

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**  
**Casilla 1020. Valparaíso, Chile**



**PROYECTO FIP N° 2014-77**

**“MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA  
RESOLUCION APLICADAS A LAS LABORES DE EXPLORACION DEL BORDE  
COSTERO Y CUERPOS DE AGUA DONDE SE DESARROLLE LA ACTIVIDAD DE  
ACUICULTURA (FASE II)”**

**INFORME FINAL (Corregido)**

**Valparaíso, 29 Febrero de 2016**



TITULO DEL PROYECTO	: Manejo e Interpretación de Imágenes Satelitales de Alta Resolución Aplicadas a las Labores de Exploración del Borde Costero y Cuerpos de Agua donde se Desarrolle la Actividad de Acuicultura (Fase II).
REQUIRENTE	: Consejo del Fondo de Investigación Pesquera Proyecto FIP N° 2014-77
UNIDAD EJECUTORA	: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Escuela de Ciencias del Mar. Facultad de Recursos Naturales. Avda. Altamirano 1480, Valparaíso, Chile
JEFE DE PROYECTO	: Claudio Silva Gallinato Escuela de Ciencias del Mar Fono (56) (32) 274250 Fax (56) (32) 274208 E-mail: claudio.silva@pucv.cl

## **EQUIPO DE TRABAJO**

### **Investigadores**

Claudio Silva - Jefe de Proyecto, Percepción remota y SIG en ciencias del mar y ambientales

Eleuterio Yáñez - Modelos SIG

Viviana Vargas - Percepción remota y SIG

### **Co-investigadores**

Jaime Aguilera - Percepción remota y SIG

José Lastra - Modelación y geodatabase SIG

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente Informe Final del Proyecto FIP N°2014-77 “Manejo e Interpretación de Imágenes Satelitales de Alta Resolución Aplicadas a las Labores de Exploración del Borde Costero y Cuerpos de Agua donde se Desarrolle la Actividad de Acuicultura (Fase II)”, contiene los resultados y actividades que dan cuenta de los objetivos específicos estipulados en los Términos Básicos de Referencia y a la planificación incluida en la Oferta Técnica del proyecto.

En primer lugar, se obtuvieron de SUBPESCA los Barrios de interés en formato \*.KMZ, correspondientes a 14 sectores de la Xa región de Los Lagos y XIa región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Este archivo \*.kmz fue convertido a formato shape (.shp) en el software ArcGis 10.2. Además, se obtuvo de SUBPESCA el shape de las concesiones de salmones de las dos regiones. Una vez conocidas las zonas se procedió a adquirir las imágenes considerando los polígonos de los barrios de interés, aquellas imágenes de fecha más actual y que contengan una baja (< 5%) cobertura de nubes. Se seleccionaron y adquirieron 3 imágenes Landsat 8 OLI/TIRS que abarcan las zonas de interés y que fueron captadas el 18 de junio de 2014 y 21 enero de 2015. Las imágenes (pancromático y multiespectral) en formato \*.TIF fueron importadas al software ENVI y georreferenciadas de UTM 18N a UTM Zona 18S que es el sistema de referencia de la base cartográfica de la División de Acuicultura.

Se generaron productos de imágenes satelitales y mapas temáticos de acuerdo a necesidades existentes en la División de Acuicultura, en especial y prioritariamente se desarrolló un producto para la identificación de estructuras de acuicultura (balsas jaulas, línea de cultivo, pontones, muelles, etc.). Una vez importadas y georreferenciadas las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS en ENVI se aplicó una transformación de las imágenes con una fusión o image pan-sharpening entre las imágenes multiespectrales y las pancromáticas. Se aplicó el modelo Gram-Schmidt Spectral Sharpening y el método de Low Resolution Pan llamado "Average of Low Resolution Multispectral File" con un método de remuestreo (resampling) del tipo Bilineal.

Las imágenes multiespectrales pan-sharpening generadas fueron desplegadas en ENVI como Color Natural (Banda azul (0,45 – 0,51  $\mu\text{m}$ )) para R (canal rojo), Band 2 (Banda verde (0,53 – 0,59  $\mu\text{m}$ )) para G (canal verde) y Band 3 (Banda roja (0,64 – 0,67  $\mu\text{m}$ )) para B (canal azul), y se aplicaron diversos realces y contrastes de la imagen con el fin de poder tener el mejor producto para discriminar las estructuras de acuicultura, líneas de costa y otros patrones de interés. Cada imagen multiespectral pan-

sharpening generadas y desplegadas como composición de Color Natural con realces fueron recortadas (Clip Raster) por Barrio de interés y guardadas en formato GeoTIF (\*.TIF). Para la identificación de estructuras de acuicultura se elaboraron mapas temáticos en ArcGIS 10.2 para cada uno de los Barrios de interés. Para identificar las diversas estructuras de acuicultura basta con un análisis visual de las imágenes pan-sharpening de los Barrios de interés, ya sea directo en pantalla con el programa ENVI o imprimiendo los mapas temáticos, y esto sumado al juicio experto de los profesionales. Se realiza un análisis visual detallado de la superposición del polígono de concesiones sobre las imágenes multiespectrales pan-sharp, obteniéndose tablas de datos por barrio con los siguientes campos: barrio, número de la concesión, número de estructuras de cultivo, dimensiones (m\*m) del área de estructura, tipo de estructura (balsa jaula cuadrada o balsa jaula circular), tamaño jaula (m), configuración número de jaulas\* número de jaulas, estructura posicionada dentro o fuera de concesión y observaciones. En total se identificaron 222 estructuras de cultivo en los 16 barrios (2, 3a, 3b, 4a, 6, 8, 9a, 9b, 9c, 10a, 10b, 17a, 17b, 25a, 25b y 27). Como síntesis de resultados sobre el número de estructuras de cultivo por barrio se obtiene que el Barrio 2 es el que tiene más estructuras de cultivo con un total de 41, mientras que el Barrio 25b es el que menos tiene con sólo una estructura de cultivo.

Se estimaron parámetros ambientales de las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS usando el software ENVI, para ello se desarrollaron las siguientes etapas de procesamiento: calibración a radianza espectral, corrección atmosférica y cálculo de reflectancia espectral con el módulo FLAASH de ENVI, generación de batimetría de Landsat8, estimación de la temperatura superficial de brillo y absoluta y estimación de la concentración de clorofila Landsat 8 OLI/TIRS.

En la etapa de levantamiento de información para la generación de bases de datos de indicadores ecosistémicos necesarios para la identificación de sitios aptos para la acuicultura, se adquirieron y procesaron imágenes multiespectrales de sensores MODIS y VIIRS diarias del año 2012 con una resolución espacial de 1 km. En total se adquirieron y procesaron 148 imágenes diarias MODIS y 165 VIIRS. Con estas imágenes diarias se hacen composiciones mensuales y luego promedios estacionales de la temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila-*a* (Cloa), carbono orgánico particulado y carbono inorgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generadas con datos del sensor MODIS y VIIRS. Adicionalmente, se usan imágenes de materia total particulada (mg/L) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2011 generada con datos del sensor MERIS. Con Spatial Analyst de ArcGIS 10 se realiza una comparación entre la información de clorofila satelital MODIS y VIIRS con datos de muestreos *in situ*, con el objetivo de validar la información

satelital. Para ello se cuenta con los datos de clorofila *in situ* integrada a 0-10 y 10-20 metros de profundidad proveniente de 88 estaciones de muestreo oceanográfico, todas pertenecientes al Programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas que ejecuta el Instituto de Fomento Pesquero y administra la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Se valida la información satelital mediante un ajuste lineal en un gráfico de dispersión, obteniéndose como resultado que la mejor relación es entre la clorofila satelital y la clorofila a 0-10 m, obteniéndose un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,79$  para un N igual a 66 observaciones.

Las imágenes fueron procesadas y se generaron archivo resultantes del Gram-Schmidt Spectral Sharpening con extensión \*.TIF, los cuales fueron entregados en un DVD junto al primer informe de avance del proyecto. Adicionalmente, se almacenan y entregan a SUBPESCA adjunto al presente Informe Final las imágenes satelitales en una Geodatabase (GDB) de archivo de ArcGIS 10 donde están las imágenes pan-sharp como raster dataset de los distintos Barrios en estudio y variables ambientales como batimetría, clorofila y temperatura superficial del mar. Se estructura y genera la Geodatabase de archivo **Imag-fip2014-77.gdb** donde se almacenan como raster dataset las diversas imágenes y productos satelitales. Los raster dataset de los Barrios (por ejemplo barrio2\_pansharp) se visualizan en ArcGIS del modo RGB donde la Banda 1 es Red (R), Banda 2 es Green (G) y Banda 3 es Blue (B). Para visualizar de forma correcta la batimetría Chiloé GEBCO08 (batim\_chiloe\_gebco08), batimetría absoluta LANDSAT8 (LC82330902013358LGN00\_reflect\_bathy\_absolute\_calib), clorofila LANDSAT8 (LC82330902013358LGN00\_ratio\_clorofila) y temperatura superficial del mar LANDSAT8 se deben cargar respectivamente las simbologías batimetría-gebco.lyr, batim-landsat.lyr, clorofila.lyr y temperatura.lyr. Cabe destacar que se entrega a Subpesca la Geodatabase y la carpeta con las simbologías.

Se adquirieron 2 licencias flotantes del software ENVI 5.1 para interpretación y procesamiento digitales de imágenes satelitales para la gestión territorial de la acuicultura y de estudios medio ambientales. El software fue adquirido el 17 de abril de 2015 y éste fue entregado a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Piso 21 oficina FIP) el 21 de abril.

Se identificaron sitios aptos para la acuicultura mono-específica (cultivo de ostra japonesa) y multitrófica (cultivo de salmón atlántico + ostra japonesa), capacidades de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales y de otras fuentes de información siguiendo la metodología desarrollada por Silva et al. (2011 y 2012a). En primer lugar, se desarrolló el levantamiento de información de los indicadores

ecosistémicos (TSM, Cloa, carbono orgánico particulado y carbono inorgánico particulado) determinados de imágenes satelitales y complementados con la información de batimetría satelital GEBCO08, salinidad del modelo hidrodinámico HYCOM, oxígeno disuelto del World Ocean Atlas 2013 y Silva (2013 y 2014) y magnitud de corrientes ( $m s^{-1}$ ) obtenidas del modelo hidrodinámico HYCOM. Se generó una Tabla resumen con las características (fuentes datos, rango de valores de datos, metodo muestreo, criterio, Rango Aptitud por Factor [RAF], valor del RAF y fuente del RAF) de los datos de indicadores ecosistémicos usados como entrada para el modelo de selección de sitios de cultivo. En el modelo multivariado para la selección de sitios aptos en primer lugar se estimó la aptitud para el cultivo de ostra japonesa aplicando una evaluación de multicriterios. Se generó un diagrama que resume el enfoque de evaluación multicriterios (MCE) y los resultados obtenidos como mapas de aptitud de acuerdo a criterios de: a) zonas aptas por ley; b) áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos; c) aptitud física; y d) crecimiento y sobrevivencia; y e) mapa de aptitud final derivado de la evaluación multicriterios. Como resultado se obtiene que las áreas aptas cubren parte de los Barrios 2 (Seno Reloncaví), 3b (Estero Huito, Isla Puluqui), 4a (Río Maullín), 6 (Bahía Manao y Bahía Hueihue), 8 (Islas Chauques), 9b (Isla Meulín, Isla Querac, Isla Caguache), 9c (Isla Alao, Isla Apiao, Isla Chaulinec), 10b (Canal Lemuy), 17a (Estero Comau) y 17b (Isla Pelada, Isla Llancahue).

Para la selección de sitios, los diez barrios (2, 3b, 4a, 6, 8, 9b, 9c, 10b, 17a y 17b) que contienen áreas aptas se utilizaron en un análisis detallado de la producción, salidas socio-económicas y efectos ambientales aplicando el modelo de capacidad de carga FARM. Utilizando la imagen de áreas aptas de barrios y mediante procesos de superposición con ArcGIS se extraen los valores ambientales (temperatura, salinidad, clorofila *a*, carbono orgánico particulado, material particulado total y oxígeno disuelto) de las imágenes de la base datos espacio-temporal de indicadores ecosistémicos. En cada uno de los 10 barrios se selecciona un sitio apto para modelar la capacidad de carga bajo dos escenarios: cultivo mono-específico (ostra japonesa) y multitrófico (salmón atlántico + ostra japonesa). Con el fin de hacer un estudio comparativo, en cada sitio apto por barrio se utiliza el mismo diseño de concesión, estructuras de cultivo y parámetros de cultivo de ostra japonesa, esto es: densidad de semilla estándar de  $100 \text{ ind } m^{-2}$ , superficie o área de concesión test (prueba) de 10 ha ( $500 \text{ m} * 200 \text{ m}$ ), peso de semilla de 1,2 g, precio de semilla de  $1.000 \text{ \$ } kg^{-1}$  ([www.cultimar.cl](http://www.cultimar.cl)), peso de cosecha de 90 g, mortalidad natural de  $35 \text{ \% } año^{-1}$ , precio venta de  $2.500 \text{ \$ } kg^{-1}$ . Se usa un período estándar de 395 días de cultivo para ver el efecto de las variables ambientales en la producción del cultivo. Para el escenario de acuicultura multitrófica integrada (AMTI) se usa el mismo diseño de concesión, estructuras de cultivo y parámetros de cultivo de ostra japonesa, y para salmón atlántico se usa una cantidad de alimento por salmón por día

de 25 gr/pez/día, porcentaje de pérdida de alimento de 10 %/día, número de jaulas de 15 y una densidad de 1.000 peces por jaula.

Respecto a los resultados de la modelación de la capacidad de carga, se observa una alta variabilidad espacial en el crecimiento alcanzado por las ostras, destacándose los altos valores (> 8 cm) alcanzados en los sitios aptos de los barrios 2, 4a, 8 y 17a, mientras que en los barrios 9c, 10b y 9b se simulan bajos tamaños individuales (< 5 cm). Bajo un escenario AMTI se observa un aumento y favorecimiento en el crecimiento de las ostras en todos los barrios debido al aporte de nutrientes orgánicos desde el cultivo de salmones, destacándose el alto crecimiento obtenido en el barrio 2 con 12,3 cm y por el contrario se simula un bajo tamaño en el barrio 9c con 3,6 cm de longitud alcanzada. Se observa una alta variabilidad espacial en la producción o producto físico total de los sitios aptos de cultivo de ostra por barrio, destacándose los altos valores (> 500 ton) alcanzados en los sitios aptos de los barrios 2 y 4a, mientras que en los barrios 9c, 10b y 9b y debido a que no se alcanza el tamaño de cosecha se simulan producciones nulas. Bajo un escenario de acuicultura multitrófica (salmón atlántico + ostra japonesa) AMTI se observa un aumento y favorecimiento en la producción del cultivo de ostras en todos los barrios debido al aporte de nutrientes orgánicos desde el cultivo de salmones, destacándose el alto crecimiento obtenido en el barrio 2 con 633,9 ton y por el contrario se simula una producción nula en los barrios 9c y 10b. Desde el punto de vista del análisis socio-económico, el sitio del barrio 2 obtiene el mayor beneficio de la cosecha con alrededor de 2.206.500 US\$. A esta densidad el PFM = 28,8, lo que indica que la biomasa cosechable ha terminado 29x la biomasa de la semilla. En un escenario de cultivo multitrófico AMTI los beneficios aumentan a 2.432.500 US\$ y el PFM a 31,7.

Respecto al impacto ambiental de los cultivos de ostra japonesa y como ejemplo, podemos afirmar que la sedimentación en el sitio del Barrio 2 del Seno Reloncaví a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,18 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,18 \text{ mm y}^{-1}$ . La tasa efectiva de enriquecimiento orgánico del sedimento debido al cultivo es un valor bajo de aproximadamente 1,1%, teniendo en cuenta que no hay factores de mitigación. En un escenario de cultivo multitrófico se observa un aumento en la deposición bruta a  $3,24 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado, en la acumulación de sedimentos a  $3,28 \text{ mm y}^{-1}$  lo que se traduce en una tasa de enriquecimiento orgánico del sedimento de 4,5%.

Los resultados de la aplicación del modelo ASSETS implementado en FARM proporcionan un indicador de la eutroficación a escala local para los sitios potenciales de cultivo de ostras. El valor del indicador

de la eutrofización muestra una variabilidad espacial en los centros de cultivo de ostras y AMTI en los barrios de interés, alcanzando valores de calidad de agua buena (3b, 9c, 10b, 17a y 17b), moderada (2, 4a y 8) y pobre (6 y 9b). Cabe señalar, que para todos los sitios evaluados con distintos estados de la calidad del agua entrante, y a la densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) utilizada no hay un efecto positivo (reducción clorofila) sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

Con el objeto instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar la información proveniente de imágenes satelitales, se realizaron dos reuniones con los responsables de la Unidad de Ordenamiento Territorial de SUBPESCA para la coordinación del curso de capacitación. En base a los acuerdos emanados de las reuniones de coordinación, se elaboró una propuesta mejorada del Programa y Contenidos del curso de capacitación como así también del horario y fechas tentativas. El curso se compone de 8 unidades temáticas repartidas en 13 semanas con clases los días lunes o miércoles o viernes en la mañana. El curso de capacitación se realizó de forma exitosa entre el viernes 12 de junio y el viernes 11 de septiembre. El curso es apoyado con el Aula Virtual de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (<http://fc.aulavirtualpucv.cl/>) para potenciar las prácticas educativas y los procesos de enseñanza y aprendizaje con el uso de tecnologías TICs con el objetivo de incorporar espacios virtuales como apoyo al curso de capacitación y como una garantía de soporte por 3 meses después de terminado el proyecto. El curso fue debidamente inscrito como Actividad de Extensión Académica (AEA) de la PUCV para obtener la certificación, se solicitó autorización AEA la cual fue otorgada en Resolución N°118/2015 la cual autoriza a la Escuela de Ciencias del Mar a impartir el curso "MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II". Actualmente está en proceso de cierre y certificación en la AEA. Se elaboró el Manual de Capacitación del curso el cual se entrega adjunto (en formato PDF) al presente Informe Final.

## EXECUTIVE SUMMARY

This Final Project Report FIP N°2014-77 "Management and Interpretation of High Resolution Satellite Imagery Applied to Work Exploration of Coastal Area and Water Bodies where Aquaculture Operation Develop (Phase II)" contains the results and activities that account for the specific objectives set out in the Basic Terms of Reference and planning included in the Technical Offer of the project.

First, the Barrios (Districts or Areas) of interest vectors in \*.kmz format were obtained from Undersecretary of Fisheries (SUBPESCA), covering 14 sectors of the Xa region (Los Lagos) and XIa region (Aysén of General Carlos Ibáñez del Campo). These files were converted to shape (.shp) format in ArcGIS 10.2 software. In addition, the polygons shape (.shp) of salmon concessions of the two regions was obtained from SUBPESCA. Once we know the areas of interest we proceeded to acquire the satellite images considering the polygons of Barrios of interest, considering those images over current date and containing a low (<5%) cloud cover. Three Landsat 8 OLI / TIRS images covering the areas of interest were selected and purchased; these images were captured on 18 June 2014 and 21 January 2015. The raw images (panchromatic and multispectral) in \*.TIF format were imported into ENVI 5.1 software and georeferenced from UTM 18N to UTM 18S which is the reference system of the cartographic database of the Aquaculture Division of SUBPESCA.

Satellite images and thematic maps products were generated according to existing needs in the Aquaculture Division of SUBPESCA, especially and as a priority a marine spatial product for identifying aquaculture structures (net cages, long-line, pontoons, etc.) was developed. Once imported and georeferenced the Landsat 8 images OLI / TIRS to ENVI, an image transformation with fusion or image pan-sharpening between panchromatic and multispectral images were applied. The Gram-Schmidt Spectral Sharpening model and the Low Resolution Pan method called "Average of Low Resolution Multispectral File" with a bilinear resampling method were applied.

