton y otros microorganismos. Mientras más sólidos en suspensión haya en el agua, el valor de turbidez será más alto. La unidad de medida es el NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez). Estas partículas que se encuentran suspendidas en el agua absorben calor de la luz solar, haciendo que aumente la temperatura y se reduzca la concentración de oxígeno en el agua.

A su vez, las partículas en suspensión dispersan la luz, lo que impide la actividad fotosintética de las plantas y algas, contribuyendo a bajar, aún más, la concentración de oxígeno. Estas partículas pueden ser dañinas para muchos organismos acuáticos, ya que pueden obstruir las branquias de los peces e impedir el libre desplazamiento de los macroinvertebrados acuáticos.

Sin embargo, este no es un indicador directo para determinar contaminación, ya que la turbidez puede ser ocasionada por causas naturales y/o momentáneas, tales como la presencia de arcillas provenientes de la erosión, movimientos de tierra en terrenos adenaños al cuerpo de agua, o la descomposición de la vegetación de la ribera.

4. TELEDETECCIÓN

4.1. Descripción de tecnología

La teledetección es una técnica de observación espacial, temporal y espectral que permite realizar mediciones y analizar la superficie terrestre sin tener contacto con ella. Para lograrlo se utilizan sistemas de cámaras que recogen imágenes de la superficie terrestre generadas bajo la órbita de los sensores instalados en plataformas espaciales. Esta técnica facilita la obtención de información de territorios extensos, sin necesidad de desarrollar largas campañas en terreno, reduciendo tiempos y costos. Además, permite incluir zonas de difícil acceso y obtener datos periódicos, comparables y de fácil procesamiento.

Actualmente, la información generada por los satélites de observación terrestre y registrada mediante imágenes es utilizada para monitorear atributos relevantes como: vegetación, capas de hielo y cuerpos de agua, entre otros. La utilización de satélites permite identificar zonas en las que se ha ocasionado, por ejemplo, pérdida de vegetación en áreas boscosas o aumento en la turbidez de las aguas producto de procesos de eutrofización que aumentan la abundancia de algas y fitoplancton, impactando negativamente en la calidad del agua de un lago.

En cuanto al monitoreo de aguas oceánicas y continentales, desde finales de la década de los noventa y en base a la información obtenida desde plataformas satelitales (misiones espaciales), se han monitoreado las características fisicoquímicas de los océanos, mares y lagos, lo que usualmente ha sido llamada el color de océano (ocean color). En el caso de las características físicas se consideran primordialmente las propiedades ópticas de los océanos.

La primera misión espacial dedicada específicamente a este tema fue la del satélite Nimbus-7, con el sensor (instrumento) Coastal Zone Color Scanner Experiment (CZCS). El periodo útil de este sensor fue desde octubre de 1978 a junio de 1986.

Si bien no fue el primero históricamente, el satélite OrbView-2, con el sensor SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor) es sin lugar a duda una de las más conocidas misiones espaciales destinada al monitoreo de los océanos. El SeaWiFS estuvo activo desde septiembre de 1997 a diciembre de 2010.

Hoy en día el sensor Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) está montado en las plataformas satélites Sentinel-3A y Sentinel-3B, puestos en órbita el 15 de mayo de 2016 y 25 de abril de 2018, respectivamente. Ambas plataformas están actualmente operativas y permiten el monitoreo de los océanos, con énfasis en zonas costeras, mares y lagos interiores.

OLCI es un espectrómetro de imágenes de barrido que mide la radiación solar reflejada por la Tierra, los productos del sensor OLCI pueden ser obtenidas en su resolución espacial original de aproximadamente 300 m (Full Resolution - FR), como también con una resolución espacial reducida (Reduced Resolution - RR) de aproximadamente 1200 m. Este sensor cuenta con 21 bandas cubriendo espectralmente desde los 400 a 1020 nm, con un ancho de track de 1.270 km y un periodo de revisita de una vez por día (en modo constelación, S3A y S3B), con paso aproximadamente a las 14:00 GMT. El objetivo del sensor OLCI, por un lado, es proporcionar continuidad de datos para MERIS de ENVISAT, examinando la topografía de la superficie del mar, la temperatura de la superficie terrestre, como también el color de la superficie del océano y la tierra, con alta precisión y confiabilidad para respaldar los sistemas de pronóstico de los océanos, el monitoreo ambiental y el monitoreo del clima.

Todos los productos de este sensor son de descarga gratuita desde la plataforma <https://coda.eumetsat.int/#/home> solo se debe crear una cuenta y contraseña para la creación de un usuario registrado.

En relación con el caso de estudio se considerarán 3 indicadores de calidad de agua obtenidos mediante el sensor OLCI de Sentinel 3 Level 2: Concentración de pigmento de algas (CHL), Concentración total de materia en suspensión (TSM_NN) y Coeficiente de atenuación difusa (KD490).

4.2. Requerimientos

Recursos tecnológicos

Para el procesamiento de las imágenes satelitales y la creación de mapas se necesita de un equipo computacional que tenga los requerimientos de hardware necesarios para la visualización y procesamiento de imágenes satelitales mediante programas especializados denominados sistemas de Información Geográfica (SIG) específicamente SNAP Sentinel y QGIS. A continuación, se muestra una tabla de las características mínimas que debería tener el equipo en cuestión.

Tabla 1: Requerimientos equipo computacional.

Elemento	Característica mínima
Memoria RAM	8 GB DDR4 2933 MHz
Disco Duro	500 GB SSD
Procesador	INTEL Core i5 3,5GHz o similar
Tarjeta de video	4 GB

Tomando en cuenta dichas características una referencia comercial del equipo necesario sería de un valor mínimo de \$773.190

En cuanto a los softwares SIG (QGIS - SNAP SENTINEL) estos son de licencia gratuita, solo se deben descargar e instalar en el computador, además estos programas trabajan en diferentes sistemas operativos (Windows 64bit – Mac OS X – Unix 64 bit).

Recursos humanos

Considerando potencialmente el procesamiento de 10 productos al año, con el total de horas dedicadas, su valor iría desde los \$1.045.760.

Dentro de estos 10 productos, a cada uno de ellos se le debe realizar ciertos procesos para poder llegar al análisis en QGIS, procesos que contemplan: selección de imagen/descarga; recorte del área de trabajo; proyección; exportación; análisis. Se debe recordar que se está evaluando productos procesados, por lo cual si requiriera de alguna validación exhaustiva o de correcciones estos valores serían mayores.

Tabla 2: Valor y horas mínimo según proceso por producto.

Proceso	Programa o web a utilizar	Horas mínimas	Valor (0,8 UF)
Selección de imagen/descarga	https://coda.eumetsat.int/#/home	1	26.144
Recorte del área de trabajo	SNAP Sentinel	1	26.144
Proyección			
Exportación			
Análisis	QGIS	2	52.288
TOTAL		4	104.576

4.3. Manual de uso

1. Evaluación de imágenes de diferentes satélites

En toda utilización de imágenes satelitales se debe evaluar comparativamente las distintas imágenes existentes en base a sus características, para así definir cual imagen es la más adecuada a lo requerido. En este caso de estudio de acuerdo con las características comparadas resultó ser Sentinel 3 OLCI la que cumplía de mejor forma el objetivo planteado.

La elección respecto a las imágenes a ser utilizadas para un estudio de la calidad de aguas tendrá que estar basada primordialmente en las necesidades temporales, espaciales, espectrales y de sensibilidad radiométrica requeridas para cada estudio o monitoreo que se desee realizar, por lo que no existe a priori un sensor "ideal".