The pan-sharpening multispectral images generated were displayed in ENVI as Natural Color (Band 1 (Blue band (0.45 to 0.51 microns)) to R (red channel), Band 2 (green band (from 0.53 to 0.59 microns)) to G (green channel) and Band 3 (Red band (0.64 to 0.67 microns)) to B (blue channel)), and various image enhancements and contrasts were applied in order to have the best product to discriminate aquaculture structures, shorelines and other patterns of interest. Each pan-sharpening multispectral image generated and displayed as natural colour composition with enhancements were cut (Clip Raster) by Barrio of interest and stored in GeoTIF format (\*.tif). For the identification of aquaculture structures

thematic maps were developed in ArcGIS 10.2 for each of the Barrios of interest. To identify the various structures of aquaculture just is needed a visual analysis of the pan-sharpening images of the Barrios of interest, either directly on screen with ENVI or printing thematic maps, and this added to the expert judgement of professionals. A detailed visual analysis of salmon concessions polygons overlaid on multispectral pan-sharp images is performed, obtaining data tables by Barrios with the following variables: barrio, number of concession, number of aquaculture structures, dimensions (m\*m) of aquaculture structure area, type of structure (square net cage or circular net cage), net cage size (m\*m), configuration of number of net cages\* number of net cages, culture structure positioned inside or outside concession and observations. A total of 222 aquaculture structures in the 16 Barrios (2, 3a, 3b, 4a, 6, 8, 9a, 9b, 9c, 10a, 10b, 17a, 17b, 25a, 25b and 27) were identified. As a summary of results on the number of aquaculture structures obtained by Barrio, it was found that Barrio 2 has a greater number of structures with a total of 41, while the Barrio 25b has fewer numbers of structures with only one.

Environmental parameters from satellite images were estimated using ENVI software, for which the following processing steps were developed: spectral radiance calibration, atmospheric correction and calculation of spectral reflectance with FLAASH ENVI module, Landsat8 bathymetry generation, estimation of brightness and absolute surface temperature and estimation of Landsat 8 OLI / TIRS chlorophyll concentration.

MODIS and VIIRS daily multispectral images of 2012 with a spatial resolution of 1 km, were acquired and processed at the stage of gathering information for the generation of ecosystem indicators databases needed to identify suitable sites for aquaculture. A total of 148 MODIS and 165 VIIRS images were acquired and processed. Monthly and seasonal composites are made with sea surface temperature (SST), chlorophyll-a (Cloa), particulate organic carbon and particulate inorganic carbon for summer, autumn, winter and spring of 2012, generated with VIIRS and MODIS data sensor. Additionally, images of total particulate matter (mg / L) during summer, autumn, winter and spring of 2011 generated from MERIS sensor data are used. With ArcGIS Spatial Analyst 10 a comparison between MODIS and VIIRS chlorophyll data and *in situ* sampling chlorophyll in order to validate the satellite data is performed. To do this, the *in situ* chlorophyll integrated at 0-10 and 10-20 meters deep from 88 oceanographic sampling stations were used. Satellite information is validated by a linear fit on a scatter plot, resulting that the best relationship is between satellite chlorophyll and chlorophyll a at 0-10 m, giving a coefficient of determination of  $R^2 = 0.79$  for N equal to 66 observations.

The images were processed and file resulting from the Gram-Schmidt Spectral Sharpening with \* .TIF format were generated and delivered to SUBPESCA in a DVD with the first progress report of the project. Additionally, the satellite images were stored in a file Geodatabase (GDB) of ArcGIS 10, where the pan-sharp and environmental variables (bathymetry, chlorophyll and sea surface temperature of the Barrios of interest are stored as raster dataset. The GDB is delivered to SUBPESCA and attached to this Final Report satellite images. It was structured and generated a file geodatabase **Imag-fip2014-77.gdb**, where raster dataset is stored as the various satellite imagery and products. The raster dataset of Barrios (e.g. barrio2\_pansharp) are displayed in RGB mode where ArcGIS Band 1 is Red (R), Band 2 is Green (G) and Band 3 is Blue (B). To display correctly the GEBCO08 Chiloé bathymetry (batim\_chiloe\_gebco08), LANDSAT8 absolute bathymetry (LC82330902013358LGN00\_reflect\_bathy\_absolute\_calib), LANDSAT8 chlorophyll (LC82330902013358LGN00\_ratio\_clorofila) and LANDSAT8 sea surface temperature should be load using, respectively, the symbologies batimetria-gebco.lyr, batim-landsat.lyr, clorofila.lyr and temperatura.lyr. Notably, the Geodatabase and symbologies folder are delivered to Subpesca.

2 floating licenses of ENVI 5.1 software for interpretation and digital processing of satellite images for the land management of aquaculture and environmental studies were acquired. The software was acquired on April 17, 2015 and it was delivered on 21 April to SUBPESCA (21 floor, FIP office).

Suitable sites for mono-specific (cultivation of Japanese oyster) and multi-trophic (cultivation of Atlantic salmon + Japanese oyster) aquaculture, carrying capacity and environmental impact through the use of satellite images and other information sources were identified using the methodology developed by Silva et al. (2011 and 2012a). First, the gathering of information of ecosystem indicators (SST, Cloa, particulate organic carbon and particulate inorganic carbon) derived from satellite imagery and complemented with information from GEBCO08 satellite bathymetry, salinity from HYCOM hydrodynamic model, dissolved oxygen from the World Ocean Atlas 2013 and Silva (2013 and 2014) and current magnitude (m s<sup>-1</sup>) obtained from HYCOM. A summary table with the characteristics (data sources, range of data values, sampling method, criteria, Suitability Factor Range [SFR], SFR value and SFR source) ecosystem data indicators used as input to the generated aquaculture site selection model. In the multivariate model for the selection of suitable sites in a first stage the suitability for Japanese oyster cultivation by applying a multi-criteria assessment was estimated. A diagram summarizing the multicriteria evaluation (MCE) approach and the results obtained as suitability maps according to criteria generated: a) suitable aquaculture areas by law; b) management areas and exploitation of benthic

resources; c) physical suitability; and d) growth and survival; e) final suitability map derived from the multicriteria evaluation. As a result, the suitable areas cover part of ten Barrios: 2 (Seno Reloncaví), 3b (Estero Huito, Puluqui Island), 4a (Maullín River), 6 (Manao Bay and Bay Hueihue), 8 (Chauques Islands), 9b (Meulin Island, Querac Island, and Caguache Island), 9c (Alao Island, Apiao Island, and Chaulinec Island), 10b (Lemuy Canal), 17a (Estero Comau) and 17b (Barren Island, Falkland Islands, Llancahue Island).

For site selection, the ten Barrios (2, 3b, 4a, 6, 8, 9b, 9c, 10b, 17a and 17b) containing suitable areas were used in a detailed analysis of production, socio-economic outputs and environmental effects applying the FARM carrying capacity model. Using the image of suitable areas of Barrios and through ArcGIS overlay processes it extracted environmental values (temperature, salinity, chlorophyll a, particulate organic carbon, total particulate material, and dissolved oxygen) from the images of the ecosystem indicators spatiotemporal database. A suitable site is selected in each of the 10 Barrios to model the carrying capacity under two scenarios: mono-specific culture (Japanese oyster) and multi-trophic (Atlantic salmon + Japanese oyster). In order to make a comparative study, at each suitable site by Barrio the same concession design, culture structures and parameters of Japanese oyster cultivation is used, namely: standard seed density of 100 ind m<sup>-2</sup>, surface or concession area test (test) 10 has (500 m \* 200 m), weight 1.2 g seed, seed price \$ 1,000 kg<sup>-1</sup> ([www.cultimar.cl](http://www.cultimar.cl)) harvest weight of 90 g, natural mortality of 35% yr<sup>-1</sup>, selling price \$ 2,500 kg<sup>-1</sup>. A standard period of 395 days of culture is used to see the effect of environmental variables on culture production. For the scenario of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) the same concession design, culture structures and parameters of Japanese oyster cultivation is used, and for Atlantic salmon an amount of feed used for salmon per day of 25 g/fish/day, percentage of food loss of 10%/day, number of net cages equal to 15 and a density of 1,000 fish per cage.

Regarding the results of the carrying capacity modelling, a high spatial variability was observed in the growth achieved by oysters, especially the high values (> 8 cm) made in suitable sites of the Barrio's 2, 4a, 8 and 17a, while in the Barrios 9c, 9b and 10b lower individual sizes (<5 cm) are simulated. Under an IMTA scenario, a favouring and increase in growth in all the suitable sites due to the contribution of organic nutrients from salmon farming is observed, highlighting the high growth achieved in the Barrio 2 with 12.3 cm length and on the contrary is simulated a low size in the barrio 9c reaching 3.6 cm in length. A high spatial variability is observed in production or total physical product of suitable sites for oyster cultivation by barrio, highlighting the high values (> 500 ton) reached in suitable sites of barrios 2 and 4a, while in barrios 9c, 9b and 10b and because the size of harvest is not reached zero production

are simulated. Under a multi-trophic (Atlantic salmon + Japanese oyster) aquaculture scenario, a favouring and increase in the production and cultivation of oysters in all barrios due to the contribution of organic nutrients from salmon farming is observed, highlighting the high growth achieved in the barrio 2 with 633.9 tonnes and on the contrary in barrios 9b, 9c and 10b a zero production is simulated. From the point of view of socio-economic analysis, the site of barrio 2 gets the higher profit from harvest reaching around US \$ 2,206,500. At this culture density the PFM = 28.8, indicating that the harvestable biomass finished 29x of seed biomass. In an IMTA scenario, profits rise to US \$ 2,432,500 and the PFM to 31.7.

Regarding the environmental impacts of Japanese oyster aquaculture and as an example, sedimentation at the site of Barrio 2 at simulated stock densities would result in a gross deposition of about  $0.18 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  of particulate organic carbon and a sediment accumulation rate equivalent to  $0.18 \text{ mm y}^{-1}$ . The effective rate of sediment organic enrichment due to oyster cultivation is a low value of about 1.1%, considering that no mitigating factors. In an IMTA scenario an increase in the gross deposition to  $3.24 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  of particulate organic carbon and in the sediment accumulation rate to  $3.28 \text{ mm y}^{-1}$  resulting in a rate of sediment organic enrichment of 4.5%.

The results of ASSETS model application implemented in the FARM model provide an eutrophication indicator at local scale for potential oyster farming sites. The value of the eutrophication indicator shows a spatial variability among oyster and IMTA farms in the barrios of interest, reaching values of water quality status as good (barrios 3b, 9c, 10b, 17a and 17b), moderate (barrios 2, 4a and 8) and poor (barrios 6 and 9b). It is noteworthy that for all sites tested with different water quality states of the inflowing water quality, and at the culture density ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) used, there is no positive effect (reduction chlorophyll) on outflowing water quality.

In order to install the technical capabilities in professionals who will be responsible to manage and process information from satellite images, two meetings took place with people of Land Management Unit of SUBPESCA for the coordination of the training course. Based on the agreements reached at coordination meetings, an improved proposal of the Program and Contents of the training course as well as the tentative dates and schedule were developed. The course consists of 8 thematic units spread over 13 weeks with classes on Fridays morning (9:00 - 13:00). The training course was successfully conducted between Friday June 12 and Friday 11 September. The course is supported with the Virtual Classroom of the Pontifical Catholic University of Valparaiso (PUCV) located in the web server

<http://fc.aulavirtualpucv.cl/>, in order to improve educational practices, teaching and learning using Information and Communication Technologies (ICT) to incorporate virtual spaces to support the training course and as a guarantee for 3 months after completion of the project. The course was duly registered as an PUCV Activity of Academic Extension (AAE) for certification purpose and authorization was requested to AAE which was granted in Resolution No. 118/2015 which authorizes the School of Marine Sciences of PUCV to teach the course "Management and Interpretation of High Resolution Satellite Imagery Applied to Work Exploration of Coastal Area and Water Bodies where Aquaculture Operation Develop (Phase II)". Currently the course is in the process of closing and certification in the AAE. A Training Course Manual which is attached (PDF) to this Final Report was generated.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Área de estudio y enfoque metodológico del proyecto.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Objetivo específico i) Asesorar en la selección de tipos de imágenes satelitales aplicado a los intereses de la acuicultura orientada a la identificación de estructuras de cultivo como también de análisis y estudios ambientales tales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar, etc.....</b>	<b>7</b>
2.2.1. Imágenes LANDSAT .....	8
2.2.2. Imágenes MODIS, VIIRS y MERIS.....	12
2.2.3. Programa de adquisición, procesamiento y generación de productos de imágenes satelitales .....	15
2.2.3.1. Procedimiento para adquirir imágenes Landsat 8 .....	16
2.2.3.2. Procesamiento de imágenes Landsat 8 .....	17
2.2.3.3. Procedimiento para adquirir imágenes MODIS, VIIRS y MERIS .....	20
2.2.3.4. Procesamiento de las imágenes MODIS, VIIRS y MERIS .....	21
2.2.3.4.1. Uso de Herramientas de Spatial Analyst de ArcGIS 10.2 para la comparación de información satelital.....	22
2.2.3.5. Resumen de productos satelitales .....	24
2.2.4. Estructura de almacenamiento de las imágenes y productos satelitales entregados a Subpesca.....	25
2.2.5. Adquisición de licencias ENVI.....	25
<b>2.3. Objetivo específico ii) Identificar sitios aptos para la acuicultura, capacidades de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales.....</b>	<b>26</b>
2.3.1. Levantamiento de información para la generación de bases de datos de indicadores ecosistémicos.....	28
2.3.2. Modelo ecosistémico multivariado para la selección de sitios aptos para el cultivo de ostra japonesa ...	29
<b>2.4. Objetivo específico iii) Instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar la información proveniente de imágenes satelitales.....</b>	<b>33</b>
2.4.1. Infraestructura y equipos informáticos .....	33
2.4.2. Certificación del curso de capacitación .....	34
2.4.3. Programa tentativo del curso .....	34
2.4.4. Aula Virtual PUCV.....	34
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. Objetivo específico i) Asesorar en la selección de tipos de imágenes satelitales aplicado a los intereses de la acuicultura orientada a la identificación de estructuras de cultivo como también de análisis y estudios ambientales tales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar, etc.....</b>	<b>35</b>
3.1.1. Imágenes Landsat 8 OLI/TIRS .....	35
3.1.1.1. Identificación de estructuras de acuicultura.....	37
3.1.1.2. Estimación de parámetros ambientales de imágenes Landsat 8 OLI/TIRS .....	79
<b>3.1.1.2.1. Calibración a radianza espectral .....</b>	<b>79</b>
<b>3.1.1.2.2. Corrección atmosférica: estimación de reflectancia espectral .....</b>	<b>79</b>
<b>3.1.1.2.3. Generación de batimetría de Landsat 8 OLI/TIRS.....</b>	<b>83</b>
<b>3.1.1.2.4. Estimación de la temperatura superficial del mar de Landsat 8 OLI/TIRS .....</b>	<b>88</b>

3.1.1.2.5. Estimación de la concentración de clorofila Landsat 8 OLI/TIRS .....	91
3.1.2. Imágenes MODIS, VIIRS y MERIS.....	94
3.1.2.1. Spatial Analyst de ArcGIS 10 para la comparación de información in situ y satelital .....	100
3.1.3. Geodatabase de imágenes satelitales .....	102
3.1.4. Adquisición de licencias ENVI.....	104
<b>3.2. Objetivo específico ii) Identificar sitios aptos para la acuicultura, capacidades de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales.....</b>	<b>105</b>
3.2.1. Base de datos espacio-temporal de indicadores ecosistémicos .....	106
3.2.1.1. Restricciones legales.....	106
3.2.1.2. Factores de aptitud de cultivo .....	108
3.2.2. Modelo multivariado para la selección de sitios aptos.....	109
3.2.2.1. Aptitud para el cultivo de ostra japonesa aplicando evaluación de multicriterios .....	109
3.2.2.2. Capacidad de carga en los sitios seleccionados .....	112
3.2.2.2.1. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 2.....	114
3.2.2.2.2. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 3b.....	121
3.2.2.2.3. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 4a.....	124
3.2.2.2.4. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 6.....	127
3.2.2.2.5. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 8.....	130
3.2.2.2.6. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 9b.....	133
3.2.2.2.7. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 9c.....	136
3.2.2.2.8. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 10b.....	139
3.2.2.2.9. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 17a.....	142
3.2.2.2.10. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 17b.....	145
3.2.2.2.11. Análisis espacial de la capacidad de carga de los sitios aptos de los barrios .....	148
<b>3.3. Objetivo específico iii) Instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar la información proveniente de imágenes satelitales.....</b>	<b>150</b>
3.3.1. Programa y calendario definitivo del curso de capacitación.....	151
3.3.2. Aula Virtual .....	162
3.3.3. Certificación del curso .....	165
3.3.4. Manual del curso de capacitación.....	175
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>177</b>
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>185</b>
<b>ANEXO 1. ACTAS DE ACUERDO REUNIONES.....</b>	<b>189</b>
<b>ANEXO 2. CARTA TIMBRADA Y RECEPCIONADA DE ENTREGA DE IMÁGENES SATELITALES .....</b>	<b>194</b>
<b>ANEXO 3. FACTURA DE ADQUISICIÓN 2 LICENCIAS ENVI Y CARTA DE ENTREGA DEL DVD CON EL SOFTWARE ENVI 5.2 Y TIMBRE DE RECEPCIONADA POR SUBPESCA/FIP. ....</b>	<b>196</b>
<b>ANEXO 4. CONTROL DE ASISTENCIA CURSO.....</b>	<b>199</b>
<b>ANEXO 5. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD .....</b>	<b>213</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio del proyecto que muestra los polígonos y números de los barrios de interés en formato shape (*.shp) de ArcGIS 10.2. Fuente: Elaboración Propia, 2015.....	4
Figura 2. Diagrama que resume la metodología aplicada en los objetivos 1 y 2 del proyecto. AMERB: Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos; AAA: Áreas Aptas de Acuicultura; GEBCO08: General Bathymetric Chart of the Oceans; HYCOM: HYbrid Coordinate Ocean. .5	5
Figura 3. Identificación de estructuras de cultivo en la zona de Chiloé utilizando Imagen Landsat 8 del 21 de enero 2015, banda pancromática con una resolución espacial de 15 m. Fuente: Elaboración Propia, 2015. ....	11
Figura 4. Identificación de estructuras de cultivo en la zona de Chiloé utilizando Imagen Landsat 8 multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. Fuente: Elaboración Propia, 2015. ....	11
Figura 5. Ejemplo de imagen promedio de la temperatura superficial del mar (°C) durante verano de 2012 generada con datos del sensor MODIS. Fuente: Elaboración Propia, 2015. ...	14
Figura 6. Ejemplo de imagen promedio de la concentración de clorofila a (mg/m3) durante verano de 2012 generada con datos del sensor VIIRS. Fuente: Elaboración Propia, 2015.....	14
Figura 7. Visualizador de imágenes satelitales USGS EarthExplorer.....	17
Figura 8. Resultados del visualizador de imágenes satelitales USGS EarthExplorer para imágenes del satélite Landsat 8. ....	17
Figura 9. Diagrama de flujo de trabajo para la adquisición, procesamiento y generación de principales productos de las imágenes Landsat 8.....	18
Figura 10. Esquema Metodológico para la comparación de información de variables oceanográficas en Spatial Analyst.....	24
Figura 11. Diagrama de flujo de la metodología de selección de sitios para la acuicultura de moluscos (Adaptado del trabajo desarrollado por el Jefe de Proyecto, ver Silva et al., 2011). 27	27
Figura 12. Ejemplo de tipos, diseños y configuraciones de las estructuras de cultivo como balsas jaula cuadradas y circulares. ....	39
Figura 13. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 2, Seno Reloncaví, Comuna de Puerto Montt, superficie de 549,59 km2, X Región de Los Lagos, utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	40

Figura 14. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 2. .....	41
Figura 15. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 3a y 3b, Canal Calbuco, Isla Quihua, Pargua, Estero Huito, Isla Puluqui, Comuna de Calbuco, superficie de 549,59 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	43
Figura 16. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 3a. ....	44
Figura 17. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 3b. ....	46
Figura 18. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 4a, Río Maullín, Comuna de Maullín, superficie de 12,86 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	48
Figura 19. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 4a. ....	49
Figura 20. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 6, Bahía Manao-Bahía Hueihue, Comuna de Ancud, superficie de 20,52 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	50
Figura 21. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 6. ....	51
Figura 22. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 8, Islas Chauques, Comuna de Quemchi, superficie de 350,56 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	52
Figura 23. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 8. ....	53
Figura 24. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 9a, Isla Quinchao, Dalcahue, Comuna de Curaco de Velez, superficie de 413,16 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	55