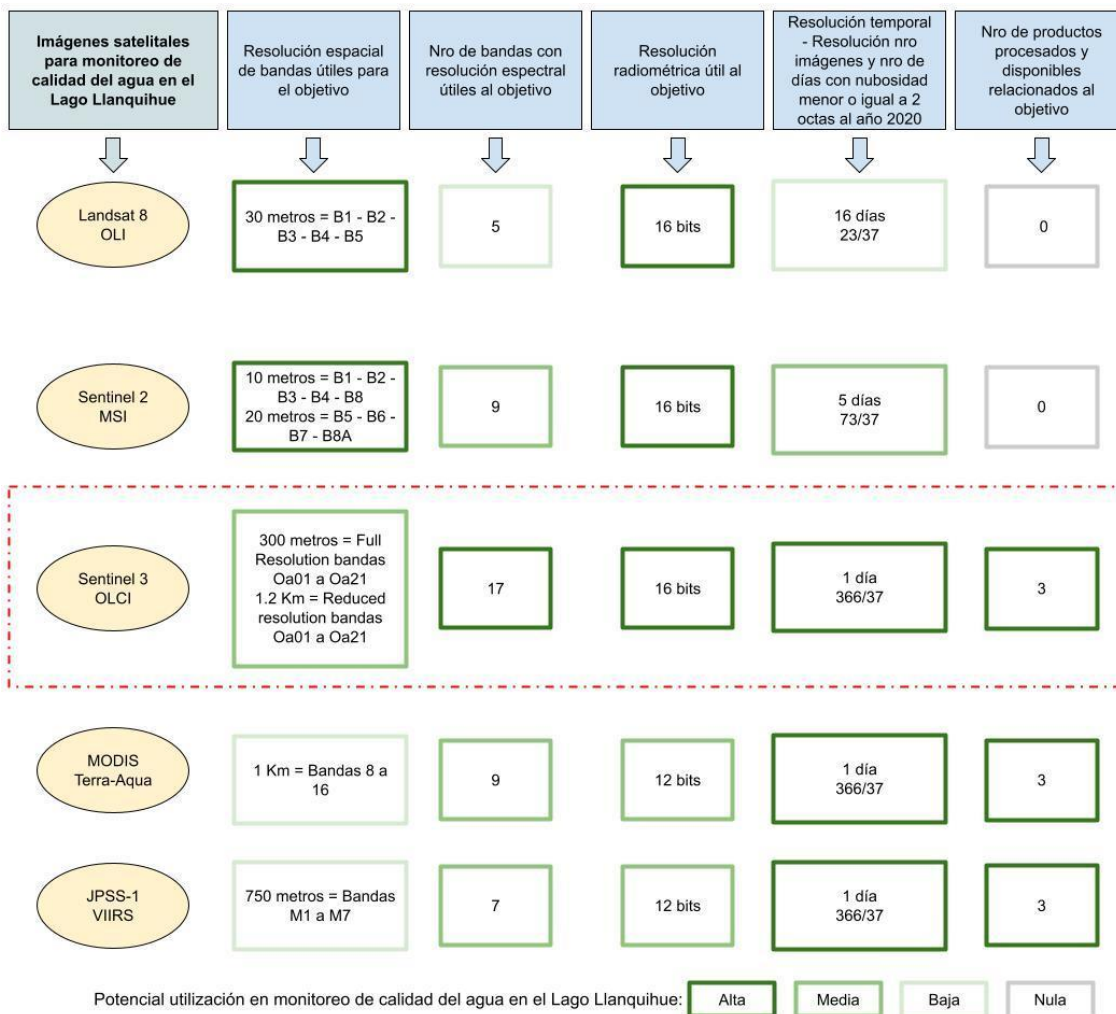


Ilustración 5: Caracterización de imágenes satelitales.

2. Análisis de nubosidad

Sin duda al ser imágenes satelitales uno de los problemas que se pueden presentar al momento de querer evaluar algún aspecto de la superficie marina, oceánica o terrestres es la presencia de nubosidad, en base a ello se debe realizar una revisión en las plataformas correspondientes de la nubosidad que posee el área de estudio, sin duda alguna este aspecto resultó determinante para el caso del Lago Llanquihue.

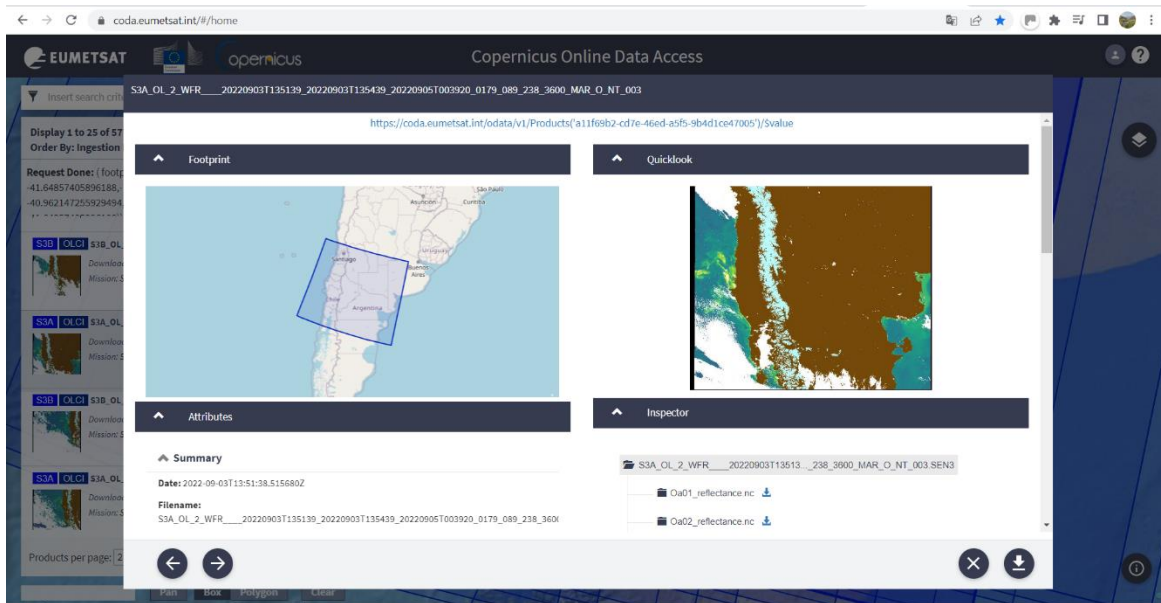


Ilustración 6: Descarga de imágenes satelitales.

3. Revisión de imágenes en programa SNAP

Con la potencial imagen satelital seleccionada y descargada, los pasos iniciales se deben realizar en el programa gratuito SNAP de la European Space Agency (ESA), para nuevamente revisar nubosidad o algún otro problema que pudieran tener las imágenes.

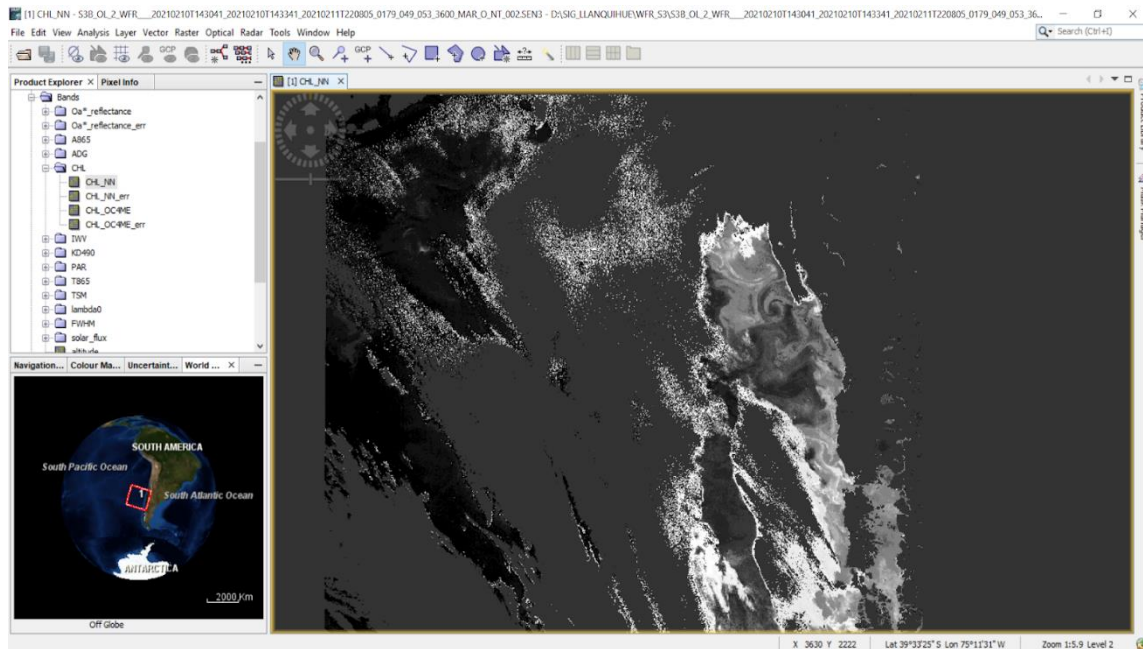


Ilustración 7: Revisión de imágenes en programa SNAP.