Figura 25. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 9a. ....	56
Figura 26. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 9b, Islas Meulin, Quenac, Caguache, Comuna de Quinchao, superficie de 114,09 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	58
Figura 27. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 9b. ....	59
Figura 28. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 9c, Isla Alao, Apiao, Chaulinec, Comuna de Quinchao, superficie de 122,05 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	60
Figura 29. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 9c. ....	61
Figura 30. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 10a y 10b, Canal Hudson, Estero Castro, Canal Lemuy, Canal Quehui, Comuna de Castro- Puqueldón, superficie de 304,67 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	63
Figura 31. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 10a. ....	64
Figura 32. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 10b. ....	66
Figura 33. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 17a, Estero Comau, Comuna de Hualaihué - Chaitén, superficie de 172,16 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	67
Figura 34. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 17a. ....	68
Figura 35. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 17b, Isla Pelada - Isla Llancahué, Comuna de Hualaihué, superficie de 316,69 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. ....	70

Figura 36. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 17b. ....	71
Figura 37. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 25a y 25b, Estero Cupquelán, Comuna de Aysén, superficie de 170,92 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. No se identifican concesiones en este barrio.....	73
Figura 38. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 25a. ....	74
Figura 39. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 25b. ....	75
Figura 40. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 27, Estero Quitralco, Comuna de Aysén, superficie de 141,81 km <sup>2</sup> , X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. No se identifican concesiones en este barrio. ....	76
Figura 41. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 27. ....	77
Figura 42. Número total de estructuras de cultivo identificadas por barrio. ....	78
Figura 43. Ventana del toolbox FLAASH donde se ingresan los parámetros de entrada y se configura el modelo de corrección atmosférica aplicado a las radianzas de las bandas visuales de imágenes multiespectrales Landsat 8 OLI. ....	81
Figura 44. Ejemplo de la estadística de bandas de una imagen de reflectancia no normalizada y normalizada. ....	82
Figura 45. Ejemplo de imagen a) sin procesar y b) calibrada y corregida atmosféricamente...82	82
Figura 46. Pantallazo en ENVI de la imagen de reflectancias multiespectral color natural (banda R, G y B) de código LC82330902013358LGN00 que se usa de ejemplo de aplicación. ....	83
Figura 47. Imagen mascara generada con el rango de valores de agua de la reflectancia de la banda NIR.....	84
Figura 48. Ejemplo de batimetría relativa con valores entre 0 y 1 utilizando la imagen de código LC82330902013358LGN00.....	85
Figura 49. Batimetría GEBCO08. ....	86

Figura 50. Modelo ajustado de calibración batimetría relativa a batimetría absoluta.....	87
Figura 51. Ejemplo de batimetría absoluta utilizando la imagen LC82330902013358LGN00. .....	87
Figura 52. Ejemplo de la Radianza de la banda térmica 10, imagen LC82330902013358LGN00.....	88
Figura 53. TSM MODIS del día 24 diciembre 2013.....	90
Figura 54. TMS Landsat 8 del día 24 diciembre 2013.....	91
Figura 55. Imagen de blue/green ratio o clorofila relativa del día 24 diciembre 2013. ....	92
Figura 56. Clorofila VIIRS del día 24 diciembre 2013.....	93
Figura 57. Modelo ajustado de calibración clorofila relativa a clorofila absoluta. ....	93
Figura 58. Clorofila Landsat 8 del día 24 diciembre 2013.....	94
Figura 59. Promedio de la temperatura superficial del mar durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor MODIS.....	95
Figura 60. Promedio de la concentración de clorofila- <i>a</i> durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.....	96
Figura 61. Promedio de la concentración de carbono orgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.....	97
Figura 62. Promedio de la concentración de carbono inorgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.....	98
Figura 63. Promedio de la materia total particulada (mg/L) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2011 generada con datos del sensor MERIS. ....	99
Figura 64. Toolbox Extract Multi Values to Points para la extracción de puntos en imágenes raster de clorofila.....	100
Figura 65. Ejemplo de la tabla de atributos resultante después de la extracción de datos de clorofila en las imágenes. ....	101
Figura 66. Ajuste de recta de regresión lineal entre clorofila <i>in situ</i> de 0-10 m de profundidad y la clorofila satelital MODIS-VIIRS.....	102
Figura 67. Estructura de la Geodatabase de los raster dataset de productos satelitales y carpeta de simbologías.....	103

Figura 68. Restricciones legales y sociales para la zonificación en SIG de los sitios aptos dentro del área marina de la X Región: a) áreas aptas para acuicultura (AAA), b) áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB) y c) concesiones de acuicultura. Ver Tabla 30 para fuente de los datos usados como restricciones. ....	107
Figura 69. Promedio de la salinidad a 5 m de profundidad durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del modelo hidrodinámico HYCOM. ....	108
Figura 70. Oxígeno disuelto durante verano, otoño, invierno y primavera obtenido del World Ocean Atlas 2013 y Silva (2013 y 2014).....	109
Figura 71. Magnitud de la corriente ( $m s^{-1}$ ) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 obtenido del modelo hidrodinámico HYCOM. ....	109
Figura 72. Mapas de aptitud de acuerdo a criterios de: a) zonas aptas por ley; b) áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos; c) aptitud física; y d) crecimiento y sobrevivencia; y e) mapa de aptitud final derivado de la evaluación multicriterios. Se superponen los polígonos y nombres de barrios.....	111
Figura 73. Imagen resultante de Áreas Aptas de Barrio.....	112
Figura 74. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 2, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. ....	114
Figura 75. Interface del software FARM para ingreso de parámetros (drivers) de entrada del modelo. ....	118
Figura 76. Interface del software FARM sobre los resultados y salidas del modelo. ....	119
Figura 77. Interface del software FARM sobre los resultados del control de eutroficación y balance de masa. ....	120
Figura 78. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 3b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. ....	121
Figura 79. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 4a, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. ....	124
Figura 80. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 6, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. ....	127
Figura 81. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 8, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. ....	130

Figura 82. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 9b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. .....	133
Figura 83. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 9c, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. .....	136
Figura 84. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 10b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. .....	139
Figura 85. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 17a, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. .....	142
Figura 86. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 17b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga. .....	145
Figura 87. Longitud (cm) alcanzada por las ostras al cabo de un período de cultivo para los distintos sitios aptos por barrio simulados por el modelo de capacidad de carga FARM bajo a) escenario de cultivo monoespecífico (cultivo ostra japonesa) y b) escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa). .....	148
Figura 88. Producto físico total (PFT) en toneladas de peso fresco total obtenido en un período de cultivo para los distintos sitios aptos por barrio simulados por el modelo de capacidad de carga FARM bajo a) escenario de cultivo monoespecífico (cultivo ostra japonesa) y b) escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa).....	149
Figura 89. Página de información general del Aula virtual del curso de capacitación. ....	163
Figura 90. Página del módulo 1 del aula virtual del curso y archivos anexos de las clases presentadas hasta el día viernes 3 de julio. ....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los sensores MSS, TM y ETM+; utilizados en las misiones Landsat desde el primero hasta el séptimo.....	9
Tabla 2. Características del sensor Landsat 8 “Operacional Tierra Imager” (OLI) y el sensor “Thermal Infrared Sensor” (TIRS). .....	10
Tabla 3. Productos del satélite MODIS y VIIRS. Fuente: NASA, 2015.....	13
Tabla 4. Bandas espectrales y aplicaciones marinas del sensor MERIS. Fuente: ESA, 2011. .	15
Tabla 5. Barrios de interés y sectores considerados en el proyecto Fase II. ....	20
Tabla 6. Las aplicaciones para herramientas zonales de Spatial Analyst. Fuente: ESRI, 2013. ....	23
Tabla 7. Satélite/sensor, resolución espacial y productos derivados a generar y analizar en el marco del proyecto. ....	24
Tabla 8. Resumen de datos utilizados y las fuentes de información, con excepción de la información provenientes de sensores remotos a bordo de satélites. ....	29
Tabla 9. Características de hardware en computadores para trabajo con software ENVI 5.1...33	
Tabla 10. Requisitos mínimos de hardware para ENVI 5.1. ....	35
Tabla 11. Especificaciones técnicas del hardware o estaciones de trabajo de los profesionales de la Unidad de Ordenamiento Territorial de SUBPESCA.....	36
Tabla 12. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 2. ....	42
Tabla 13. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 3a. ....	45
Tabla 14. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 3b. ....	47
Tabla 15. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 4a. ....	49
Tabla 16. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 6. ....	51
Tabla 17. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 8. ....	54
Tabla 18. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 9a. ....	57
Tabla 19. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 9b. ....	59
Tabla 20. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 9c. ....	62

Tabla 21. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 10a. ...	65
Tabla 22. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 10b. ...	66
Tabla 23. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 17a. ...	69
Tabla 24. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 17b. ...	72
Tabla 25. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 25a. ...	74
Tabla 26. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 25b. ...	75
Tabla 27. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 27. ....	78
Tabla 28. Modelos de corrección atmosférica y constantes de los parámetros vapor de agua y temperatura aire-superficie. ....	80
Tabla 29. Ejemplo de la planilla de datos final para la validación de la clorofila satelital. ....	101
Tabla 30. Variables, rango de valores de datos, fuente de datos, metodo muestreo de los datos, criterio, Rango Aptitud por Factor (RAF), valor del RAF y fuente del RAF de la base datos utilizada en el análisis de aptitud de la zona marina de la X Región para la selección de sitios para el cultivo de ostra japonesa. ....	105
Tabla 31. Principales características ambientales de las áreas aptas de los 10 barrios (sitios). ....	113
Tabla 32. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m <sup>-2</sup> ) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 2 (Seno Reloncaví).....	115
Tabla 33. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m <sup>-2</sup> ) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 3b. ....	123
Tabla 34. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m <sup>-2</sup> ) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 4a.....	126
Tabla 35. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m <sup>-2</sup> ) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 6. ....	129
Tabla 36. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m <sup>-2</sup> ) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 8. ....	132

Tabla 37. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 9b. .... 135

Tabla 38. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 9c..... 138

Tabla 39. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 10b. .... 141

Tabla 40. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 17a..... 144

Tabla 41. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 17b. .... 147

# 1. INTRODUCCION

La teledetección se ha convertido en las últimas décadas en una herramienta imprescindible en numerosos ámbitos del desarrollo de nuestra sociedad, en particular en su aplicación como base para la toma de decisiones en la gestión eficiente de los recursos naturales, el ordenamiento del territorio y el desarrollo de cartografía entre otros.

La observación satelital permite obtener información de diversas áreas de la superficie terrestre de forma continua y en tiempo real, lo cual es valioso para el estudio de los sistemas terrestres y del impacto que tienen éstos en las actividades humanas. Entre los distintos usos de las imágenes satelitales para la gestión del territorio, se encuentra el establecimiento de sistemas para la detección del crecimiento urbano, el monitoreo de la ocupación del suelo agrícola por otros usos, la detección, vigilancia y estudio de incendios forestales y erupciones volcánicas, evaluación de cultivos agrícolas, sistemas de predicción climática, estudios geológicos de exploración y estudios oceanográficos de variables como la temperatura superficial del agua, concentración de clorofila y turbidez, etc.

Una de las actividades económicas y sociales que ha evidenciado un mayor crecimiento en las últimas dos décadas es la Acuicultura. Su enorme desarrollo ha producido generosos retornos económicos al país, pero a su vez enormes desafíos, como por ejemplo el control de los estados ambientales y sanitarios de los centros de cultivo para evitar que se vuelvan a producir fenómenos adversos como la presencia del Virus ISAy, enfermedad que produjo un estancamiento en el desarrollo de la industria del salmón en los últimos años.

En este sentido una adecuada gestión, manejo, ordenamiento y regulación de la Acuicultura requiere de una alimentación continua de datos sobre los cuerpos de agua en los cuales se desarrolla la actividad, tanto los recopilados por instrumentos de medidas *in situ*, como los proporcionados a través de sensores remotos, siendo la aplicación de esta tecnología cada vez más considerada como una herramienta esencial para el desarrollo sustentable y ordenamiento de la actividad.

En efecto, organismos internacionales como la FAO desarrollan programas de difusión de estas tecnologías, tales como GISFish, un sitio que reúne conocimientos en aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos y Mapeo para el desarrollo de la Acuicultura y Piscicultura enfocado a estudios como por ejemplo aquellos relacionados con elaboración de modelos ambientales para detectar los sitios más apropiados para el desarrollo de la acuicultura, o en el ámbito sanitario, modelos predictivos que

permitan visualizar la dispersión de enfermedades que afecten a centros de cultivos de salmónidos y su rango de influencia en función de un punto o foco determinado con detección de brote.

Durante el primer semestre de 2014 se desarrolló un primer proyecto orientado al manejo de imágenes satelitales, etapa en la cual se pudieron evaluar las potencialidades y alcances de esta nueva tecnología disponible, llevando a cabo un estudio de pre factibilidad técnica y económica del uso de imágenes satelitales como herramienta que fortalezca la toma de decisiones en el ámbito de la acuicultura, en donde se identificaron las necesidades de distintas unidades de la División de Acuicultura de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Durante este proceso se instruyó en el uso y manejo básico de software de manejo de imágenes satelitales adquiridas para algunos sectores de la X y XI regiones.

El presente proyecto pretende mejorar la aplicación de técnicas de teledetección como apoyo para la evaluación de las condiciones más adecuadas para el desarrollo de la acuicultura capturando información que será incorporada al Sistema de Información Geográfica de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, con un enfoque que busca en primera instancia una evaluación de las estructuras de cultivo de salmones (balsas jaulas, pontones, etc.) en cuanto a su ubicación real y a su vez la divulgación de la imágenes satelitales adquiridas a través de mapas temáticos para el público en general, como también la estimación de parámetros ambientales que permitan en conjunto la selección de lugares con las mejores condiciones para el desarrollo de la acuicultura en Chile.

Por otra parte la ley N° 20.434 de 2010, introduce el concepto de relocalización de concesiones de acuicultura, orientado a la necesidad de mejorar el ordenamiento territorial de las concesiones y propender a un mejor performance sanitario y ambiental del sector.

En la actualidad el gran potencial que ofrece la tecnología de la Teledetección para aplicaciones de estudios marinos se refleja en la extensa oferta de imágenes captadas por diversos satélites que orbitan nuestro planeta, tales como: Seasat (sensores activos), el Nimbus-7 con el sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner), la serie de satélites operacionales NOAA (TIROS-N) con el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) y el satélite Aquarius/SAC-D. Esta diversidad de opciones obliga al Estado como gestor de la administración del territorio marítimo a realizar un análisis exhaustivo de la oferta existente y sus costos, en función de la distinta información que entrega cada tipo de satélite en particular.

Es por esto que surge la necesidad de realizar un estudio acabado de las diversas aplicaciones que esta tecnología puede aportar al ordenamiento y gestión de la acuicultura en Chile y en particular en la zona sur de nuestro país.

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar el borde costero acotado a las Áreas Apropriadas para el ejercicio de la Acuicultura en base a imágenes satelitales, que permitan identificar estructuras de cultivo de salmones y determinar parámetros ambientales.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

*i) Asesorar en la selección de tipos de imágenes satelitales aplicado a los intereses de la acuicultura orientada a la identificación de estructuras de cultivo como también de análisis y estudios ambientales tales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar, etc.*

*ii) Identificar sitios aptos para la acuicultura, capacidades de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales.*

*iii) Instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar la información proveniente de imágenes satelitales.*

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio y enfoque metodológico del proyecto

El área de estudio del proyecto corresponde a 14 sectores o barrios de cultivo de la Xª región de Los Lagos y XIª región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (Figura 1).

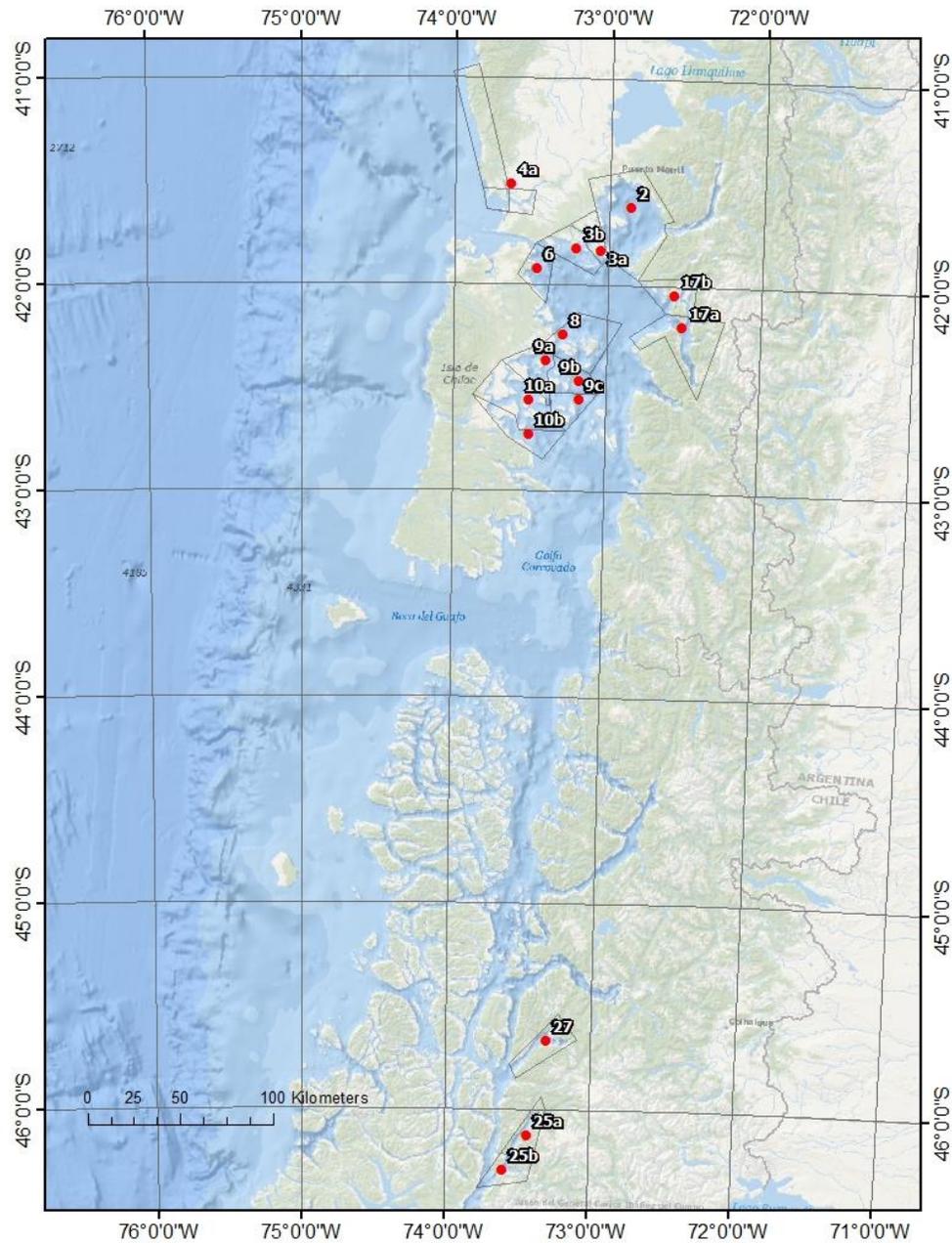
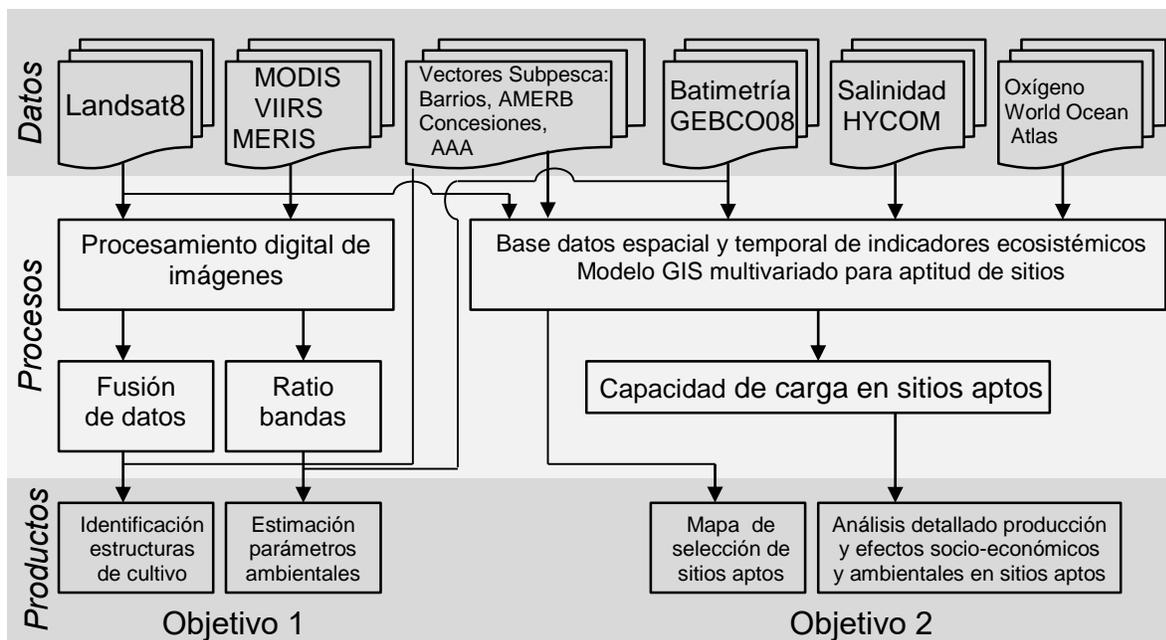


Figura 1. Área de estudio del proyecto que muestra los polígonos y números de los barrios de interés en formato shape (\*.shp) de ArcGIS 10.2. Fuente: Elaboración Propia, 2015.

Para el desarrollo de los objetivos 1 y 2 del proyecto, se sigue un enfoque metodológico (Figura 2) el cual considera la adquisición de una serie de datos obtenidos de satélites (Landsat-8, MODIS, VIIRS, MERIS, batimetría GEBCO08), modelos hidrodinámicos (HYCOM, World Ocean Atlas) e información regulatoria de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) en formato vectorial como polígonos de barrios de cultivo, áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), áreas aptas para acuicultura (AAA). Las imágenes satelitales son procesadas digitalmente para generar productos ambientales como clorofila, temperatura superficial del mar, materia particulada total, batimetría y mapas temáticos para la identificación de estructuras de cultivo. Esta información sumada a la batimetría GEBCO, salinidad HYCOM, oxígeno disuelto del World Ocean Atlas e información SUBPESCA es usada para generar una base datos espacio-temporal a la cual se aplica un modelo GIS de selección de sitios aptos para luego estimar su capacidad de carga para el cultivo de la ostra japonesa entregando como producto final el mapa de sitios aptos y análisis detallado de la producción y efectos socio-económicos y ambientales (Figura 2). Cabe señalar, que este enfoque metodológico es descrito en forma detallada en los siguientes capítulos.



**Figura 2. Diagrama que resume la metodología aplicada en los objetivos 1 y 2 del proyecto. AMERB: Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos; AAA: Áreas Aptas de Acuicultura; GEBCO08: General Bathymetric Chart of the Oceans; HYCOM: HYbrid Coordinate Ocean.**

Cabe destacar, que tal como se propuso en la oferta técnica presentada a concurso y adjudicada, este proyecto utiliza imágenes de resolución media como Landsat8 y no se propuso el uso de imágenes de resolución alta dado que el alto costo de esta información hace inviable tanto el proyecto como el programa

de adquisición a medio y largo plazo para la UOT de SUBPESCA que se debe recomendar. Las imágenes Landsat8 son gratuitas, se actualizan en casi tiempo real y permiten identificar estructuras de cultivo de salmones y explorar la estimación de parámetros ambientales como son uno de los objetivos del presente proyecto.

*2.2. Objetivo específico i) Asesorar en la selección de tipos de imágenes satelitales aplicado a los intereses de la acuicultura orientada a la identificación de estructuras de cultivo como también de análisis y estudios ambientales tales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar, etc.*

La teledetección por satélite ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras.

El valor de las imágenes de satélite y la información extraída de ellas son evidentes. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie del océano y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos.

Además de estas ventajas evidentes, las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance. Algunas imágenes, por ejemplo, muestran las enfermedades de la vegetación, la existencia de minerales en afloramientos rocosos o la contaminación de los ríos. Algunos satélites "ven" a través de las nubes y la niebla que oculta parte de la superficie terrestre.

El valor práctico y la multiplicidad de aplicaciones de las imágenes continúan aumentando a medida que se lanzan nuevos satélites, que se suman a los que ya están en órbita. Al haber más satélites se dispone de imágenes en una cantidad creciente de tamaños de escena, resoluciones espectrales, frecuencias de paso y detalles espaciales. A la vez que estos nuevos sensores espaciales hacen que las imágenes sean más útiles que nunca, ofrecen a los usuarios actuales mayores dificultades a la hora de escoger las más adecuadas.

En la actualidad existen muchos satélites en órbita dedicados cada uno a captar imágenes de tipo muy específico. Una variedad mayor de imágenes es benéfica para el usuario final porque aumenta la probabilidad de que puedo obtener la información concreta que necesita para llevar a término su proyecto.

En este proyecto se propone el uso de imágenes satelitales Landsat-8, MODIS y VIIRS, cuyas características se detallan a continuación.

### 2.2.1. Imágenes LANDSAT

Durante el primer semestre de 2014 la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso ejecuto el proyecto "Manejo e Interpretación de Imágenes Satelitales de Alta Resolución Aplicadas a las Labores de Exploración del Borde Costero y Cuerpos de Agua donde se Desarrolle la Actividad de Acuicultura" en la cual se realizó una propuesta de selección de los tipos de sensores remotos más apropiados para su utilización por parte de la División de Acuicultura. Como resultado se optó por adquirir imágenes del satélite SPOT 6 – en formato Bundle (Pancromático + Multiespectral) y Orto (Imagen corregida y georreferenciada) –, las cuales fueron adquiridas entre Enero y Noviembre del año 2013.

Visto esto y los resultados obtenidos en el estudio de prefactibilidad y de diagnóstico de necesidades de información satelital, la capacitación entregada a los funcionarios de SUBPESCA y el objetivo principal de identificación de estructuras de cultivo como también de análisis se propone utilizar las imágenes del Satélite Landsat 8 por las siguientes consideraciones técnicas y económicas: son gratuitas, 9 bandas multiespectrales, disponibilidad para la zona de estudio, antigüedad mínima solicitada desde Junio de 2013, resolución espacial de 30 m multiespectral y 15 m pancromática, resolución temporal cada 16 días y los más importante es que el diseño y dimensionamiento económico de un programa de disponibilidad temporal en la adquisición de nuevas imágenes satelitales por parte de la División de Acuicultura se ve facilitado ya que sus funcionarios ya cuentan con capacidades en procesar imágenes y generar productos que igualmente se pueden realizar con estas imágenes. Las imágenes Landsat-8 serán utilizadas para identificar estructuras de cultivo y explorar en la estimación de parámetros ambientales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar.

La serie de satélites Landsat corresponde a un programa completo de adquisición de datos mediante teledetección, que tiene hasta el momento 8 satélites lanzados desde 1972, con la reciente incorporación del *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) o Landsat 8. El volumen de datos recogidos por esta serie de satélites lo hace una de las fuentes más abundantes en la actualidad.

La serie de satélites se puede clasificar en cuatro grupos de acuerdo a las características del sensor y la plataforma (Channder et al, 2009): en el primer grupo se encuentran los satélites Landsat 1, Landsat 2 y Landsat 3, portadores del *Multispectral Scanner* (MSS) y del *Return Beam Vidicon* (RBV). Su resolución espacial era de aproximadamente 79 metros contando con cuatro bandas que abarcaban el espectro visible y el infrarrojo cercano (NIR). A partir de la serie Landsat 3 el sensor MSS añadió una quinta banda en el rango del infrarrojo termal.

El segundo grupo incluye los satélites Landsat 4 y Landsat 5, que además de llevar el sensor MSS, incorporaron el instrumento *Thematic Mapper* (TM). Este segundo grupo o generación agregó notables mejoras con la incorporación del sensor TM, debido al aumento en la calidad de los datos, agilidad y rapidez en la transmisión y adquisición de los mismos (Chander et al, 2009; Weng, 2011). Contando con 7 bandas espectrales, incluida una banda en el infrarrojo térmico, el sensor TM se convirtió en el instrumento principal para la adquisición y manejo de la información a pesar de contar con el sensor MSS que buscaba dar conexión entre una serie y la otra. Con resoluciones espaciales de 30 metros para 6 de sus bandas y 120 metros para la banda termal (actualmente resmuestrada a 30 metros), no solo mejoró la calidad de la información sino que incrementó las posibilidades de desarrollo de investigación.

El tercer grupo corresponde a las plataformas Landsat 6 y Landsat 7 con los sensores Enhanced Thematic Mapper (ETM) y Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), el cual presentó un avance significativo en torno a la mejora de la resolución espacial, añadiendo una banda pancromática de 15 metros de resolución además de la incorporación de dos bandas térmicas con 60 metros de resolución espacial (remuestreadas posteriormente a 30 metros), una en alta ganancia y otra en baja ganancia (Ver Tabla 1).

**Tabla 1. Características de los sensores MSS, TM y ETM+; utilizados en las misiones Landsat desde el primero hasta el séptimo.**

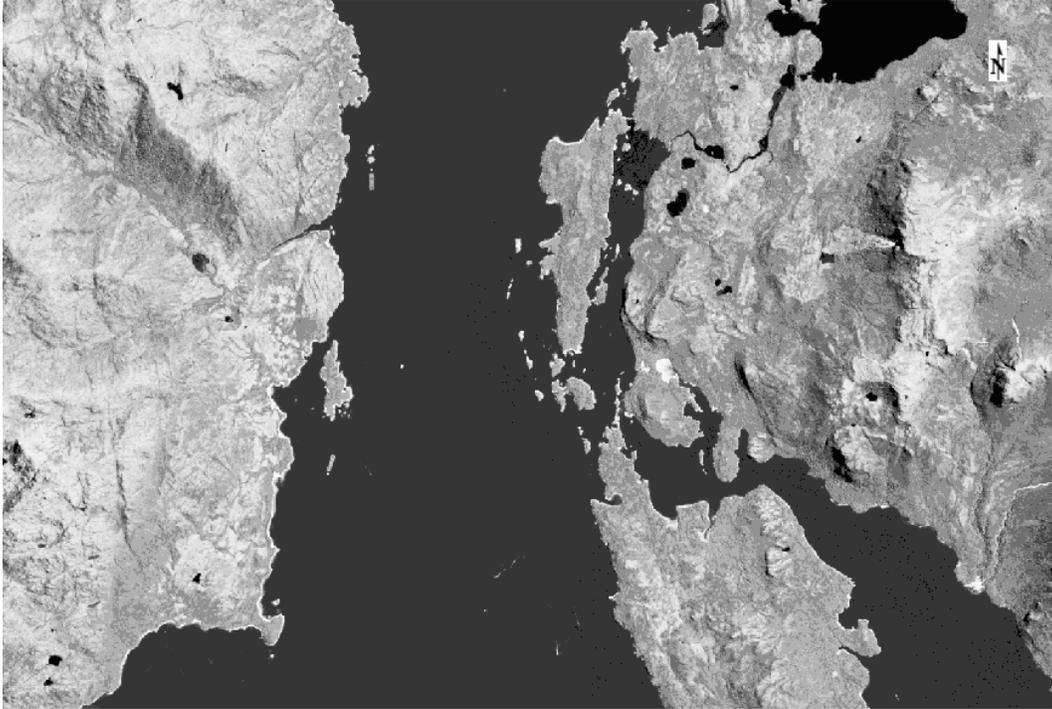
	<b>Landsat 1-3</b>	<b>Landsat 4-5</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Multiespectral scanner (MSS)</b>	Banda 4	Banda 1	0,5-0,6	60
	Banda 5	Banda 2	0,6-0,7	60
	Banda 6	Banda 3	0,7-0,8	60
	Banda 7	Banda 4	0,8-1,1	60
<b>Thematic Mapper (TM)</b>	<b>Landsat 4-5</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>		<b>Resolución (metros)</b>
	Banda 1	0,45-0,52		30
	Banda 2	0,52-0,60		30
	Banda 3	0,63-0,69		30
	Banda 4	0,76-0,90		30
	Banda 5	1,55-1,75		30
	Banda 6	10,40-12,50		120 * (30)
Banda 7	2,08-2,35		30	
<b>Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +)</b>	<b>Landsat 7</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>		<b>Resolución (metros)</b>
	Banda 1	0,45-0,52		30
	Banda 2	0,52-0,60		30
	Banda 3	0,63-0,69		30
	Banda 4	0,77 a 0,90		30
	Banda 5	1,55-1,75		30
	Banda 6	10,40-12,50		60 * (30)
	Banda 7	2,09-2,35		30
Banda 8	Desde 0,52 hasta 0,90		15	

Finalmente la nueva generación del Proyecto viene representada por el LDCM o Landsat 8; el cual plantea un avance en la captura de la información. Provisto de dos sensores nuevos: el *Operational Land Imager* (OLI) y el *Thermal infrared Sensor* (TIRS); con 8 bandas en el sensor multiespectral con resolución de 30 metros, una banda pancromática de 15 metros de resolución y dos bandas térmicas con 100 metros de resolución (remuestreadas a 30 metros, posteriormente) (Ver Tabla 2).

**Tabla 2. Características del sensor Landsat 8 “Operacional Tierra Imager” (OLI) y el sensor “Thermal Infrared Sensor” (TIRS).**

	<b>Bandas</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Landsat 8 Operacional Tierra Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS) Lanzado 11 de febrero 2013</b>	Banda 1 - Aerosol Costera	0,43 a 0,45	30
	Banda 2 – Azul	Desde 0,45 hasta 0,51	30
	Banda 3 – Verde	0,53-0,59	30
	Banda 4 – Rojo	0,64-0,67	30
	Banda 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	Desde 0,85 hasta 0,88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1,57-1,65	30
	Banda 7 - SWIR 2	02,11 a 02,29	30
	Banda 8 - Pancromático	0,50-0,68	15
	Banda 9 – Cirrus	1,36-1,38	30
	Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,60-11,19	100
	Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Las imágenes constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas del 1 al 7 y 9. La nueva banda 1 (ultra-azul) es útil para estudios costeros y de aerosoles. La nueva banda 9 es útil para la detección de cirros. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros (Figura 3). Bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisas y se recogen a 100 metros. Tamaño aproximado de escena es de 170 km al norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km). Como se muestra en el ejemplo de la Figura 3 (Pancromática) y Figura 4 (fusion pancromática y multiespectral con transformación Pan-Sharpennig Gram-Schmidt), las imágenes Landsat 8 son útiles para identificar estructuras de cultivo como también para estudios ambientales tales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar, entre otros. Cabe destacar, que una de las principales ventajas de utilizar Landsat 8 en comparación con otros satélites de alta y media resolución es que son gratuitas por lo cual no existe una dependencia en un proveedor y de tener financiamiento para adquirir estas imágenes.



**Figura 3. Identificación de estructuras de cultivo en la zona de Chiloé utilizando Imagen Landsat 8 del 21 de enero 2015, banda pancromática con una resolución espacial de 15 m. Fuente: Elaboración Propia, 2015.**



**Figura 4. Identificación de estructuras de cultivo en la zona de Chiloé utilizando Imagen Landsat 8 multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. Fuente: Elaboración Propia, 2015.**

### 2.2.2. *Imágenes MODIS, VIIRS y MERIS*

Adicionalmente se propone el uso de imágenes de resolución espacial baja (1.000 metros) como MODIS y VIIRS que constan de 9 bandas multiespectrales (412-869 nm) y resolución temporal de 2 imágenes por día. Las imágenes MODIS serán utilizadas para generar productos como concentración de clorofila y temperatura superficial del mar. Las imágenes VIIRS serán utilizadas para generar productos como concentración de clorofila, carbono orgánico particulado y carbono inorgánico particulado. Las imágenes MERIS con una resolución espacial de 1.000 metros son usadas para generar mapas de Materia Particulada Total (MPT).

Para la generación de los demás productos, como clasificación de cuerpos de agua y otros indicadores ambientales (temperatura superficial del mar, concentración de clorofila, otros), se utilizarán imágenes provenientes de los sensores MODIS y VIIRS. El sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) está a bordo de dos satélites (Terra y Aqua) que proporcionan imágenes de la superficie entera del globo cada 1 a 2 días. Estas imágenes contienen información de alta sensibilidad radiométrica en 36 bandas espectrales y a tres diferentes resoluciones: 250m, 500m y 1.000m. El área de cobertura es de 10° x 10° divididos en “tiles” o cuadros con una cobertura global. El sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) está a bordo del satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) captando imágenes 1 vez por día, tiene 22 bandas espectrales (412 nm a 12 µm) a 3 diferentes resoluciones: 375 m, 750m y 1 km. El sensor MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) a bordo del satélite ENVISAT estuvo en adquiriendo imágenes entre 2002 y abril 2012, tiene 15 bandas espectrales con anchura y ubicación programable en el rango de 390 nm 1040 nm espectral y una resolución espacial de 1000 m.

Los canales espectrales de instrumentos MODIS, VIIRS y MERIS fueron diseñados para apoyar la observación de las nubes, la tierra y los océanos. Estas bandas océano fueron diseñados con alta sensibilidad en el rango dinámico de reflectancias típicos sobre los océanos abiertos, incluyendo las contribuciones de la superficie y la atmósfera. Sobre las aguas costeras e interiores muy turbias, es posible que se exceda este rango dinámico, de tal manera que las bandas se saturan y la señal verdadera es desconocida. Otras bandas en MODIS y VIIRS fueron diseñados específicamente para las observaciones terrestres y de nube, tanto con una mayor resolución espacial y sensibilidad reducida en un rango dinámico más amplio. Estas bandas tierra / nube solapan el rango espectral de las bandas del océano y se extienden en el infrarrojo de onda corta (SWIR), desde 469 nm a 2.130 nm. El código de procesamiento océano desarrollado por el Ocean Biology Processing Group (OBPG), el Nivel-1 Multi-Sensor de Nivel-2 Código (msl12), se ha ampliado para apoyar estas bandas adicionales. El propósito principal de este esfuerzo es proporcionar un mecanismo

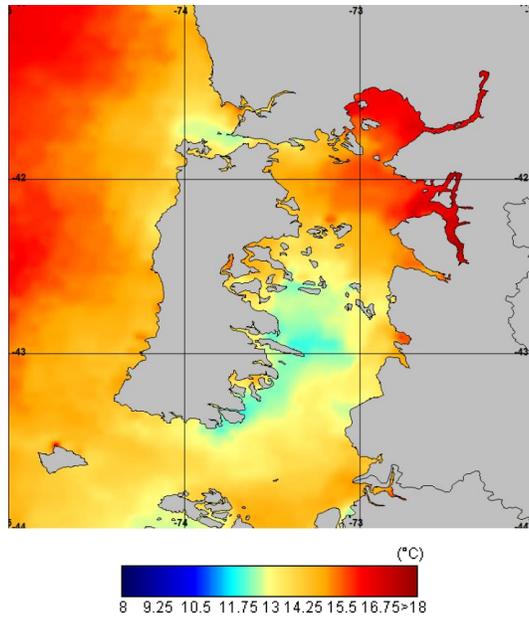
para explorar el valor potencial de la mayor información espectral, así como los límites más altos espaciales resolución y saturación de las bandas de la tierra / la nube, para la aplicación a las aguas costeras e interiores (Tabla 3).

Como se ha dicho, el propósito de facilitar el acceso a las bandas de mayor resolución es fomentar y apoyar el desarrollo de nuevos algoritmos o aplicaciones para la comunidad científica. En la actualidad, las bandas espectrales adicionales en el visible se pueden procesar para radianzas o reflectancias de teledetección.