4. Recorte, proyección y exportación del área requerida en programa SNAP

Si bien el programa SNAP permite varios tipos de análisis como estadísticos (scatter plot, correlative plot, histograma, etc.), para este caso se realizaron algunos pasos básicos para luego su análisis realizarlo en el programa también gratuito QGIS, dentro de estos pasos básicos se encuentra el recorte del área de interés, la proyección a coordenadas UTM y la exportación a formato TIF (formato que permite una mayor interoperabilidad con otros programas).

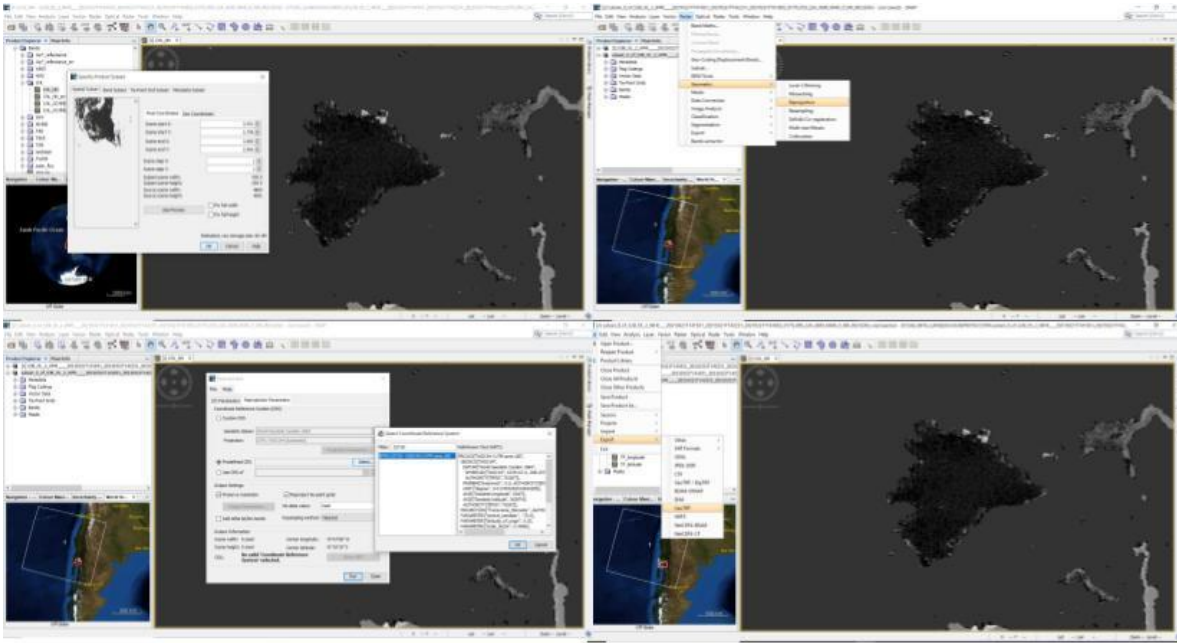


Ilustración 8: Recorte de área en SNAP.

5. Análisis QGIS

Con las imágenes ya exportadas en formato GeoTiff, estas pueden ser leídas por cualquier sistema de Información Geográfica (SIG), en este caso se visualizan los productos en QGIS, si se debe considerar que al momento de exportarlos los valores mostrados corresponde al logaritmo en base a 10 del dato original de SNAP, por lo cual se debe cambiar esos valores.

Para obtener el valor original de los productos WFR OLCI Level-2 de Sentinel 3, se debe crear una nueva imagen, pero con el Anti-Logaritmo en base a 10 en calculadora raster, para ello basta con la siguiente fórmula: $10^{\text{IMAGEN GEOTIFF}}$

Ya con estos pasos realizados, las imágenes se encuentran disponibles para los análisis que se necesiten.

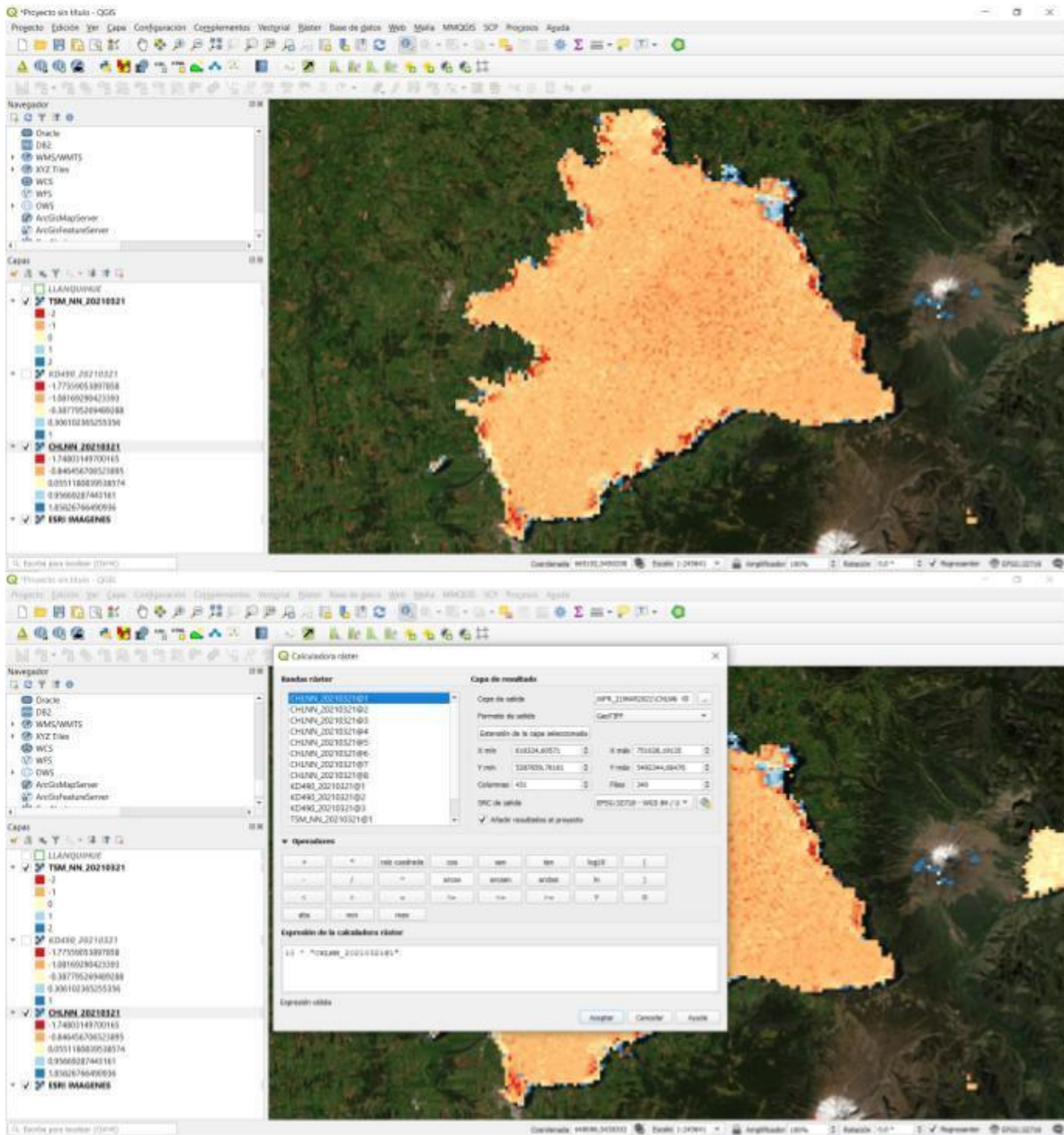


Ilustración 9: Proceso de imágenes en programa QGIS.

4.4. Indicadores

Concentración de pigmento de algas (CHL)

En cuanto a los índices de concentración de clorofila obtenidos mediante satélites, identifican este pigmento en plantas, algas y fitoplancton, para ello dependen de la segmentación del espectro electromagnético que posea el sensor satelital y que principalmente sea en el visible e infrarrojo cercano, donde este pigmento tiene un peak alrededor de los 450 nm y los 490 nm, además de acuerdo a lo señalado por Torres-Pérez y McCullum (2020) el

fitoplancton (Chl a) absorbe fuertemente en las regiones del azul y rojo del espectro electromagnético.