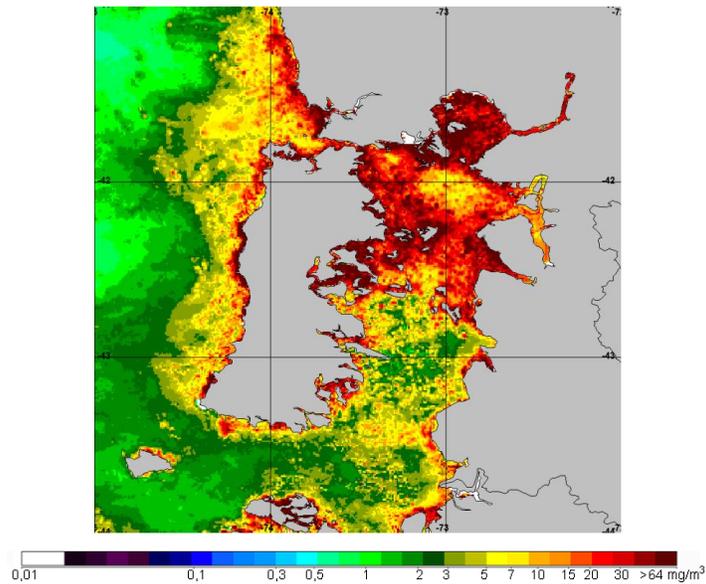
**Tabla 3. Productos del satélite MODIS y VIIRS. Fuente: NASA, 2015.**

<b>Producto</b>	<b>Descripción</b>
chlor_a	clorofila-a basada en algoritmo (443,488,551) standard MODIS OC3
K_490	Coficiente de atenuación difusa a 490nm
nLw_412	Radianza acuática emergente normalizada a 412nm
nLw_443	Radianza acuática emergente normalizada a 443nm
nLw_469	Radianza acuática emergente normalizada a 469nm
nLw_488	Radianza acuática emergente normalizada a 488nm
nLw_531	Radianza acuática emergente normalizada a 531nm
nLw_551	Radianza acuática emergente normalizada a 551nm
nLw_555	Radianza acuática emergente normalizada a 555nm
nLw_645	Radianza acuática emergente normalizada a 645nm
nLw_667	Radianza acuática emergente normalizada a 667nm
nLw_678	Radianza acuática emergente normalizada a 678nm
poc	Carbono orgánico particulado
pic	Carbono inorgánico particulado
sst	Temperatura superficial del mar de canales 11-12um
tau_869	Espesor óptico de aerosoles a 869nm
angstrom_531	Exponente aerosol angstrom (531,869)
eps_78	Modelo épsilon aerosol (748,869)

En las Figuras 5 y 6 se muestran ejemplos y la factibilidad de obtener información ambiental de los sensores antes descritos.



**Figura 5. Ejemplo de imagen promedio de la temperatura superficial del mar (°C) durante verano de 2012 generada con datos del sensor MODIS. Fuente: Elaboración Propia, 2015.**



**Figura 6. Ejemplo de imagen promedio de la concentración de clorofila a (mg/m<sup>3</sup>) durante verano de 2012 generada con datos del sensor VIIRS. Fuente: Elaboración Propia, 2015.**

En el caso del sensor MERIS las bandas espectrales y productos ambientales y aplicaciones se muestran en la Tabla 4. Para el proyecto se utiliza el producto de materia total particulada o materia total en suspensión para complementar la geodatabase obtenida de Landsat8, MODIS y VIIRS.

**Tabla 4. Bandas espectrales y aplicaciones marinas del sensor MERIS. Fuente: ESA, 2011.**

<b>Banda (nm)</b>	<b>Aplicaciones ambientales marinas</b>
412,5	Turbidez
442,5	Máxima Absorción Clorofila
490	Clorofila, otros pigmentos
510	Turbidez , sedimentos en suspensión, mareas rojas
560	Clorofila referencia, sedimentos en suspensión
620	Sedimentos en suspensión
665	Absorción Clorofila
681,3	Fluorescencia Clorofila
705	Corrección atmosférica
753,8	Absorción oxígeno referencia
760-	Absorción oxígeno R-branch
775	Aerosoles, vegetación
865	Corrección aerosoles en océano
890	Absorción vapor de agua referencia
900	Absorción vapor de agua, vegetación

### *2.2.3. Programa de adquisición, procesamiento y generación de productos de imágenes satelitales*

Según la siguiente propuesta, se propone trabajar con imágenes satelitales Landsat 8 de mediana resolución (30 metros), para lo cual se aplicará el siguiente desarrollo metodológico para la adquisición, procesamiento y generación de productos de las imágenes:

- Adquisición (vía servidores FTP/internet o en DVD) de imágenes satelitales para las áreas geográficas solicitadas por el mandante en las regiones X<sup>a</sup> y XI<sup>a</sup>.
- Importación de imágenes al software seleccionado para el procesamiento.
- Calibración de bandas a radianza absoluta.
- Conversión de radianza a reflectancia.
- Georreferenciar las imágenes en el sistema de referencia de la base cartográfica de la División de Acuicultura.
- Generación de productos de imágenes satelitales y mapas temáticos de acuerdo a necesidades existentes en la División de Acuicultura:

- Imágenes multiespectrales a partir de las cuales se generarán las imágenes/vectores de línea de costa e identificación de estructuras de acuicultura y, clasificación de cuerpos de agua. Además, se generan y explorarán el uso de otros indicadores ambientales (y de interés sanitario) como la topografía, batimetría, temperatura superficial del mar, concentración de clorofila *a*. Los productos satelitales (imágenes y vectores) se generan en formatos compatibles con el entorno GIS de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Adicionalmente se propone trabajar con imágenes satelitales AQUA y TERRA con el sensor MODIS y satélite NPP con sensor VIIRS, cuya adquisición, procesamiento y generación de productos se detalla más adelante.

### *2.2.3.1. Procedimiento para adquirir imágenes Landsat 8*

Configuraciones previas:

1.- El USGS EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), requiere de un explorador Web de preferencia Microsoft Internet Explorer. También es necesario tener instalada la versión más reciente de Java plug-in (<http://java.com/en/download/index.jsp>).

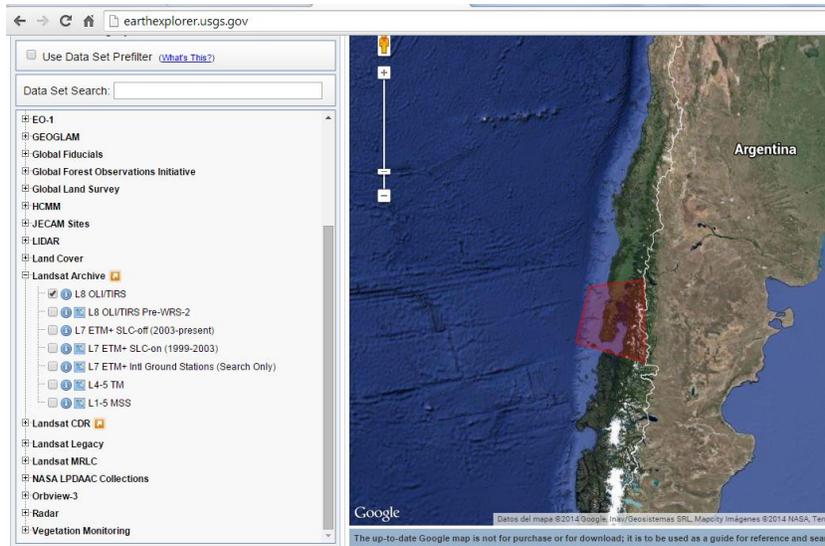
2.- Abrir la página <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

3.- Para seleccionar la zona de estudio, pueden cargarse las coordenadas en grados de Latitud y Longitud o bien dibujar un polígono sobre el área que se desea trabajar (Predefinid área, archivo shape o kml), dar clic sobre Results.

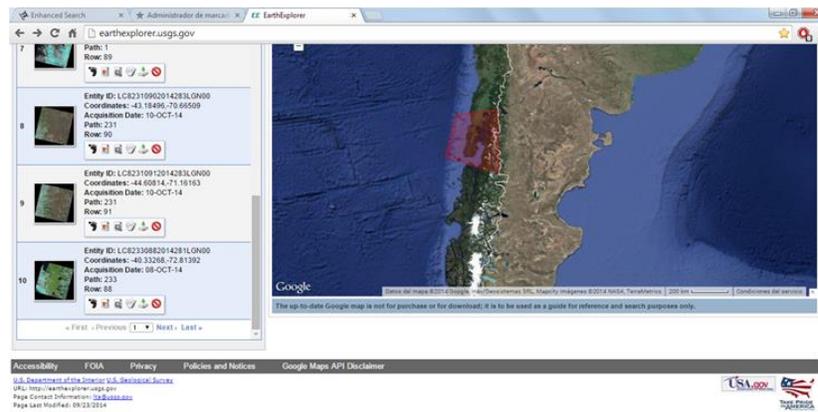
3.- En una ventana adicional, se pueden ver los archivos disponibles para una variedad de sensores.

4.- En el menú Data Access seleccionar Landsat Archive (Figuras 7 y 8). Se despliega una ventana con los distintos archivos que el satélite Landsat 8 posee para la zona seleccionada. En este resultado de imágenes, es posible realizar una visualización previa de la zona (para descartar imágenes con alta nubosidad), para posteriormente descargar la imagen deseada.

5.- La imagen seleccionada puede ser guardada directamente en el disco duro, para efectos de trabajar con todas las banda del satélite, se recomienda bajar “Level 1 GeoTIFF Data Product”.



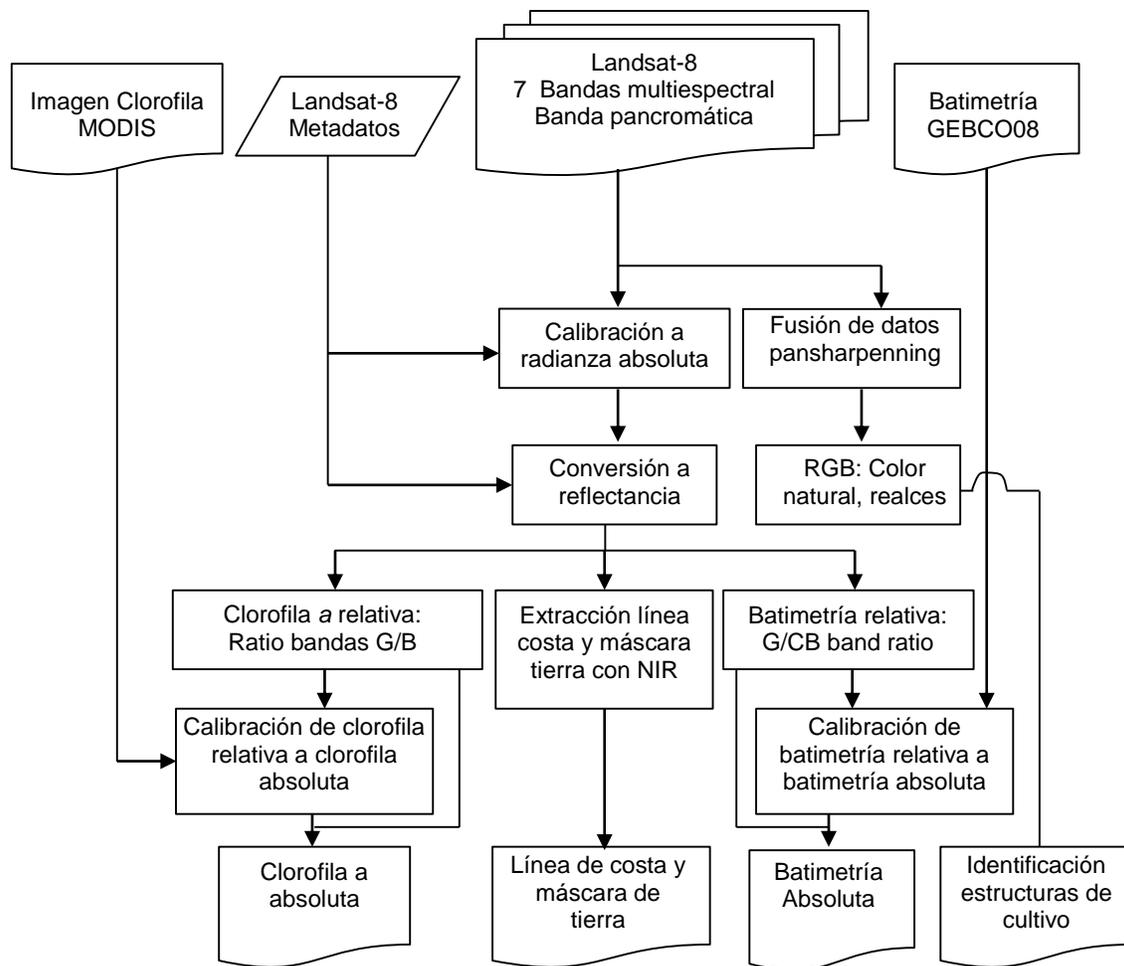
**Figura 7. Visualizador de imágenes satelitales USGS EarthExplorer.**



**Figura 8. Resultados del visualizador de imágenes satelitales USGS EarthExplorer para imágenes del satélite Landsat 8.**

### 2.2.3.2. Procesamiento de imágenes Landsat 8

Se propone un diagrama de flujo de trabajo para la adquisición, procesamiento y generación de productos de las imágenes satelitales que se muestra en la Figura 9. Se utilizara el software ENVI 5.1 para el procesamiento de las imágenes satelitales Landsat 8. En primer lugar se importaran la totalidad de imágenes en archivos pancromático y multiespectral y se generaran imágenes en formato ENVI 5.1 con extensión \*.img. Las imágenes serán georreferenciadas de UTM 19S a UTM Zona 18S que es el sistema de referencia de la base cartográfica de la División de Acuicultura.



**Figura 9. Diagrama de flujo de trabajo para la adquisición, procesamiento y generación de principales productos de las imágenes Landsat 8.**

Se generaran productos de imágenes satelitales para la identificación de estructuras de acuicultura (balsas jaulas, línea de cultivo, etc.). Una vez importadas y georreferenciadas las imágenes en ENVI se aplicaran transformación de las imágenes con una fusión o image pan-sharpening entre las imágenes multiespectrales y las pancromáticas. El pan-sharpening combina una imagen multiespectral de resolución media (30 m para Landsat 8) de color con una imagen pancromática (15 m para Landsat 8) de escala de grises de alta resolución para crear una imagen de alta resolución (15 m) en color fusionada. Además, se probará una serie de métodos de pan-sharpening disponibles en ENVI: Hue, Saturation, and Value (HSV), Color Normalized (Brovey), Gram-Schmidt Spectral Sharpening, principal component (PC) Spectral sharpening, Color Normalized (CN) spectral sharpening. Se propone seleccionar el modelo Gram-Schmidt Spectral Sharpening y el método de Low Resolution Pan llamado "Average of Low Resolution Multispectral File", con un método de remuestreo (resampling) del tipo Bilineal. En términos generales, el método de Gram-Schmidt es más preciso que el método de PC y que los otros métodos, por lo tanto éste se recomienda para

la mayoría de las aplicaciones (Ver <http://www.exelisvis.com/docs/GramSchmidtSpectralSharpening.html>).

Las imágenes serán procesadas y se generaran archivo resultantes del Gram-Schmidt Spectral Sharpening con extensión ENVI (\*.img y \*.hdr) y GeoTIF (\*.tif). La imágenes multiespectrales pan-sharpening generadas serán desplegadas en ENVI como Color Natural (Banda azul (450 – 510  $\mu\text{m}$ )) para R (canal rojo), Band 2 (Banda verde (530 – 590  $\mu\text{m}$ )) para G (canal verde) y Band 3 (Banda roja (640 – 670  $\mu\text{m}$ )) para B (canal azul), y se aplicaran diversos realces y contrastes de la imagen con el fin de poder tener el mejor producto para discriminar las estructuras de acuicultura, líneas de costa y otros patrones de interés. Cada imagen multiespectral desplegada como composición de Color Natural será guardada en formato GeoTIF (\*.tif), luego éstas serán retocadas en PhotoShop para cambiar su tamaño, extraer sub-imágenes windows o zooms y guardar en formatos ultralivianos como \*.GIF.

La metodología y flujos de trabajo estarán contenidos en las Guías de Laboratorio y en el Manual de Capacitación final.

El área de estudio se localiza en 14 sectores de la X<sup>a</sup> región de Los Lagos y XI<sup>a</sup> región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Se solicitara a la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura el archivo dwg con los barrios de interés. Este archivo será convertido a formato shape (.shp) en el software ArcGis 10.2 y, si es necesario, se realizará un recalcú de la superficie, en conjunto con funcionarios de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, del área total solicitada que según los TTR, Anexo 1, del proyecto corresponden a 3.313,62 km<sup>2</sup>.

Los polígonos de las áreas de interés deben cumplir con el siguiente criterio: en el espacio geográfico deben existir concesiones. Antes de realizar la adquisición de las imágenes satelitales Landsat 8 se programará una reunión con profesionales de la División de Acuicultura para su validación. Estas imágenes permitirán identificar las estructuras de cultivo principalmente de salmónidos en cuerpos de agua y serán utilizadas para obtener y/o identificar parámetros ambientales biofísicos como: batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar. Finalmente, las imágenes satelitales serán entregadas en formato original y con proceso Pansharp, en forma individual y/o en mosaico si fuese necesario, de acuerdo a la estructura de las áreas solicitadas: número de barrio y nombre del sector (Tabla 5). En la Tabla 5 se muestra la localización de los polígonos y números de los barrios de interés considerados en el proyecto.

**Tabla 5. Barrios de interés y sectores considerados en el proyecto Fase II.**

<b>X REGIÓN DE LOS LAGOS</b>			
<b>Barrio</b>	<b>Sector</b>	<b>Comuna</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
2	Seno Reloncaví	Puerto Montt	549,59
3a y 3b	Canal Calbuco, Isla Quihua, Pargua, Estero Huito, Isla Puluqui	Calbuco	549,59
4a	Río Maullín	Maullín	12,86
6	Bahía Manao-Bahía Hueihue	Ancud	20,52
8	Islas Chauques	Quemchi	350,56
9a	Isla Quinchao, Dalcahue	Curaco de Vélez	413,16
9b	Islas Meulin, Quenac, Caguache	Quinchao	114,09
9c	Isla Alao, Apiao, Chaulinec	Quinchao	122,05
10a y 10b	Canal Hudson, Estero Castro, Canal Lemuy y Canal Quehui	Castro- Puqueldón	304,67
10a	Isla Chelin-Isla Quehui	Castro	74,95
17a	Estero Comau	Hualaihué - Chaitén	172,16
17b	Isla Pelada - Isla Llancahué	Hualaihué	316,69
<b>XI REGIÓN DE AYSÉN DEL GENERAL CARLOS IBÁÑEZ DEL CAMPO</b>			
<b>Barrio</b>	<b>Sector</b>	<b>Comuna</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
27	Estero Quitralco	Puerto Aysén	141,81
25a y 25b	Estero Cupquelán	Puerto Aysén	170,92

### 2.2.3.3. Procedimiento para adquirir imágenes MODIS, VIIRS y MERIS

Configuraciones previas:

- 1.- El USGS Global Visualization Viewer (<http://glovis.usgs.gov>), requiere de un explorador Web de preferencia Microsoft Internet Explorer.
- 2.- Es necesario tener instalada la versión más reciente de Java plug-in (<http://java.com/en/download/index.jsp>).
- 3.- Abrir la página <http://edcdaac.usgs.gov/main.asp>. En el menú izquierdo en Data Access seleccionar GloVis Seleccionar la colección (MODIS Aqua / Terra o VIIRS NPP). Indicar el tipo coordenadas en grados de Latitud y Longitud de un punto en la zona de interés, o dar clic con el cursor en el Global Locator Map.
- 4.- Se despliega en una ventana adicional el USGS Global Visualization Viewer (en caso contrario revisar instalación de Java plug-in). Dando clic en Collection, se puede seleccionar MODIS/Aqua /Terra o VIIRS/NPP y las imágenes correspondientes y descripciones a fin de descargar la temática que se requiera.

Una vez seleccionada el área y tipo de imagen se da clic en Add (se agrega la imagen en la parte superior). Una vez agregada la imagen se da clic en Order (para solicitar la imagen), se despliega una ventana con la información de la imagen a ordenar, y se da clic en Go to Check out (recordar que estas imágenes no tienen costo alguno). Se presenta un formulario con datos solicitados, una vez llenos los campos requeridos dar clic en Submit Order.