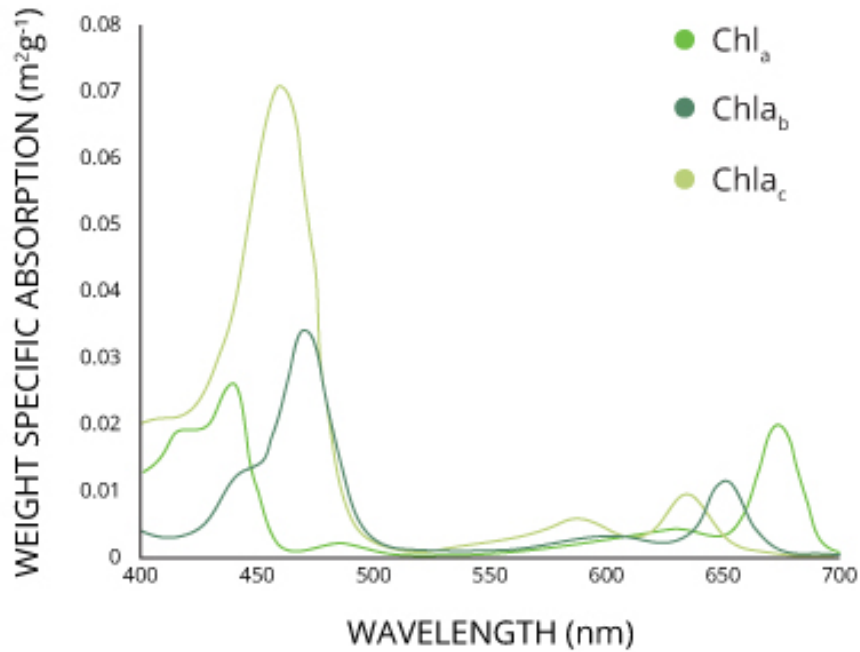


Ilustración 10: Absorción específica de peso vs ancho de onda de CHL

Fuente: Fondriest Environmental (2014)

Concentración total de materia en suspensión (TSM_NN)

El índice de concentración de materia en suspensión identifica la carga sedimentaria presente en el cuerpo de agua, la cual también de acuerdo con lo señalado por Doerffer (2010) y Torres-Pérez y McCullum (2020) es parte de las propiedades ópticas espectrales inherentes que son captadas por el sensor satelital principalmente en el rango visible y parte del infrarrojo cercano. Adicionalmente Torres-Pérez y McCullum (2020) señalan que los sedimentos poseen una fuerte reflectancia en los cañones del verde y rojo.

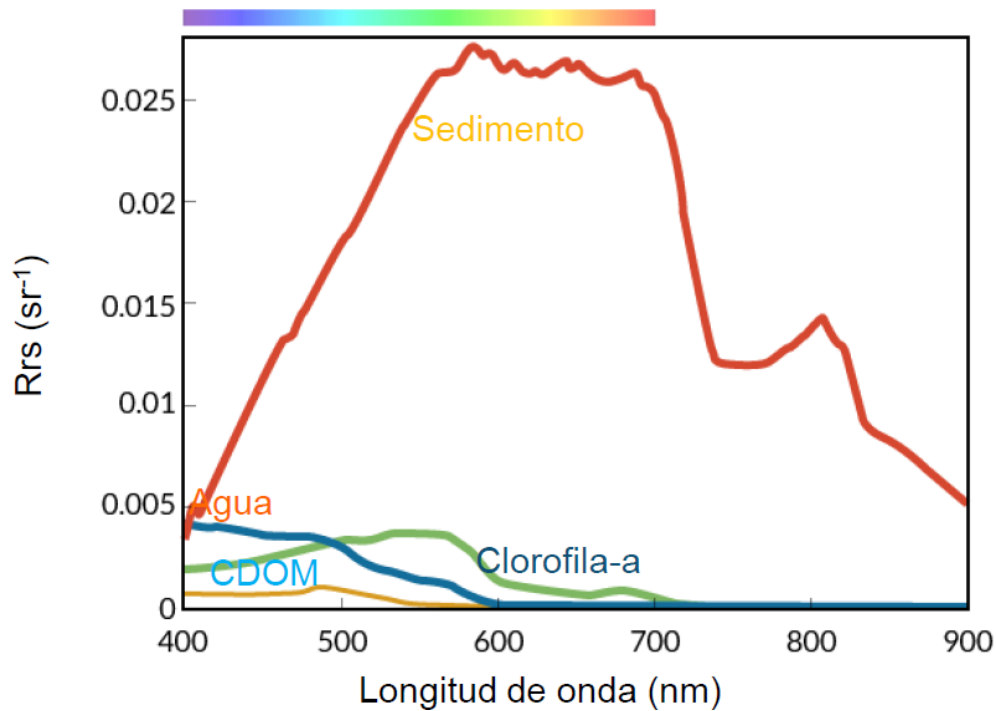


Ilustración 11: R_{rs} vs longitud de onda

Fuente: Torres-Pérez y McCullum (2020).

Coefficiente de atenuación difusa (KD490)

En esencia mide la penetración de la luz en los cuerpos de agua, esto lo realiza principalmente en los 490 nm, en la zona azul del espectro visible. Pero este coeficiente no solo depende de las características del cuerpo de agua, como podría ser al comparar la penetración de la luz en aguas oceánicas y costeras, sino que también depende de la variabilidad estacional de la radiación incidente (tanto en cantidad como en el ángulo de incidencia), básicamente la luz solar que llega al cuerpo de agua, la que es reflejada y captada finalmente por el sensor satelital según las estaciones del año.

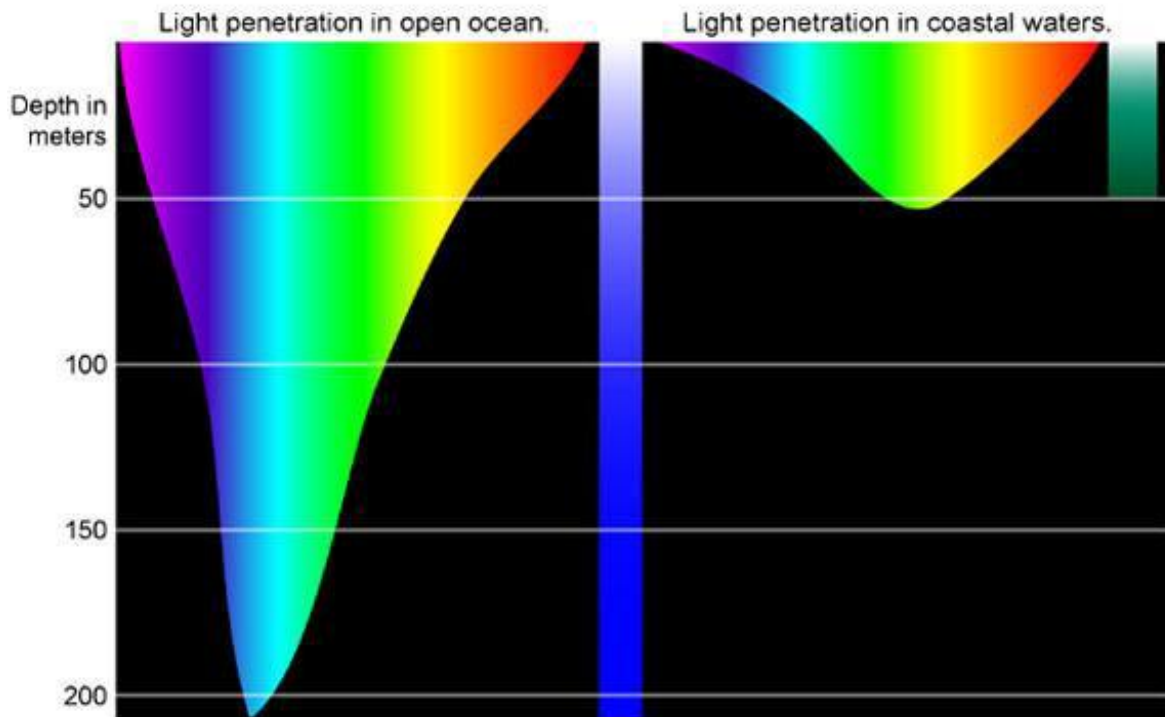


Ilustración 12: Penetración de luz en cuerpos de agua

Fuente: Torres-Pérez y McCullum (2020).