Una vez que la orden ha sido satisfactoria se proporciona un Order ID vía e-mail, se recibirá la confirmación de la solicitud (Order ID) y las indicaciones para realizar la descarga.

Las imágenes de materia total particulada (MTP) del sensor MERIS son adquiridas del sistema GlobColour (<http://www.globcolour.info>).

#### *2.2.3.4. Procesamiento de las imágenes MODIS, VIIRS y MERIS*

Los datos para la elaboración de imágenes de clorofila *a* y temperatura superficial del mar son procesados y provistos por NASA/Goddard Space Flight Center, la información está disponible gratuitamente en la página <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>.

La información a procesar para esta investigación considera diferentes niveles de proceso de las imágenes satelitales:

- Nivel L0\_LAC: Nivel 0 de datos, sin procesar y datos de carga útil en resolución completa, para aquellos casos en que se necesita una representación gráfica de mayor resolución.
- L2\_LAC: El nivel 2 de datos consta de las variables geofísicas (clorofila *a*, temperatura superficial del mar, carbono orgánico particulado, carbono inorgánico particulado, entre otros) en la misma resolución que la fuente de datos de nivel 1. Esta información es entregada diariamente. Estos datos constituyen la base para el monitoreo diario, donde la resolución entregada será de 250 metros.
- L3\_LAC: El nivel 3 de datos se compone de los datos acumulados de todos los productos de nivel 2, para el instrumento y la resolución se especifica, correspondiente a un período de un día, 8 días, un mes, o un año calendario. Los datos se almacenan en una representación de una red global, en resoluciones de 4 y 9 km<sup>2</sup>. Esta información se utilizará en aquellos casos en que la nubosidad no permita obtener imágenes diarias L2.

La información es procesada por NASA/Goddard Space Flight Center, entregando calibrados espectral y atmosféricamente los productos clorofila *a*, temperatura superficial del mar, carbono orgánico particulado, carbono inorgánico particulado. El procesamiento de esta información es posible realizarla a través de software de libre disposición como es el caso de SEADAS.

Dado que la información se proporciona corregida, sólo se hace referencia a la temporalidad de los datos, los cuales se pueden obtener a partir del mes de julio del año 2002.

Para efectos de corregir geoméricamente los datos, se utiliza el software ENVI 5.1 a través de su complemento “**ENVI Plugin for Ocean Color (EPOC)**”, siendo una conversión de archivos HDF y la georreferenciación de utilidad para los conjuntos de datos que se distribuyen actualmente a través del sitio web Ocean Color (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) o creados utilizando el Sistema de Análisis de Datos SeaWiFS (SEADAS, <http://seadas.gsfc.nasa.gov>). Nivel 1A, Nivel 2 y Nivel 3 conjuntos de datos SMI son compatibles con cinco sensores: MODIS de Aqua, Terra MODIS, VIIRS de NPP, SeaWiFS, CZCS y PTU. El plug-in funciona en todos los sistemas operativos que se pueden ejecutar IDL y ENVI.

Una vez obtenida las imágenes, se realiza la extracción de la zona en estudio, para lo cual se construye un polígono de área de influencia que incluya las zonas de interés de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Las imágenes de MTP del sensor MERIS son adquiridas del sistema GlobColour y son una estimación de la turbidez del agua medida en  $\text{g/m}^3$  o  $\text{mg/L}$ . El MTP es estimado usando el Algoritmo de Redes Neuronales MERIS C2R (Doerffer y Schiller, 2007), otra salida del algoritmo es la clorofila *a*. El producto MTP es válido para aguas Case II, i.e. aguas donde la partículas inorgánicas dominan sobre el fitoplancton (típicamente en aguas costeras).

#### ***2.2.3.4.1. Uso de Herramientas de Spatial Analyst de ArcGIS 10.2 para la comparación de información satelital***

La extensión ArcGIS Spatial Analyst proporciona un amplio conjunto de herramientas de análisis y modelado espacial tanto para datos raster (basados en celda) como de entidad (vector). Las capacidades de Spatial Analyst se separan en categorías o grupos de funcionalidades relacionadas. Conociendo las categorías se puede identificar qué herramienta en particular utilizar. Existen varias formas de acceder a las funcionalidades de Spatial Analyst. Con el geoprocésamiento, las operaciones de la caja de herramientas

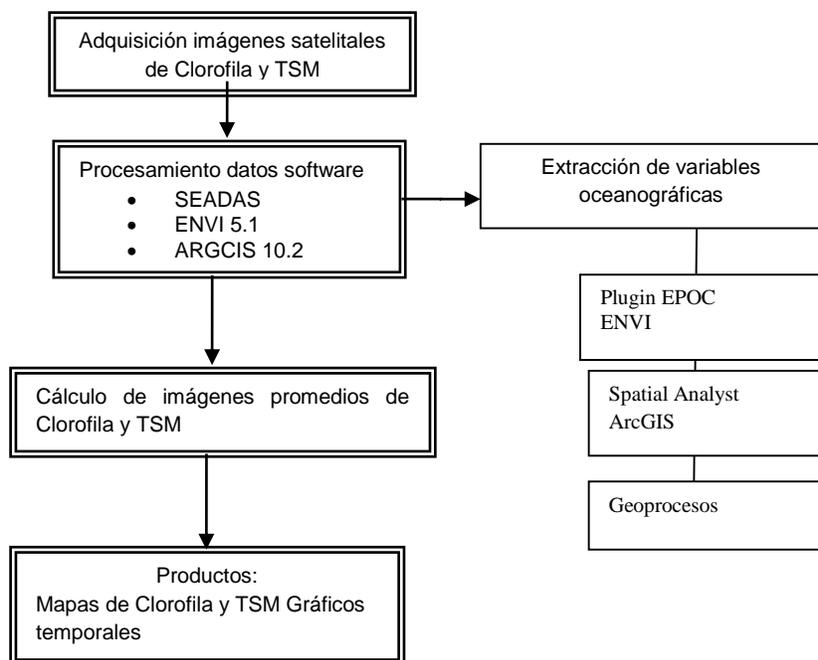
de Spatial Analyst se pueden realizar mediante un cuadro de diálogo Herramienta, Python (ya sea en una interfaz de línea de comandos interactiva o con una secuencia de comandos), o un Modelo.

Las operaciones tradicionales y los flujos de trabajo que utilizan álgebra de mapas también se pueden realizar en el entorno de Python. También existe una Calculadora raster disponible para introducir expresiones de álgebra de mapas simples que generan un raster de salida. Como se observa en la Tabla 6, las aplicaciones para herramientas zonales de Spatial Analyst permiten elaborar informes comparativos con la información base.

**Tabla 6. Las aplicaciones para herramientas zonales de Spatial Analyst. Fuente: ESRI, 2013.**

<b>Categoría de aplicación de herramienta zonal</b>	<b>Herramientas</b>
Herramientas que funcionan en las formas de la zona.	Geometría por zonas Geometría por zonas como tabla
Herramientas que funcionan en los atributos de la zona.	Estadísticas zonales Estadísticas por Zonas como tabla
Herramientas que determinan el área de las clases dentro de las zonas.	Área tabulada
Herramientas que determinan la distribución de frecuencia de los valores de un raster de entrada dentro de las zonas de otro.	Histograma de zona
Herramientas que rellenan zonas especificadas.	Relleno zonal

Posteriormente para su representación gráfica e incorporación de datos vectoriales (línea de costa, contornos, toponimia), se exportan las imágenes directamente desde ENVI a la plataforma de trabajo del software ARCGIS 10.2 (Figura 10).



**Figura 10. Esquema Metodológico para la comparación de información de variables oceanográficas en Spatial Analyst.**

### 2.2.3.5. Resumen de productos satelitales

A modo de resumen, se presenta la Tabla 7 donde se indican los satélites/sensores utilizados, su resolución espacial y los productos ambientales a generar y analizar durante el proyecto.

**Tabla 7. Satélite/sensor, resolución espacial y productos derivados a generar y analizar en el marco del proyecto.**

Satélite/sensor	Resolución espacial	Productos
Landsat-8/OLI (Operational Land Imager)	Multiespectral: 30 m Pancromática: 15 m	Fusión pansharpenning (Color natural), Identificación de estructuras de cultivo Máscara de tierra Batimetría, Concentración de clorofila <i>a</i>
Landsat-8/TIRS (Thermal Infrared Sensor)	100 m remuestreado a 30 m	Temperatura superficial del mar
AQUA/MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)	1.000 m	Temperatura superficial del mar Concentración de clorofila <i>a</i>
NPP/VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)	1.000 m	Concentración de clorofila <i>a</i> Carbono orgánico particulado Carbono inorgánico particulado
MERIS/ENVISAT	1.000 m	Materia particulada total

#### *2.2.4. Estructura de almacenamiento de las imágenes y productos satelitales entregados a Subpesca*

Adicionalmente, se almacenan y entregan a Subpesca las imágenes satelitales en una Geodatabase (GDB) de archivo de ArcGIS 10 donde se alojan las imágenes con el formato raster dataset de los distintos Barrios en estudio y de variables ambientales.

#### *2.2.5. Adquisición de licencias ENVI*

Se considera la compra de 2 licencias flotantes del software ENVI 5.1 para interpretación y procesamiento digitales de imágenes satelitales para la gestión territorial de la acuicultura y de estudios medio ambientales. ENVI tiene una serie de ventajas en diversos aspectos como funcionalidad, potencialidad, compatibilidad con diferentes formatos de datos, velocidad de procesamiento, compatibilidad con el SIG ArcGIS, entre otros. Este software ya ha sido probado por los profesionales de la División de Acuicultura los cuales fueron capacitados a través del proyecto ID N°4728-114-LP13, que ejecutó la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

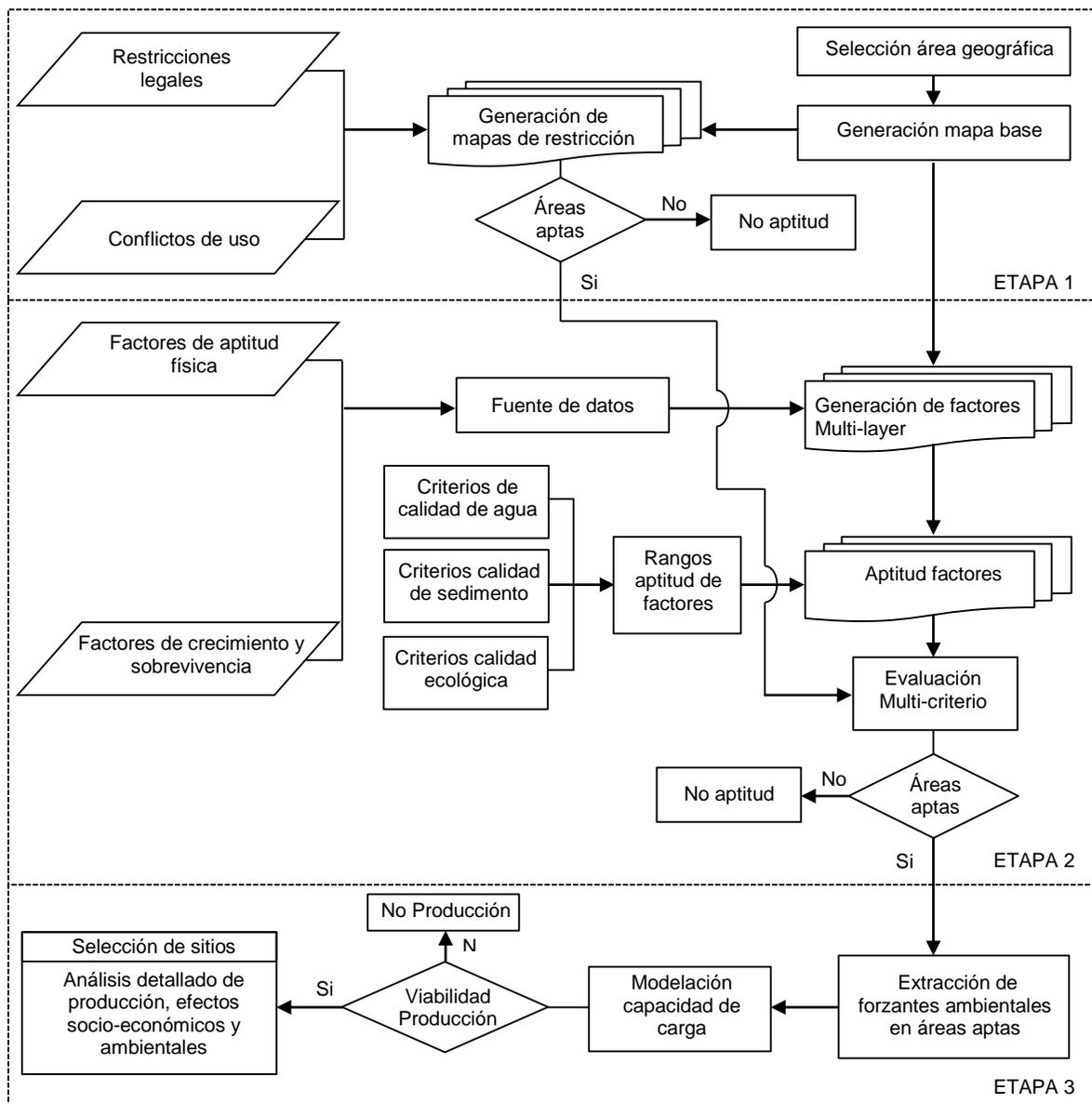
### 2.3. Objetivo específico ii) Identificar sitios aptos para la acuicultura, capacidades de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales.

La fuerte expansión de la industria de la acuicultura ha traído problemas ambientales significativos, dentro de los cuales incluyen el enriquecimiento orgánico del sedimento y eutrofización, contaminación química proveniente de productos farmacéuticos, orgánicos, bactericidas y metales (Antunes y Gil, 2004; Holmer et al., 2005; Cabello, 2006; Sapkota et al., 2008; Vezzulli et al., 2008). Los tomadores de decisiones de la acuicultura pueden mitigar estos impactos y problemas a través de la incorporación de un Enfoque Ecosistémico de la Acuicultura (EEA) en los planes de gestión (FAO, 2006; Soto et al., 2008; Aguilar-Manjarrez et al., 2010). Aplicaciones de la EEA incluyen la optimización de la selección del sitio, estimación de la capacidad de carga, monitoreo de indicadores ambientales de la acuicultura, evaluación de la resiliencia de los ecosistemas y de la acuicultura multitrofica integrada (AMTI) como enfoque de biorremediación que promueve el cultivo de moluscos en conjunto con la acuicultura de peces (Aguilar-Manjarrez et al., 2010).

Para el cumplimiento de este objetivo se aplica una metodología de dos etapas:

1. Levantamiento de información para la generación de bases de datos de indicadores ecosistémicos para las áreas de estudio (Figura 1).
2. Desarrollo y aplicación de un modelo ecosistémico multivariado para conformar una herramienta de selección de sitios aptos para el cultivo multitrofico integrado de salmónes y ostra japonesa (*Crassostrea gigas*).

El enfoque general utilizado en este objetivo 2 combina los resultados de un análisis de tres etapas involucradas en la selección de un sitio apropiado para la acuicultura de moluscos bivalvos (Figura 11). La Etapa 1 considera el levantamiento y espacialización de información de restricciones legales y sociales de los sitios potenciales de acuicultura, la segunda etapa utiliza una evaluación multicriterios (MCE) de datos espacializados de calidad de agua, sedimentos y ecológica para determinar la aptitud para el emplazamiento de sitios de acuicultura, y la Etapa 3 es un análisis detallado mediante un modelo de capacidad de carga a escala de la granja o centro de cultivo que considera la producción, salidas socioeconómicas y efectos ambientales construidos en base a los resultados de las Etapas 1 y 2. Cabe destacar, que para este proyecto sólo se cuenta con información de la calidad de agua y no se incorporan datos de calidad de sedimento y ecología, no obstante estos se muestran en el diagrama de flujo a modo de generalizar el enfoque metodológico.



**Figura 11. Diagrama de flujo de la metodología de selección de sitios para la acuicultura de moluscos (Adaptado del trabajo desarrollado por el Jefe de Proyecto, ver Silva et al., 2011).**

El área de estudio se localiza en las zonas costeras solicitadas (Barrios 2 al 17b) por el mandante en la Xª región (Figura 1).

### *2.3.1. Levantamiento de información para la generación de bases de datos de indicadores ecosistémicos*

Se considera la información regulatoria proveniente de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) en formato vectorial (shapefile) como polígonos de barrios de cultivo, áreas de concesiones de cultivo de salmones, áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB) y áreas aptas para acuicultura (AAA). Localización de concesiones de sitios de cultivo de salmones en el área de estudio son obtenidas de la información de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura utilizando información de marzo 2010 (SUBPESCA, 2010). Las AMERB para la explotación controlada (por las autoridades pesqueras) de los recursos bentónicos por pescadores artesanales están ubicados en la zona, y se consideran como un uso costero existente y valor social (MINECON, 1995). Datos georreferenciados de localización de AMERBs, son obtenidos de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura utilizando información de marzo 2010 (SUBPESCA, 2009). Restricciones legales relacionadas con las AAA, que son aquellas áreas geográficas de bienes nacionales de uso público, a través de una consulta adecuada con las agencias de los usos alternativos de las tierras o aguas, en las que el Estado está facultado para recibir y procesar aplicaciones para la acuicultura (MINECON, 2007, 2008). Datos georreferenciados de AAA son obtenidos del Decreto Supremo N° 792/1992 del Ministerio de Economía, Desarrollo y Reconstrucción el cual declara área aptas para acuicultura.

Se considera el uso de imágenes satelitales ambientales descritas en el Objetivo 1. Las imágenes satelitales ambientales corresponden a temperatura superficial del mar (TSM), salinidad, concentración de clorofila (C<sub>10a</sub>), carbono orgánico particulado, carbono inorgánico particulado obtenidos de satélites de resolución baja (1.000 m) como MODIS. Adicionalmente, y de forma exploratoria, se utiliza la información satelital multiespectral de resolución espacial media (30 m) del satélite Landsat 8 (Ver Capítulo 2.2.3.2. Procesamiento de imágenes Landsat 8) con la cual se explorará el desarrollo de indicadores como topografía, batimetría, clorofila, temperatura superficial, entre otros. Cabe señalar, que para el caso de la temperatura superficial del mar obtenida del Thermal Infrared Sensor (TIRS) a bordo de Landsat 8 tiene una resolución espacial real de 100 m pero ésta es remuestreada y representada en píxeles de 30 m.

Además, se utiliza información de salinidad y magnitud de corrientes marinas provenientes del modelo hidrodinámico HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) (Bleck, 2002). HYCOM es un Modelo General de Circulación Oceánica (OGCM) ampliamente utilizado que resuelve las ecuaciones hidrostáticas de Navier-Stokes (ecuaciones primitivas) aplicadas a una fina capa de océano estratificado en una Tierra en rotación. Más detalles técnicos del modelo hidrodinámico se encuentran disponibles en

el Manual Hycom para Usuarios ([www.hycom.org](http://www.hycom.org)) y sus referencias. Los datos HYCOM tienen una resolución espacial de 4 km.

Los datos de oxígeno disuelto son obtenidos de la base de datos del World Ocean Atlas 2013 (WOA13) los que fueron desarrollados por García et al. (2014) y complementados por los datos de oxígenos disuelto de los cruceros CIMAR FIORDOS 17 (Silva, 2013) y CIMAR FIORDOS 18 (Silva, 2014).

Se genera una base datos espacial y temporal de los indicadores ecosistémicos del área de estudio (Figura 1) en el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS 10.2. A modo de resumen, se presenta la Tabla 8 donde se indican los productos y fuentes de información utilizados. Cabe señalar, que en la Tabla 8 no se muestran los datos obtenidos de la información satelital, ya que éstos fueron entregados en la Tabla 7.

**Tabla 8. Resumen de datos utilizados y las fuentes de información, con excepción de la información provenientes de sensores remotos a bordo de satélites.**

<b>Producto de información</b>	<b>Fuente de información</b>
Áreas aptas de acuicultura	SUBPESCA
Áreas de manejo de recursos bentónicos	SUBPESCA
Concesiones de salmones	SUBPESCA
Barrios de cultivo	SUBPESCA
Salinidad	Modelo HYCOM
Oxígeno disuelto	World Ocean Atlas 2013

### *2.3.2. Modelo ecosistémico multivariado para la selección de sitios aptos para el cultivo de ostra japonesa*

Se desarrolla y aplica un modelo basado en herramientas SIG (geoestadística, fuzzy logic, multicriterio) y en las metodologías desarrolladas por Silva et al. (2011) para selección de sitios y capacidad de carga (física, producción, ecológica y social) de acuicultura, y el método adaptado por Silva et al. (2012a) para evaluación de estrategias de biorremediación con acuicultura multitrófica integrada de salmones y ostra japonesa (*Crassostrea gigas*). Se selecciona la ostra japonesa debido a que es una especie en la cual el modelo ya ha sido aplicado y validado en el sur de Chile (Silva et al., 2011), además que ha sido un molusco ampliamente cultivado en Chile comenzando en 1984 con 28 toneladas, no obstante la fuerte baja en los últimos años pasando de un máximo de 7.089 toneladas en 2001 a 44 toneladas en 2013

(SERNAPESCA, 1984-2013). Esta baja sostenida en el cultivo de ostra japonesa se debe principalmente al auge y buen negocio del cultivo del chorito (*Mytilus chilensis*) que motivó el cambio de especie objetivo en los centros de cultivo de moluscos. Actualmente la mayoría de los cultivos de Ostra japonesa se realizan en "long-lines" y los centros se distribuyen en la IV y principalmente en la X Región (SUBPESCA, 2014).

***Etapas 1: restricciones regulatorias y sociales***

La primera etapa es un análisis de aptitud utilizando restricciones regulatorias y sociales, y sirve para limitar el área de estudio, teniendo en cuenta las limitaciones legales y usos conflictivos para el cultivo de ostra japonesa. Una recolección de datos espaciales de diferentes fuentes, la generación de mapas temáticos para cada restricción y un proceso de superposición se utiliza para definir las áreas adecuadas.

***Etapas 2: aptitud para el cultivo de ostra japonesa utilizando evaluación multicriterio***

En la segunda etapa, se aplica una evaluación multicriterio (MCE) en ArcGIS teniendo en cuenta los criterios (calidad del agua y calidad ecológica) que definen la idoneidad y sus factores constitutivos. Los factores y restricciones espaciales son proporcionados por la geografía, mecanismos de planificación marina (restricciones regulatorias; guías de calidad de sedimentos, agua y ecológica; áreas de importancia de pesquerías locales y de pequeña escala; áreas protegidas y de manejo de recursos bentónicos marinas; y problemas de navegación y tráfico marítimo) y los requerimientos para el desarrollo de cultivos marinos (batimetría, calidad del agua para crecimiento y supervivencia, hidrodinámica, etc.) (Inglis et al., 2000; McKindsey et al., 2006).

La aptitud  $S_{(x,y)}$  es calculada como la media geométrica de todos los factores, modificada por su rango de aptitud de factor (RAF) que convierte los datos originales a valores estandarizados de aptitud acuícola (Arnold et al., 2000; Vincenzi et al., 2006), y posteriormente limitada por las restricciones:

$$S_{(x,y)} = \prod_{i=1}^n RAF_{(x,y,i)} \text{ Donde } C_{(x,y)} = 1 \text{ y } S_{(x,y)} = 0 \text{ donde } C_{(x,y)} = 0 \quad (1)$$

donde:

$RAF_{(x,y,i)}$  es el factor espacialmente variable modificado por su RAF en niveles de aptitud;  $i=1\dots n$  es un índice que identifica los parámetros de entrada correspondientes; y  $C_{(x,y)}$  es la imagen de restricciones espacialmente variable.  $S_{(x,y)}$  es un valor binario que puede ser 0 (no apto) o 1 (apto). Los RAF de la calidad del agua y disponibilidad de alimento se pueden obtener de la literatura científica sobre la fisiología y el crecimiento de moluscos cultivados.

### ***Etapa 3: modelación dinámica en sitios seleccionados***

En la tercera etapa, se aplica un análisis detallado de la producción, las salidas socio-económicas y los efectos ambientales por medio de un modelo de capacidad de carga a escala de granja utilizando forzantes ambientales de las áreas previamente identificadas como aptas. La producción potencial de la capacidad de carga de un área se refiere a la densidad de población que permite maximizar una cosecha sostenible de los moluscos, mediante la determinación de la producción óptima a largo plazo que el área puede soportar (Inglis et al., 2000). El modelo FARM (Farm Aquaculture Resource Management) es aplicado en las áreas aptas seleccionadas en las etapas anteriores para evaluar la producción potencial, los beneficios socioeconómicos y las externalidades ambientales negativas y positivas.

Las características generales y la aplicación del modelo FARM se han descrito en Ferreira et al. (2007), y la aplicación a múltiples ecosistemas y especies de moluscos en Ferreira et al., (2009). El modelo simula los procesos a escala de granja mediante la integración de una combinación de modelos físicos y biogeoquímicos, modelos de crecimiento de moluscos y peces, y modelos screening para la determinación de óptimo de producción, ingresos y gastos, biodeposición, evaluación de la eutrofización y emisiones de nutrientes. Los requerimientos de entrada del modelo se pueden dividir en tres grupos: (i) series de tiempo de los forzantes de condiciones ambientales como temperatura y salinidad del agua, velocidad de corriente, régimen de mareas, Cloa, materia orgánica particulada (MOP), materia total particulada (MTP) y oxígeno disuelto, (ii) datos sobre las dimensiones y posicionamiento de los sistemas de cultivo para los moluscos, existencia de balsas-jaulas de peces, etc.; y (iii) práctica de cultivo (por ejemplo, densidad de semillas, período de cultivo y peso individual de cosecha). Una variedad de modelos de crecimiento individual de moluscos y peces están disponibles para la simulación en el software FARM. En este trabajo se utilizó el modelo AquaShell™ (Ferreira et al., 2010), validado para la ostra japonesa por Silva et al. (2011) utilizando curvas de crecimiento experimentales determinadas por Möller et al. (2001) para el estuario Valdivia. El modelo individual utiliza un enfoque de balance de energía neta (por ejemplo, Kobayashi et al., 1997) y se basa en funciones publicados en la literatura (Brigolin et al., 2009, Hoffmann et al., 1995, Kobayashi et al., 1997; Ren and Ross, 2001), representando procesos fisiológicos clave, junto con nuevas formulaciones. AquaShell se desarrolló con los siguientes objetivos: a) simular el cambio en el peso individual, expresada en peso de tejido seco y escalado a peso fresco total (con concha) y a longitud de concha; b) integrar los componentes físicos y biogeoquímicos relevantes, es decir, alometría, MTP, temperatura y salinidad, y particionar los recursos alimentarios fitoplancton y detritus; y c) proporcionar

retroalimentaciones ambientales para la producción de partículas de excreción de desechos orgánicos (heces y pseudoheces) de nitrógeno disuelto, y el consumo de oxígeno disuelto. FARM integra una versión adaptada del modelo screening de eutrofización ASSETS (Bricker et al., 2003), para evaluar los impactos de un centro de cultivo o granja de moluscos usando las concentraciones de clorofila-*a* y oxígeno disuelto como indicadores (Ferreira et al., 2007). Estos indicadores se combinan en una matriz de decisión para la Condición de Eutrofización (CE) (Bricker et al., 2003) y se utilizan para obtener el grado de clasificación definitiva del Estado del sistema (muy bueno, bueno, moderado, deficiente o malo) para cada potencial sitio de cultivo, siguiendo el esquema de clasificación de la Directiva Europea Marco del Agua (DMA o WFD en inglés).

2.4. *Objetivo específico iii) Instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar la información proveniente de imágenes satelitales.*

Para cumplir con este objetivo se propone realizar el Curso de Capacitación "**MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II**", para el cual se propone el uso complementario de la Aula Virtual de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (<http://aula.virtual.ucv.cl/>) para potenciar las prácticas educativas y los procesos de enseñanza y aprendizaje con uso de tecnologías con el objetivo de incorporar espacios virtuales como apoyo al curso de capacitación y como una garantía de soporte por 2 meses después de entregado el informe final del proyecto. (Ver Propuesta de Servicios del Aula Virtual en Capítulo 2.3.4 Aula virtual PUCV).

#### 2.4.1. *Infraestructura y equipos informáticos*

Para la ejecución del curso, se propone el uso de los laboratorios y equipos informáticos de la sala multimedial en las dependencias de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Al respecto, la Escuela recientemente ha adquirido 15 computadores los cuales están a disposición de este curso, lo que permitirá contar con mejores capacidades para trabajar imágenes satelitales en el software requerido por el mandante lo cual permitirá mayor rapidez en los procedimientos así como mejor visualización de las imágenes en apoyo a la capacitación (Tabla 9). Además considerando la evaluación del curso anterior (FASE I) se utilizara una segunda sala para realizar la parte teórica de dicho curso. Ambas salas se encuentran dentro del entorno de la Escuela y no son necesarios grandes traslados.

**Tabla 9. Características de hardware en computadores para trabajo con software ENVI 5.1.**

Velocidad de CPU	3,5 GHz 6MB LGA 1150
Procesador	Procesadores Intel Core I5-4690
Memoria/RAM	8 GB 1600MHz DDR3 Non-ECC CL 11 DIMM
Placa madre	M/B INTEL H61H2-MV V1.0 S/V/L MATX(1155)
Resolución de pantalla	1024 x 768 como mínimo a tamaño normal (96 ppp)
Espacio en disco	Int WD 500 GB SATA 6Gb/s Caviar BLU

#### *2.4.2. Certificación del curso de capacitación*

El curso será certificado por la Dirección de Cooperación Técnica (DCT) dependiente de la Dirección General de Vinculación con el Medio de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la cual emitirá los respectivos certificados de aprobación según los requisitos establecidos (calificaciones sobre 4,0 y asistencia 100%).

#### *2.4.3. Programa tentativo del curso*

En un principio se propone realizar 12 medias jornadas (4 hrs cada una) de capacitación y 4 evaluaciones, entregando una base teórica media avanzada con conceptos del campo de la teledetección para ser aplicados en acuicultura como al análisis de variables ambientales. Además se contempla entregar manuales en cada jornada de capacitación y como resultado al final del curso un manual que contiene todos los contenidos del curso. Sin embargo, en la tercera reunión de coordinación se definirán fechas y jornadas procurando de no entorpecer las labores propias de estos funcionarios y del servicio que prestan.

#### *2.4.4. Aula Virtual PUCV*

Adicionalmente y para cumplir con los requerimiento de las bases del proyecto, se propone el uso complementario del Aula Virtual de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (<http://aulavirtualpucv.cl/>) para potenciar las prácticas educativas y los procesos de enseñanza y aprendizaje con uso de tecnologías TICs con el objetivo de incorporar espacios virtuales como apoyo al curso de capacitación y como una garantía de soporte por 3 meses después de terminado el proyecto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. *Objetivo específico i) Asesorar en la selección de tipos de imágenes satelitales aplicado a los intereses de la acuicultura orientada a la identificación de estructuras de cultivo como también de análisis y estudios ambientales tales como batimetría, concentración de clorofila y temperatura superficial del mar, etc.*

#### 3.1.1. *Imágenes Landsat 8 OLI/TIRS*

Las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS se refieren a las imágenes obtenidas de los sensores Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS) a bordo del satélite Landsat 8. Las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS fueron procesadas con el software ENVI 5.1 y en computadores de alto rendimiento (CPU Core i7-3960X 3.3 GHz Extreme Edition, 12 núcleos, DDR3 64GB). Cabe señalar, que cada imagen Landsat 8 OLI/TIRS (10 bandas multiespectrales + 1 banda pancromática) en promedio pesa 1,78 GB y procesos como la fusión pancromática-multiespectral pan-sharpening generan archivos de hasta 3 GB, por lo cual se requiere de computadores de alto rendimiento y capacidad de memoria para lograr los resultados propuestos y un trabajo más eficiente. Los requisitos mínimos de hardware para ejecutar de forma óptima el software ENVI 5.1 se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10. Requisitos mínimos de hardware para ENVI 5.1.**

Velocidad de CPU	<b>2,2 GHz como mínimo; se recomienda Hyper-threading (HHT) o multinúcleo</b>
Procesador	Procesadores Intel Pentium 4, Intel Core Duo o Xeon; AMD, SSE2 como mínimo
Memoria/RAM	2 GB como mínimo
Propiedades de visualización	Profundidad de color de 24 bits
Resolución de pantalla	Se recomienda 1024 x 768 como mínimo a tamaño normal (96 ppp)
Espacio de intercambio	Determinado por el sistema operativo; 500 MB como mínimo.
Espacio en disco	2,4 GB; Además, es posible que se requieran hasta 50 MB de espacio en disco en el directorio del sistema de Windows (habitualmente C:\Windows\System32). 64 MB de RAM (mínimo), se recomiendan 256 MB de RAM o más. Se admiten chipsets NVIDIA, ATI e Intel.
Adaptador de vídeo/gráficos	Acelerador de gráficos con capacidad de 24 bits Se requiere runtime OpenGL versión 2.0 como mínimo y se recomienda Shader Model 3.0 como mínimo. Utilizar el controlador más actualizado disponible.
Hardware de red	Para License Manager se requiere TCP/IP simple, tarjeta de red o adaptador de bucle invertido de Microsoft.

Fuente: Elaboración propia en base a descripción de proveedor [www.exelisvis.com](http://www.exelisvis.com).

Al cruzar los requisitos mínimos de hardware para el software ENVI 5.1 (programa que tiene mayores exigencias de máquina que ArcGIS 10.2 y SEADAS), con las especificaciones técnicas del equipamiento computacional con el que cuenta la Unidad de Ordenamiento Territorial de SUBPESCA el cual se muestra en la Tabla 11, podemos asegurar que el hardware del mandante cumple con los requisitos del programa ENVI, por lo cual se puede asegurar el éxito y sustentabilidad del proyecto.

**Tabla 11. Especificaciones técnicas del hardware o estaciones de trabajo de los profesionales de la Unidad de Ordenamiento Territorial de SUBPESCA.**

Nombre del equipo	Características
Estaciones de trabajo Z420 CMT E5-1650	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato HP 2420 CMT (Convertible minitower). 600 Watt 90% efficient power supply.</li> <li>• Procesador Intel Xeon 55-1650 SixCore 3.2GHz. 12MB cache, DDR3-1600 memory. 130W, HTturboBoost (3.8GH2)</li> <li>• BUS Frontal N/A</li> <li>• Chipset Intel C602</li> <li>• Memoria RAM 8GB (4x2Gb) DDR3-1600 ECC 8 DIMM siots, Up to 64 G8 ECC</li> <li>• Disco Duro 128GB Solid State Orive (SSD) + 1TB SATA 6Gb/s 7200rpm</li> <li>• Unidad Óptica 16X DVD+—RW Superlviulti SATA, No MCR</li> <li>• Gráficos NVIDIA Quadro K2000 2GB GDDRS Graphics PCI Express 2.0 x16. Connectors: 1 Db-Dvlíl) output. 2 DisplayPort outputs</li> <li>• Dispositivos de Entrada Front: 2 USB 3.0. 1 USB 2.0, 1 IEEE 1394a standard, 1 microphone in, 1 headphone out. Rear: 2 USB 3.0, 4 USB 2.0, 2 IEEE 1394b ports via optional add-in PCie card, 1 audio in, 1 audio out, 1 microphon</li> <li>• Sistema Operativo Wíndows 7 Pro 64 Bit</li> </ul>

Fuente: Bases técnicas proyecto FIP2014-77.

En primer lugar se obtuvieron de SUBPESCA los Barrios de interés en formato \*.KMZ, correspondientes a 14 sectores de la Xª región de Los Lagos y XIª región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo

(Tabla 5 y Figura 1). Este archivo \*.KMZ fue convertido a formato shape (.shp) en el software ArcGis 10.2. Una vez conocidas las zonas se procedió a adquirir las imágenes considerando los polígonos de los barrios de interés, aquellas imágenes de fecha más actual y que contengan una baja (< 5%) cobertura de nubes. Se seleccionaron 3 imágenes que abarcan las zonas de interés y que corresponden a los archivos LC82330892014169 (zona: norte de Chiloé, fecha adquisición: 18 Junio 2014), LC82330902014169 (zona: sur de Chiloé, fecha adquisición: 18 Junio 2014) y LC82320922015021 (zona: región de Aysén, fecha adquisición: 21 Enero 2015).

Las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS vienen en archivos pancromático y multiespectral en formato \*.TIF y se importaron al software ENVI para su procesamiento. Las imágenes fueron georreferenciadas de UTM 18N a UTM Zona 18S que es el sistema de referencia de la base cartográfica de la División de Acuicultura.

### *3.1.1.1. Identificación de estructuras de acuicultura*

Se generaron productos de imágenes satelitales y mapas temáticos de acuerdo a necesidades existentes en la División de Acuicultura, en especial y prioritariamente se desarrolló un producto para la identificación de estructuras de acuicultura (balsas jaulas, línea de cultivo, pontones, muelles, etc.). Una vez importadas y georreferenciadas las imágenes en ENVI se aplicaron transformaciones como la fusión o image pan-sharpening entre las imágenes multiespectrales y las pancromáticas. El pan-sharpening combina una imagen multiespectral de baja resolución (30 m para Landsat 8 OLI/TIRS) de color con una imagen pancromática (15 m para Landsat 8 OLI/TIRS) de escala de grises de alta resolución para crear una imagen de alta resolución (15 m) en color fusionada. Se probaron una serie de métodos de pan-sharpening disponibles en ENVI: Hue, Saturation, and Value (HSV), Color Normalized (Brovey), Gram-Schmidt (GS) Spectral Sharpening, principal component analysis (PCA) Spectral sharpening, Color Normalized (CN) spectral sharpening. Se seleccionó el modelo Gram-Schmidt Spectral Sharpening y el método de Low Resolution Pan llamado "Average of Low Resolution Multispectral File" y con un método de remuestreo (resampling) del tipo Bilineal. En términos generales, el método de Gram-Schmidt es más preciso que el método de PC y IHS como lo demostraron los resultados obtenidos por Yáñez et al (2014) y en el trabajo de Sarp (2014) que compara los métodos GS, PCA y el Intensity-Hue-Saturation (IHS). Las imágenes fueron procesadas y se generaron archivo resultantes del Gram-Schmidt Spectral Sharpening con extensión ENVI (\*.img y \*.hdr), los cuales son entregados en un DVD junto al primer informe de avance del proyecto.

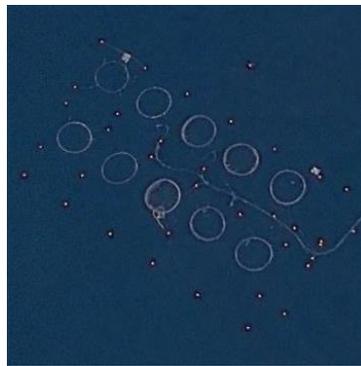
Las imágenes multispectrales pan-sharpening generadas fueron recortadas (Clip Raster) por Barrio de interés, generándose una serie de imágenes multispectrales pansharpening por Barrio las cuales son entregadas en el DVD junto al primer informe de avance del proyecto.

Las imágenes multispectrales pan-sharpening generadas fueron desplegadas en ENVI como Color Natural (Banda azul (0,45 – 0,51  $\mu\text{m}$ )) para R (canal rojo), Band 2 (Banda verde (0,53 – 0,59  $\mu\text{m}$ )) para G (canal verde) y Band 3 (Banda roja (0,64 – 0,67  $\mu\text{m}$ )) para B (canal azul), y se aplicaron diversos realces y contrastes de la imagen con el fin de poder tener el mejor producto para discriminar las estructuras de acuicultura, líneas de costa y otros patrones de interés. Cada imagen multispectral pan-sharpening generadas y desplegadas como composición de Color Natural con realces fueron recortadas por Barrio de interés y guardadas en formato GeoTIF (\*.TIF). La serie de imágenes multispectrales pansharpening por Barrio son entregadas en el DVD junto al primer informe de avance del proyecto. Como producto final para la identificación de estructuras de acuicultura se elaboraron mapas temáticos en ArcGIS 10.2 para cada uno de los Barrios de interés. Los mapas de los barrios de interés y sus respectivos análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento se muestran entre las Figuras 13 y 41.