4.5. Recomendaciones

Si bien el costo de la operación de estos productos analizados es un valor relativamente bajo no superando los \$2.100.000 anualmente (considerando 10 imágenes) y no requiere de una gran cantidad de personal, su limitación se encuentra asociada a la disponibilidad de imágenes en el caso de estudio del Lago Llanquihue, debido a la alta presencia de nubosidad en la zona.

Se debe recordar que se evaluaron productos procesados y que varían según el año, por lo cual si requiriera de alguna validación exhaustiva o de correcciones estos valores serían mayores.

Por lo tanto, la recomendación es utilizar esta técnica de imágenes satelitales de forma complementaria, ya que realizar un seguimiento solamente con este método resulta demasiado acotado y se podría subestimar valores que fueran críticos.

5. METAGENÓMICA

5.1. Descripción de tecnología

Tradicionalmente, la calidad del agua es monitoreada por medio de análisis microbiológicos mediante metodología tradicional y análisis fisicoquímicos como el pH, temperatura, entre otros medios. Sin embargo, la caracterización con exactitud y precisión de microorganismos se complica, debido a su gran abundancia habitando en el ambiente acuático, solo algunos microorganismos son usados para identificar el estado sanitario del agua, dejando de lado otras bacterias que también son de importancia.

Se sabe que el agua que presente una carga de materia orgánica como la materia fecal puede ser una fuente de abastecimiento para que otros microorganismos puedan proliferar, quedando en incógnita cuáles de estas bacterias también pudieran ser un peligro para la salud y no sean detectadas por métodos tradicionales.

La metagenómica es una herramienta relativamente nueva, debido al poco conocimiento de su implementación, es capaz de estudiar los genes bacterianos ya sean de una o varias poblaciones, logrando descubrir nuevos genes, enzimas, rutas metabólicas e incluso antibióticos. En otras palabras, esta herramienta es capaz de identificar una bacteria, virus e incluso hongos presentes en una muestra, mediante la lectura y caracterización del material genético presente en estas y clasificarlas mediante una lectura taxonómica, ya sean por familias o especies, siendo más específico que un análisis microbiológico tradicional.

En Chile, se desconocen los estados sanitarios actuales de los cuerpos lacustres e incluso de los humedales urbanos, si bien de forma visual aparentemente se ven sanos, no sabemos en qué estado se encuentran a nivel microscópico. Por medio de este proyecto, hemos logrado y demostrado caracterizar la microbiota de distintos puntos del Lago Llanquihue, puntos ubicados en las ciudades de Puerto Varas, Llanquihue y Frutillar, sabiendo el estado sanitario general de las costas de estas tres ciudades. Para ello, el ADN de las muestras fue extraídas y secuenciadas mediante "Shotgun metagenomics", donde se analiza el ADN completo de cada bacteria y mediante amplicones de la región del gen 16s rRNA (Amplicon sequencing) e ITS1 (esparcador transcrito interno 1) donde se localiza una sección del ADN o ARN de la muestra, identificando el gen secuenciado.

Esta tecnología, puede ser aplicada a todo tipo de cuerpo lacustre, agua salada, plantas de procesos, salidas de alcantarillados o colectores de agua, salmonicultura, ganadería e incluso se puede medir parámetros del suelo. La metagenómica abre una oportunidad de múltiples análisis.

5.2. Requerimientos

Para la implementación de esta tecnología es necesario:

- **Recursos humanos:** Se necesitan personas capacitadas tanto en la recolección, extracción del material genético, analizar los datos mediante metagenómica para finalmente realizar la interpretación de los datos crudos genéticos mediante el análisis de metagenómica en un equipo computacional que sea capaz de procesar la información.
- **Recursos computacionales:** Se necesita un equipo computacional con características mínimas en memoria RAM de 8GB DDR3 o superior; Disco duro de 500 GB SSD (se recomienda de 1000 GB SSD); Procesador tipo Intel Pentium, Core i5, RYZEN 5, alguno similar o superior; Tarjeta de video Nvidia 920mx, GTX de 4GB o superior; Windows 10, 11 o LINUX (se recomienda usar este último); Programa Rstudio y R.
- **Recursos de infraestructura:** Se necesita de un laboratorio donde se pueda procesar las muestras de forma estéril y segura, para evitar algún contaminante que pudiera caer en la muestra.
- **Recursos materiales:** Se recomienda realizar este tipo de estudio mediante un laboratorio especializado que tenga todos los medios para realizar este tipo de estudio. Los costos mínimos que se necesita para realizar metagenómica son aproximadamente de \$443.702 CLP. A continuación, se muestra una lista de materiales en la Tabla 1 con los valores mínimos necesarios para realizar una muestra. Cabe mencionar, que las muestras de metagenómica son enviadas fuera de Chile, debido a que realizarlo en el país es más costoso, por esta razón, se envían las muestras a Novogene en Estados Unidos, California.

En la tabla 3, se muestra cuanto es el costo de análisis de una muestra para metagenómica, considerando que el laboratorio ya cuenta con la implementación necesaria para realizarla y a la persona que realiza los procedimientos se mantiene por el día.

Tabla 3: Kit mínimo necesario para la realización de Metagenómica.

Materiales	Descripción	Valor
Guantes látex	Para un procedimiento limpio	\$ 14,200
Mano de obra extracción	1 día	\$ 22.599
Alcohol 70%	Para desinfección de material	\$ 2,990
Alcohol Absoluto	Alcohol al 100%	\$ 15,131
Tubo Falcón 15 ml	tubos para dilución,	\$ 3,743
Puntas micropipetas	de 1250uL con filtro, 1000 unidades	\$ 43,100
Puntas micropipetas	de 200uL con filtro, 100 unidades	\$ 24,000

Puntas micropipetas	de 20uL con filtro, 100 unidades	\$ 16,098
Kit Extracción DNA	Para obtener el ADN de las bacterias, Bioneer	\$ 123,360
Filtros 0,22 µm	Para capturar las bacterias	\$ 16,680
Frasco vidrio 1000 ml	tapa rosca, resistente hasta 140°C	\$3,500
Total		\$ 285,401
Novogene (secuenciación metagenómica Shotgun)	1 muestra analizada	\$ 79,007
Total	Con Shotgun	\$ 364,408
Novogene (secuenciación metagenómica 16s)	1 muestra analizada	\$ 17,048
Novogene (secuenciación metagenómica ITS1)	1 muestra analizada	\$ 17,048
Total	Con 16s o ITS1	\$ 298,949
Total	Con los tres tipos de metagenómica	\$ 398,504
Persona capacitada	Manejo extracción, salida a terreno y envió de muestras, por día.	\$ 22,599
Persona capacitada	Para análisis metagenómico, por día.	\$ 22,599
Total	Mano de obra	\$ 45,198
Total	Incluyendo metagenómica y mano de obra	\$ 443,702

- Si se desea implementar esta tecnología desde cero, los valores referenciales se encuentran expresados en la Tabla 4, considerando la implementación desde cero en conjunto a los valores de los materiales por unidad.

Tabla 4: Materiales necesarios para realizar Metagenómica.

Materiales	Descripción	Valor
Guantes	Guantes de Nitrilo	\$14,200
Alcohol 70%	Para desinfección	\$2,990
Puntas micropipetas	de 1250uL con filtro, 1000 unidades	\$43,100
Puntas micropipetas	de 200uL con filtro, 100 unidades	\$24,000
Puntas micropipetas	de 20uL con filtro, 100 unidades	\$16,098
Centrífuga	microcentrífuga	\$1,849,974
Vortex	para las muestras	\$339,993
Tubo centrifuga	tubos eppendorf, 1,5ml, caja 500 unidades	\$8,950
Kit extracción	extracción DNA, Bioneer	\$123,360
Novogene	secuenciación para metagenómica x 16S, Unidades	\$3,393,095
Tubo Falcón 15 ml	tubos para dilución,	\$3,743
Juego de micropipetas	20 µL, 200 µL y 1000µL	\$600,000
calefactor muestras	para 15 ml, calefactor baño seco	\$628,597
Filtros	Membrana 47mm x 0,22 µm, 100 un.	\$16,680
Matraces de filtración	Kit extracción más bomba	\$399,800
Frasco vidrio 1000 ml	tapa rosca, resistente hasta 140°C	\$3,500
Gradilla para tubos	para tubos eppendorf	\$3,500
Caja tubos centrífuga	para guardar muestras en congelación	\$6,000
Alcohol Absoluto	Alcohol al 100%	\$15,131
RNA Later / RNA save	evita su descomposición DNA bacterial (500ml)	\$189,900
Jeringas	50 ml para filtración. 60 pack	\$ 30,600
Whatman	Plastic filter holders	\$ 314,541
Botas de goma	Talla 40	\$ 23,100
Botas de goma	Talla 39	\$ 23,100
Cooler 51 litros	para muestreo	\$ 113,300

embudo plástico	100MM	\$ 9,300
Persona capacitada	Manejo extracción, salida a terreno y análisis metagenómico, por 1 mes.	\$ 677.966
Total		\$ 8.860.318

5.3. Manual de uso

Protocolo para la extracción de una muestra de agua.