Para identificar las diversas estructuras de acuicultura basta con un análisis visual detallado de las imágenes pan-sharpening de los Barrios de interés, ya sea directo en pantalla con el programa ENVI o imprimiendo los mapas temáticos, y esto sumado al juicio experto de los profesionales. Se realiza un análisis visual detallado de la superposición del polígono de concesiones sobre las imágenes multispectrales pan-sharp, obteniéndose tablas de datos por barrio con los siguientes campos: barrio, número de la concesión, número de estructuras de cultivo, dimensiones (m\*m) del área de estructura, tipo de estructura, tamaño jaula (m), configuración número de jaulas\* número de jaulas, estructura posicionada dentro o fuera de concesión y observaciones. Los resultados del análisis detallado de la identificación de estructuras por Barrio se entregan en las Tablas 12 al 27. Para visualizar el tipo de sistemas productivos identificados, en la Figura 12 se muestran los diferentes diseños de estructuras de cultivo identificadas como por ejemplo balsas jaulas cuadradas de 30 m \* 30 m con una configuración de número de jaulas \* número de jaulas igual a 9\*2 o balsas jaulas circulares de 30 m de diámetro con una configuración de 8\*3 jaulas.



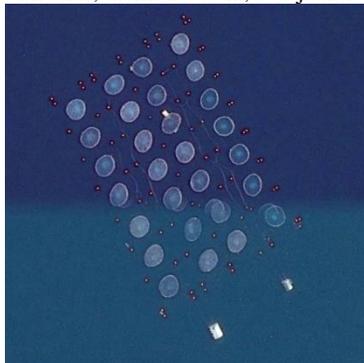
Circular, diámetro 40 m, 5\*3 jaulas



Circular, diámetro 30 m, 5\*2



Circular, diámetro 30 m, 8\*3



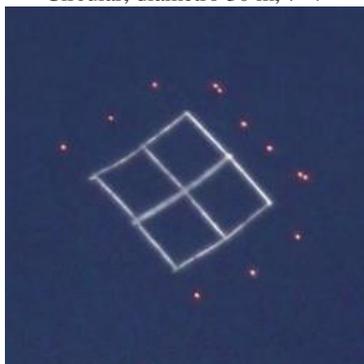
Circular, diámetro 30 m, 7\*4



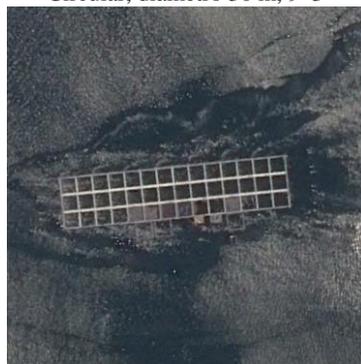
Circular, diámetro 30 m, 9\*3



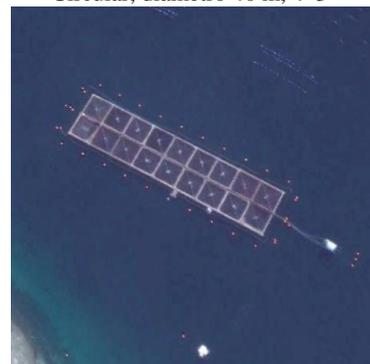
Circular, diámetro 40 m, 4\*3



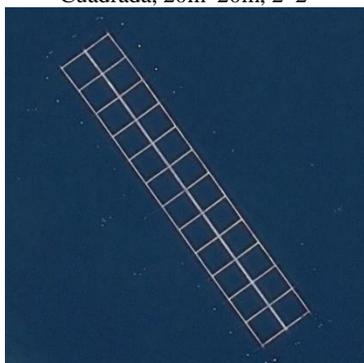
Cuadrada, 20m\*20m, 2\*2



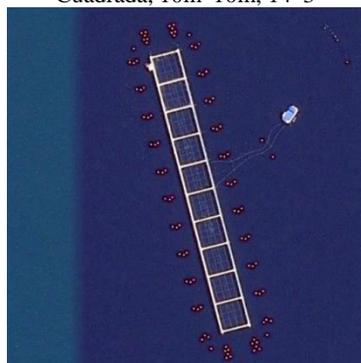
Cuadrada, 10m\*10m, 14\*3



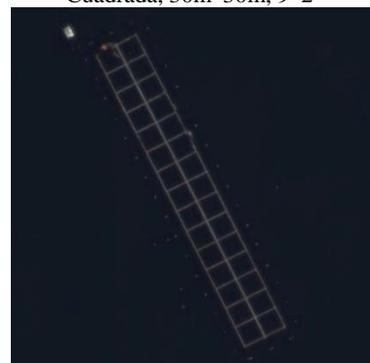
Cuadrada, 30m\*30m, 9\*2



Cuadrada, 30m\*30m, 12\*2

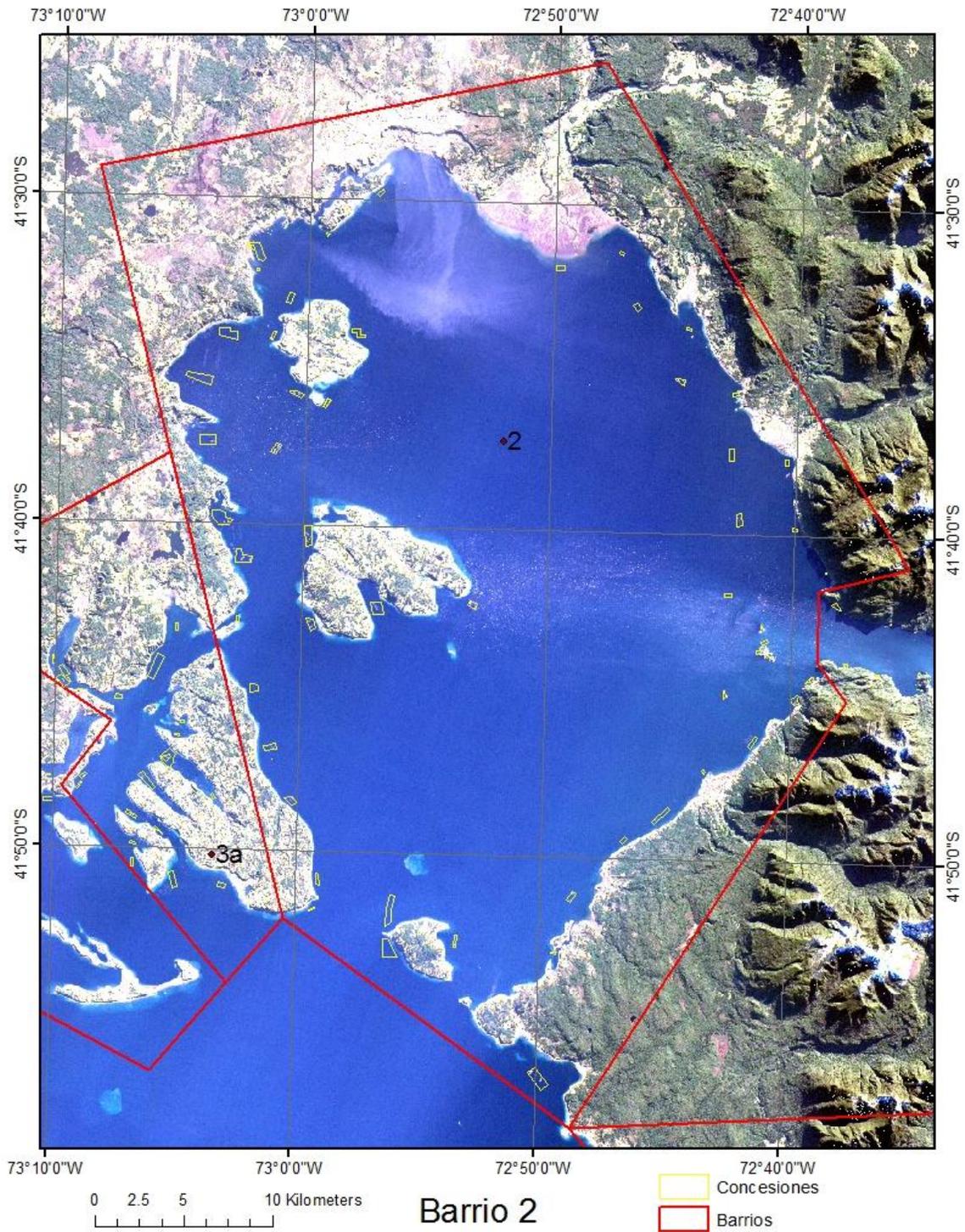


Cuadrada, 40m\*40m, 10\*1



Cuadrada, 30m\*30m, 15\*2

**Figura 12. Ejemplo de tipos, diseños y configuraciones de las estructuras de cultivo como balsas jaula cuadradas y circulares.**



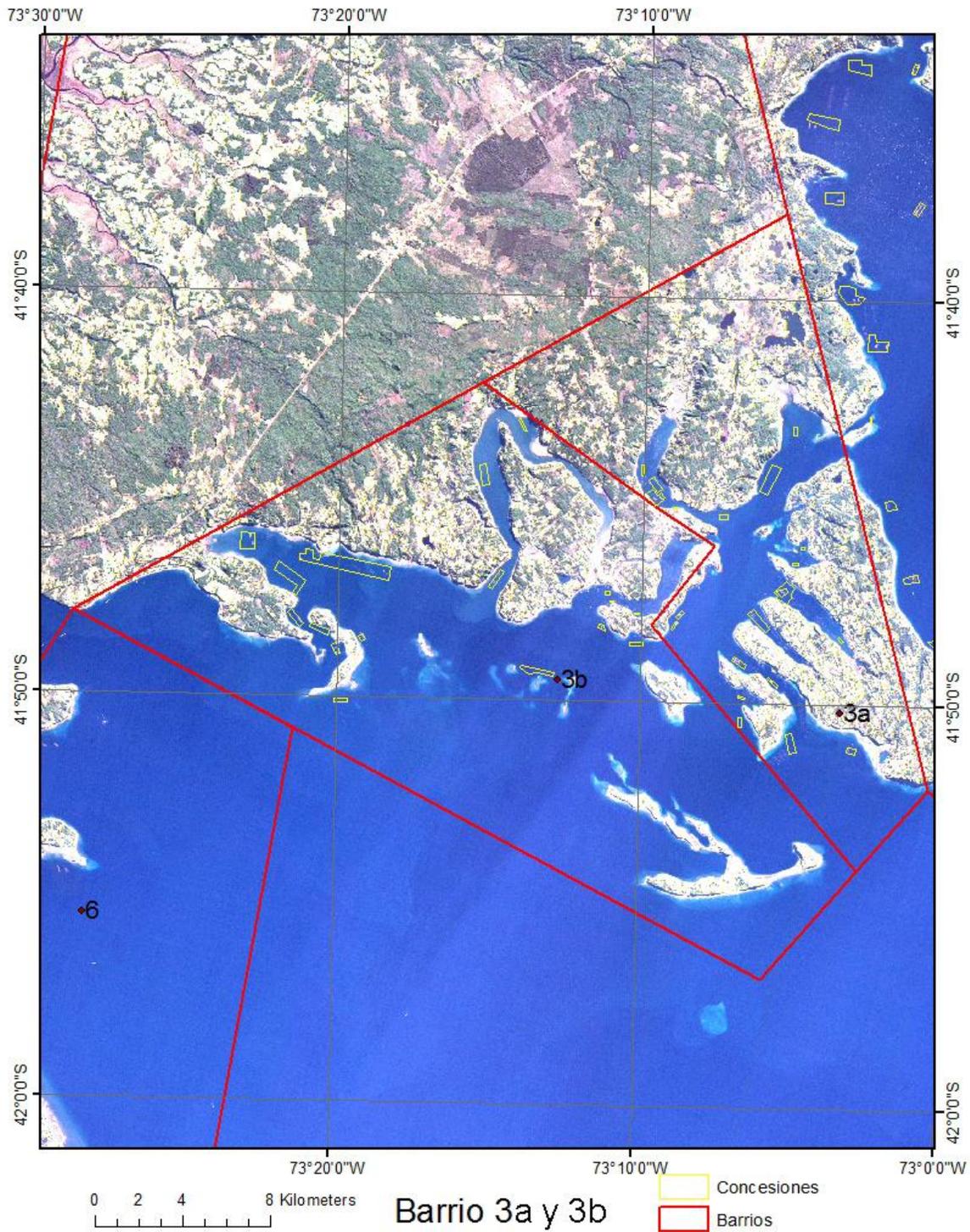
**Figura 13. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 2, Seno Reloncaví, Comuna de Puerto Montt, superficie de 549,59 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos, utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**



**Tabla 12. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 2.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m²m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
2	1	1	250*70	B.J. + casa (60*40)	8*2	30*30	dentro	
2	2	1	480*200	B.J. circular + casa (40*40)	3*8	40	fuera a 120m	
2	3	1	340*70	B.J. + casa (60*60)	11*2	30*30	dentro	
2	4	0	-	-	-	-	-	
2	13	0	-	-	-	-	-	
2	14	0	-	-	-	-	-	
2	23	0	-	-	-	-	-	sobre línea de costa
2	30	0	-	-	-	-	-	
2	31	0	-	-	-	-	-	
2	41	0	-	-	-	-	-	
2	42	0	-	-	-	-	-	
2	43	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
2	43	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
2	43	1	220*70	B.J. + casa (40*40)	7*2	30*30	dentro	
2	45	0	-	-	-	-	-	
2	46	1	280*70	B.J. + casa (40*40)	9*2	30*30	fuera a 480m	
2	47	1	400*200	B.J. circular + casa (40*40)	3*8	30	dentro	
2	51	0	-	-	-	-	-	
2	59	1	200*200	B.J. circular	3*5	40	dentro	
2	60	1	300*150	B.J. circular	2*5	30	20% fuera	
2	60	1	300*150	B.J. circular	2*5	30	60% fuera	
2	275	0	-	-	-	-	-	
2	293	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
2	296	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
2	296	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
2	299	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	299=313
2	302	1	340*200	B.J. circular	3*6	30	20% fuera	
2	305	0	-	-	-	-	-	
2	309	0	-	-	-	-	-	
2	312	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	496=312
2	313	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	299=313
2	318	1	280*280	B.J. circular + casa (40*40)	3*3	50	10% fuera	
2	380	0	-	-	-	-	-	
2	483	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
2	483	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	10% fuera	
2	484	1	310*70	B.J. + casa (40*40)	10*2	30*30	dentro	
2	485	1	400*100	B.J. circular	2*8	30	30% fuera	485=505
2	486	0	-	-	-	-	-	
2	487	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
2	487	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
2	488	0	-	-	-	-	-	
2	489	0	-	-	-	-	-	
2	490	0	-	-	-	-	-	sobre línea de costa
2	491	0	-	-	-	-	-	
2	492	0	-	-	-	-	-	
2	493	1	160*70	B.J. + casa (40*40)	5*2	30*30	dentro	
2	493	1	190*70	B.J. + casa (30*30)	6*2	30*30	dentro	
2	494	0	-	-	-	-	-	
2	495	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
2	495	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
2	496	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	496=312
2	497	0	-	-	-	-	-	
2	498	0	-	-	-	-	-	
2	499	0	-	-	-	-	-	
2	500	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	fuera a 120m	
2	500	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	fuera a 120m	
2	501	1	40*10	casa (40*10)	-	-	dentro	
2	501	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
2	501	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	dentro	
2	502	1	160*50	B.J. + casa (40*40)	7*2	20*20	90% fuera	
2	503	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	297=503
2	503	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	297=503
2	504	1	460*70	B.J. + 4 casa (40*40)	15*2	30*30	dentro	2*15
2	506	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
2	506	1	220*70	B.J. + casa (30*50)	7*2	30*30	dentro	
2	581	0	-	-	-	-	-	
2	582	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 15. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 3a y 3b, Canal Calbuco, Isla Quihua, Pargua, Estero Huito, Isla Puluqui, Comuna de Calbuco, superficie de 549,59 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpning. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

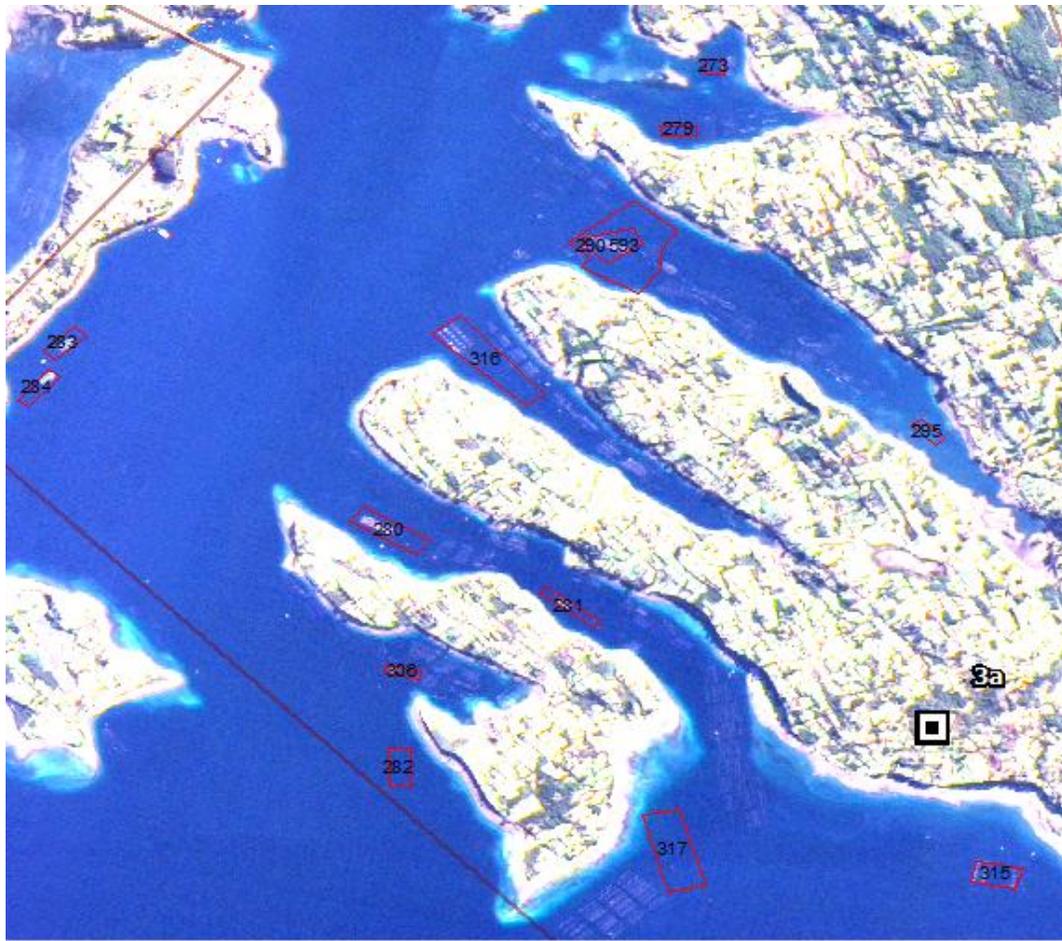


Figura 16. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 3a.

**Tabla 13. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 3a.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
3A	270	0	-	-	-	-	-	
3A	273	0	-	-	-	-	-	
3A	274	0	-	-	-	-	-	
3A	277	0	-	-	-	-	-	
3A	278	0	-	-	-	-	-	
3A	279	0	-	-	-	-	-	
3A	280	1	310*70	B.J. + casa (60*40)	10*2	30*30	dentro	
3A	281	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
3A	282	0	-	-	-	-	-	
3A	283	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
3A	284	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
3A	285	0	-	-	-	-	-	cultivo longline
3A	287	0	-	-	-	-	-	
3A	290	1	310*70	B.J. + casa (40*40)	10*2	30*30	dentro	290 = 593
3A	290	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	fuera a 10m	290=593
3A	295	0	-	-	-	-	-	
3A	306	1	70*50	B.J.	2*2	20*20	dentro	
3A	307	0	-	-	-	-	-	
3A	308	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
3A	308	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
3A	315	1	190*50	B.J.	8*2	20*20	dentro	
3A	315	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
3A	316	1	320*200	B.J. circular + casa (40*40)	3*6	30	dentro	
3A	317	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.