- Para la utilización de esta tecnología, se deben considerar las siguientes medidas; un frasco de vidrio de 1000 ml que se encuentre previamente desinfectado y autoclavado, para evitar falsos positivos en las muestras y lecturas erróneas; Guantes de látex limpios y previamente desinfectados con alcohol al 70% para evitar que contaminantes de nuestras manos generen lecturas erróneas en la muestra; rotular el frasco con un marcador permanente, así sabremos la hora y el lugar de la toma de muestra.
- Sí utiliza botas de goma para ingresar al agua ya sea lago o humedal, recuerde que debe desinfectarlas con alcohol al 70% para evitar que contaminantes se incorporen en la muestra de agua, generando información errónea.
- Para saber cuántos litros de agua se van a recuperar por zona, hay que analizar si el agua se presenta turbia a la vista o transparente, dependiendo de esto, puede que se necesite más de un litro de agua para analizar, mientras más transparente el agua, más litros se requieren para analizar. Una vez que tengamos los pasos previos realizados, procedemos a continuar.
- Para muestrear una zona, se requieren de 1 a 2 litros de agua aproximadamente, esto dependiendo de la turbidez que se observe en el agua, la cual es tomada desde el cuerpo lacustre.
- Una vez obtenida la muestra de agua, esta es puesta en frío junto a gel packs y luego son transportadas inmediatamente al Laboratorio, de esta manera, la temperatura y las bacterias son conservadas durante el viaje y evitar cambios fisiológicos en ellas, para luego ser filtradas a través de filtros de MCE (Ésteres de Celulosa) con tamaño de poro de 0.22 μm y 47 mm de diámetro.
- En el laboratorio, se debe habilitar un lugar estéril para trabajar. El agua, debe pasar por el sistema de filtración mediante presión negativa, de esta manera, los microorganismos presentes en el agua quedan depositados en los filtros.
- Luego, los filtros son utilizados para extraer el DNA proveniente de los microorganismos obtenidos, utilizando el Kit de extracción de DNA genómico (AccuPrep® Genomic DNA Extraction Kit, BIONEER), siguiendo las instrucciones del fabricante.

- El DNA obtenido es enviado a un servicio de secuenciación de ácidos nucleicos especializado (NOVOGENE, USA) para su procesamiento.
- Finalmente, la información cruda obtenida desde el servicio de secuenciación es procesada mediante herramientas bioinformáticas basadas en los lenguajes de programación Python y R, con el objetivo de identificar los microorganismos presentes en cada una de las muestras analizadas.



Ilustración 13: Pasos en la toma de agua en cuerpo lacustre.

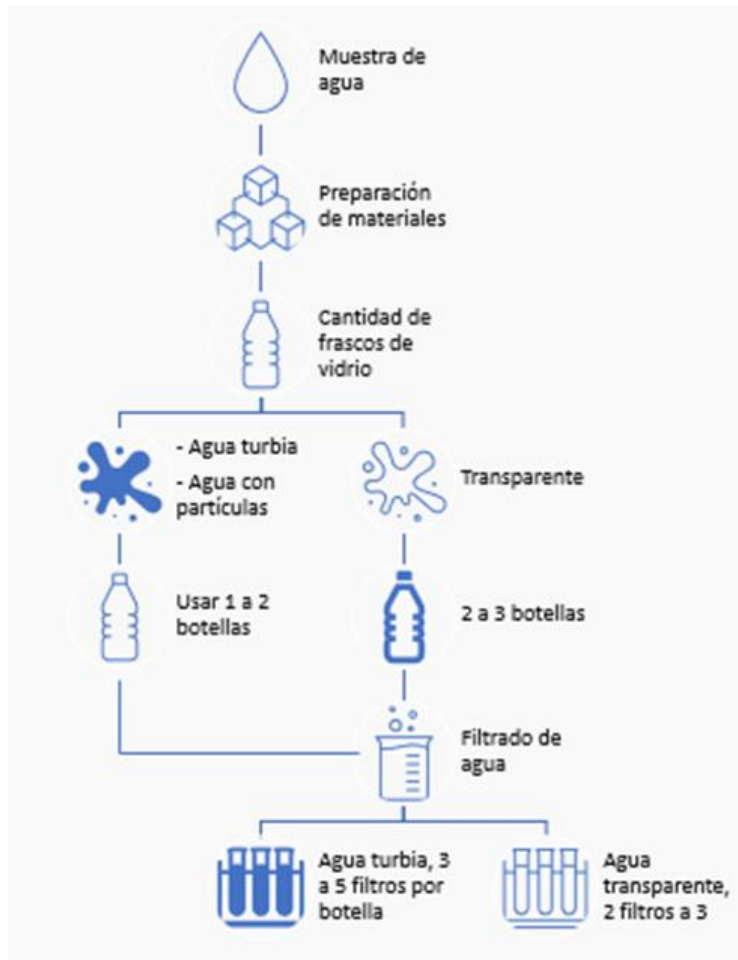


Ilustración 14: Equivalencia de botellas usadas para el muestreo de agua, versus cantidad de muestras filtradas.

5.4. Indicadores

Con metagenómica lo que se busca medir es la cantidad de bacterias antropogénicas presentes en el agua y las bacterias ambientales. Las bacterias antropogénicas, son aquellas pertenecientes o que proceden de los seres humanos, que, en particular, tienen efecto sobre la naturaleza, mientras que las bacterias ambientales son todas aquellas que se encuentran presentes en el medio ambiente, los cuales son capaces de mantener un equilibrio microbiológico ya sea en el agua o en el suelo, capaces de degradar sustancias que son nocivas para el medio ambiente.

Una vez que se establecen cuáles son las bacterias ambientales y cuáles son las bacterias antropogénicas, se realiza una comparación entre ambas, observando los porcentajes entregados por los análisis obteniendo un resultado con lo cual podremos ver cuál es la condición real del agua.

Este estudio puede realizarse de manera mensual, trimestral o anual, dependiendo de la necesidad que se requiera cubrir. Haciendo este estudio de manera mensual, se puede monitorear el comportamiento de las condiciones ambientales normales del agua versus las antropogénicas, donde se puede observar el cómo varía según el mes muestreado, y ver si estas condiciones van variando a través del año. Un ejemplo sería observar el cómo varía en las épocas del año donde hay un incremento de aguas lluvias versus a los meses del año donde los niveles de aguas lluvia disminuye, otro ejemplo es si hay impacto turístico durante las épocas de vacaciones o festivas durante el año, este ejemplo se puede ver expresado en la Ilustración 15. En el gráfico de barras se aprecia los porcentajes de las bacterias Ambientales y de las Otras bacterias medidos durante un poco más de un año, donde se puede observar que, durante las épocas de primavera hacia el verano, hay un aumento significativo en las bacterias ambientales, quizás debido a que hay menos ingreso de aguas lluvias al lago Llanquihue que en invierno, que en esta época del año es donde más lluvia cae y por ende más ingreso de agua al lago.

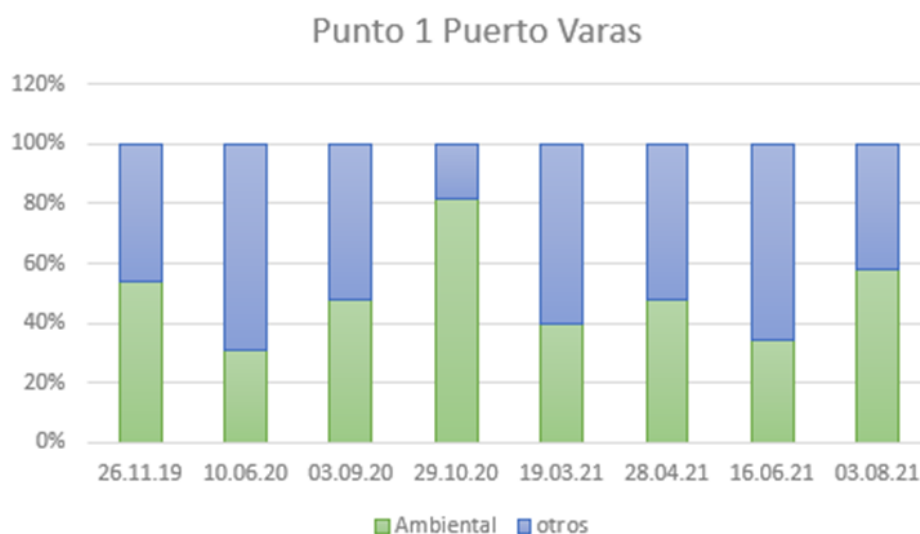


Ilustración 15: Monitoreo de manera mensual del Punto 1 del lago Llanquihue en Puerto Varas.

Gracias a este método, se puede detectar y generar una alerta sanitaria temprana, para poder actuar y además realizar un seguimiento del estado de las corrientes del agua, también se puede observar la dirección en la que se mueven las bacterias antropogénicas y el cómo las bacterias ambientales actúan ante las bacterias antropogénicas dentro del medio acuático. Un ejemplo del movimiento de las bacterias se puede observar en la siguiente Ilustración 16.

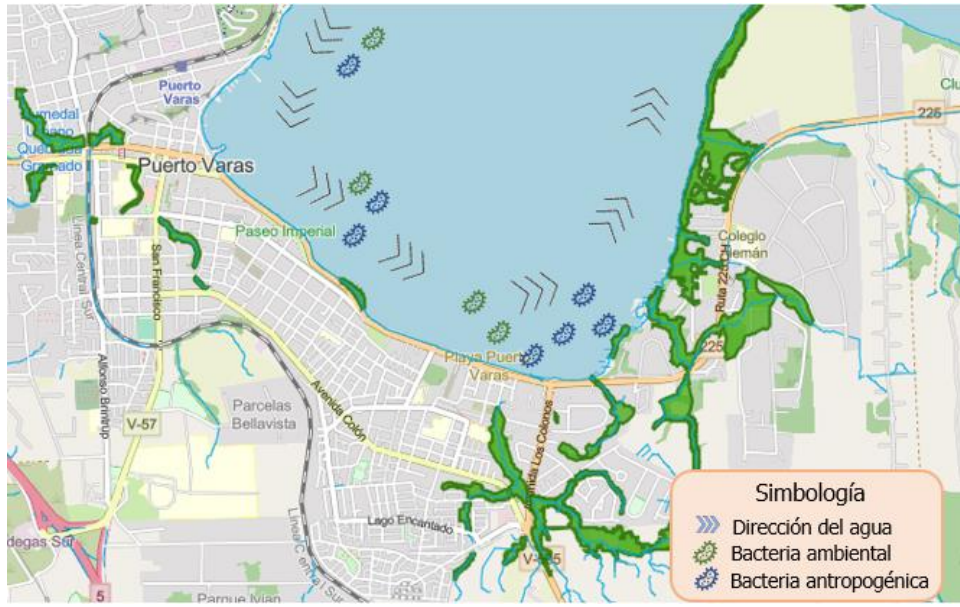


Ilustración 16: Dirección del flujo de las corrientes del agua en la ciudad de Puerto Varas. Esto se ha ido determinando mediante observación microbiológica.

Otros indicadores que se pueden medir con metagenómica son:

- **Microbiota del suelo:** Está conformada por microorganismos tales como bacterias, hongos, protozoos y animales, que contribuyen al funcionamiento de los ecosistemas, ya que de ellos depende el mantenimiento de la estructura del suelo, la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes para otros organismos.
- **Concentración de pigmento de algas (Clorofila):** identifica los pigmentos de clorofila de algas y fitoplancton presentes en el agua, se considera un parámetro importante para vigilar los procesos de eutrofización en el cuerpo de agua.
- **Concentración de material en suspensión:** identifica la carga sedimentaria presente en el cuerpo de agua.
- **Coefficiente de atenuación difusa:** mide la penetración de la luz en los cuerpos de agua. Es un indicador de transparencia y deduce por estimaciones de radiación el flujo incidente por una unidad de área.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente documento se ha dedicado a explicar las tres tecnologías que fueron aplicadas en el contexto del proyecto "Evaluación de tecnologías de la información y herramientas biotecnológicas para el monitoreo ambiental del Lago Llanquihue", considerando los diferentes procesos que fueron necesarios para su implementación. Todos aquellos productos resultantes de estas tecnologías fueron subidos y dispuestos al público a través de la plataforma de www.lagoenlinea.cl, generando así un sistema de información que permite monitorear la calidad de agua de varios puntos del Lago Llanquihue.

A lo largo del desarrollo del proyecto, se planteó además distintos enfoques técnicos que apoyaron a la elaboración y planteamiento de los tres estudios que se observaron en el lago, compartiendo diferentes puntos de vistas de las tecnologías, abordando sus descripciones en general, sus recursos utilizados y manual de uso e implementación para cada una de ellas.

La factibilidad y pertinencia de cada método dependerá de varios factores, como por ejemplo la hidrodinámica del lago a estudiar y los propósitos del monitoreo.

Complementando la situación puntual de la boya, se considera que, si bien la metodología es de gran apoyo a la observación y control del estado en el punto en que se aloja este sistema dentro del lago, su implementación y mantención tienen un alto costo. Para futuros proyectos de monitoreo que busquen medir puntos específicos, se recomienda considerar la instalación de sensores fijos en lugares estratégicos (donde se vea influenciado la mayor intervención posible tanto de empresas como poblaciones cercanas al lago), ya que estos permiten medir los mismos parámetros con un menor costo económico.

En el caso de la metagenómica podemos estudiar con mayor profundidad que microorganismos están presentes en un cuerpo de agua que con las técnicas tradicionales. Considerando los dos tipos implementados de esta tecnología, se puede concluir que la metagenómica de escopeta ("Shotgun metagenomics") entrega mayor cantidad de información que la metagenómica de amplicones, pero esta última resulta ser más robusta de menor costo. El gran desafío de esta tecnología es la interpretación de la alta cantidad de información que entrega y que requiere de personal altamente capacitado para la obtención y análisis de datos.

A modo de resumen de las tecnologías, sus características mencionadas en este documento y simplificar la toma de decisiones sobre qué tecnología abordar en algún lago, se presenta la Ilustración "17", compuesta por los criterios especificados a continuación.

1. Precisión: Se refiere a que tan exacta es la información que nos puede entregar acerca de los parámetros evaluados.
2. Variedad de parámetros: Cantidad de parámetros se pueden estudiar con dicha tecnología.
3. Costos de implementación: Que tan alto es el costo de aplicar la tecnología.
4. Requerimiento de conocimientos técnicos: Qué tanto se debe saber antes de poder implementar la tecnología

5. Área de estudio: Perímetro físico de monitoreo que puede abordar la tecnología dentro de un cuerpo de agua.

Además, cabe mencionar que en la Ilustración 17 se utilizan los términos “Alto - Medio - Bajo” como valores para clasificar las características de cada tecnología, considerando la comparación entre ellas. Por lo tanto, estos términos deben ser usados como valores referenciales y no como definitivos en un análisis en profundidad.

Características	Estación de monitoreo	Teledetección	Metagenómica
Precisión	Depende del sensor que se utilice	Baja	Alta
Variedad de parámetros	Alta (mide parámetros físicos y químicos)	Depende de los datos que proporcione el satélite	Media (mide todo aquello que tenga ADN)
Costos de implementación	Alto	Bajo	Medio
Requerimiento de conocimientos técnicos	Medio	Medio	Alto
Área de estudio de la tecnología	Baja: Mide punto específico	Alta: Mide un sector	Baja: Mide punto específico

Ilustración 17: Cuadro resumen características de Tecnologías de monitoreo.

7. ANEXO

7.1. Glosario

A continuación, se presenta una recopilación de términos y conceptos utilizados en esta guía, con sus respectivas definiciones para facilitar la comprensión de los análisis realizados en el texto.

Estas palabras se encuentran ordenadas de forma alfabética.

A.

Antibióticos: Sustancia química producida por un ser vivo o derivado sintético, que mata o impide el crecimiento de ciertas clases de microorganismos sensibles.

Antropogénico: Perteneciente o relativo a lo que procede de los seres humanos que, en particular, tiene efectos sobre la naturaleza.

Autoclave: Recipiente de presión metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión para realizar una reacción industrial, una cocción o una esterilización con vapor de agua a fin de esterilizar materiales e instrumentos quirúrgicos.

B.

Bacteria: Organismo microscópico unicelular, carente de núcleo, que se multiplica por división celular sencilla o por esporas.

Bacteria Ambiental: Son aquellas bacterias que se encuentran netamente en vida silvestre, donde mantienen un equilibrio en el ecosistema, ya sea en ambientes acuáticos o en el suelo y que no han sido manipuladas o que procedan desde los seres humanos.

C.

Cal: Sustancia alcalina constituida por óxido de calcio, permite ablandar el agua, purificarla, eliminar su turbiedad, neutralizar la acidez, eliminar impurezas, entre otros.

Cianobacterias: División a la que pertenecen los organismos procariotas unicelulares fotosintéticos que carecen de núcleo definido u otras estructuras celulares especializadas.

Clorofila: Pigmento de color verde que se halla presente en las hojas y tallos de muchas plantas y vegetales, el cual, es responsable del proceso de la fotosíntesis.

Cuerpos lacustres: Se conoce como lacustre a todo lo que guarda relación con un lago. Puede tratarse de una cosa o persona que se encuentra o que realiza algo en un lago o a orillas de él.

D.

Degradar: Capacidad de un material de ser biodegradado. Es un proceso natural en el que un material por acción biológica cambia, perdiendo sus propiedades originales, pasando por un proceso que a nivel molecular se convierte en formas más simples y estables.

DNA: Sigla internacional del *ADN* (ácido desoxirribonucleico), el cual, se encuentra en el núcleo de las células y es el principal constituyente del material genético de los seres vivos y de las bacterias.

DNA Ambiental: También denominado como "*environmental DNA, eDNA*" al ADN extraído de una muestra del ambiente (por ejemplo, una muestra desde el suelo, agua, heces, etc.) del cual se le realizan análisis moleculares de ADN son diferenciarlo por organismo, conteniendo típicamente el ADN de múltiples especies, aunque este muchas veces se encuentre degradado.

E.

Ecosistema: Sistema biológico constituido por una comunidad de seres vivos y el medio natural en que viven.

Enzimas: Proteína soluble producida por las células del organismo, que favorece y regula las reacciones químicas en los seres vivos.

Estéril: Sustancia, material, superficie o lugar, el cual se encuentra libre de gérmenes.

Estado sanitario del agua: La garantía sanitaria y la aptitud para el consumo implican que el agua está libre de cualquier contaminante perjudicial para la salud.

F.

Fondeo: En náutica, la acción de fondear consiste en amarrar la embarcación al fondo marino, o lacustre mediante un cabo o cadena, ya sea utilizando un ancla o un muerto. Un fondeo con muerto y boya es un dispositivo permanente que permite fondear una embarcación de forma segura.

Freático: Que está acumulado en el subsuelo sobre una capa impermeable y puede aprovecharse mediante pozos.

G.

Ganadería: Cría de ganado para su exportación y comercio.

Gel pack: Un paquete de hielo o paquete de gel es un saco plástico de hielo, o de refrigerante en gel o de medio líquido, el cual es de carácter no tóxico y pueden absorber una cantidad considerable de calor, manteniendo las muestras en una temperatura óptima.

GPRS: Significa General Packet Radio Service (servicio general de paquetes vía radio) y es una extensión mejorada del GSM. Permite la mensajería instantánea, los servicios de mensajes cortos (SMS) y multimedia (MMS) y de correo electrónico y que estemos "siempre conectados", entre otras cosas.

H.

Humedal: Zona de tierra, generalmente plana, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitente. Al cubrirse regularmente de agua, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y da lugar a un ecosistema hídrico entre los puramente acuáticos y los terrestres.

Hongos: Grupo de organismos eucariotas entre los que se encuentran los mohos, las levaduras y los organismos productores de setas. Están clasificados en un reino distinto al de las plantas, animales y protistas.

M.

Metagenómica: Se define como el estudio del material genético o ADN, el cual es obtenido directamente de muestras ambientales o de la microbiota de algún organismo. Este amplio campo también puede ser conocido como genómica ambiental, ecogenómica o genómica de la comunidad.

Microbiología tradicional: Es la ciencia encargada del estudio y análisis de los microorganismos, también conocidos como microbios, se dedica a estudiar a los organismos que son sólo visibles a través del microscopio.

Microbiota: El término microbiota hace referencia a la comunidad de microorganismos vivos residentes en un nicho ecológico determinado.

N.

NH₄: El amonio es un compuesto inorgánico de nitrógeno que se forma en las depuradoras durante la degradación biológica de compuestos orgánicos de nitrógeno. En presencia de oxígeno el amonio se puede convertir en nitrato (nitrificación).

NO₂: El dióxido de nitrógeno, es un compuesto químico formado por los elementos nitrógeno y oxígeno, uno de los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno.

NO₃: El nitrato es un compuesto de nitrógeno que se forma en el agua residual al convertirse el amonio en nitrato a través del nitrito (nitrificación). El nitrato es uno de los principales nutrientes de la naturaleza.

Nutrientes: Son compuestos químicos contenidos generalmente en los alimentos que aportan a las células todo lo que necesitan para vivir o bien en son las sustancias necesarias para mantener un ambiente.

O.

Organismos unicelulares: Los organismos unicelulares o microorganismos son seres vivos diminutos que no son visibles al ojo humano salvo bajo un microscopio, tales como organismos procariotas y eucariotas.

P.

PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

PO₄: El fosfato es un mineral necesario para la formación de los huesos y los dientes. De hecho, los huesos contienen alrededor del 85% del fosfato presente en nuestro organismo. El resto está, principalmente, en el interior de las células, interviniendo en la estructura celular, transporte y almacenamiento de energía.

Pluvial: De la lluvia o relacionado con ella.

Presión negativa: La presión subatmosférica, que también se conoce como presión negativa, es una denominación que se emplea para describir una presión inferior a la presión atmosférica normal.

Proliferar: Cuando un organismo vivo tiende a reproducirse, en especial las células por división celular.

Programa Python: Es un tipo de lenguaje de alto nivel de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código, además se utiliza para el desarrollo de aplicaciones de todo tipo, tales como Instagram, Netflix, entre otros.

R.

R software: R es un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico. R nació como una reimplementación de software libre del lenguaje S, adicionado con soporte para ámbito estático.

Rutas metabólicas: Sucesión de reacciones químicas donde un sustrato inicial se transforma y da lugar a productos finales, a través de una serie de metabolitos intermediarios.

S.

Salmonicultura: La salmonicultura es una rama de la acuicultura enfocada a la producción de peces de la familia salmonidae o peces salmoniformes, tanto truchas como salmones.

Satélite: Aparato puesto en órbita alrededor de la Tierra con fines científicos, militares o para las comunicaciones.

Sensor: Dispositivo que capta magnitudes físicas (variaciones de luz, temperatura, sonido, etc.) u otras alteraciones de su entorno.

Sustancias nocivas: Son elementos químicos, compuestos o sustancias que presentan algún riesgo para la salud, la seguridad o el medio ambiente.

Shotgun metagenomics: Es una técnica de laboratorio para determinar la secuencia del ADN del genoma de un organismo.

T.

Taxonomía: Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales.

Temperatura: La temperatura es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

Territorio marítimo: Sector del océano en el que un Estado ejerce plena soberanía, de igual forma que en las aguas interiores de su territorio.

Turbidez: Medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez.

V.

Virus: Agente infeccioso microscópico acelular que solo puede replicarse dentro de las células de otros organismos. Los virus están constituidos por genes que contienen ácidos nucleicos que forman moléculas largas de ADN o ARN, rodeadas de proteínas.

W.

Wireless Personal Area Network: incluye redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos, como impresoras, teléfonos móviles, electrodomésticos o asistentes personales digitales (PDA) a un ordenador sin utilizar cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos.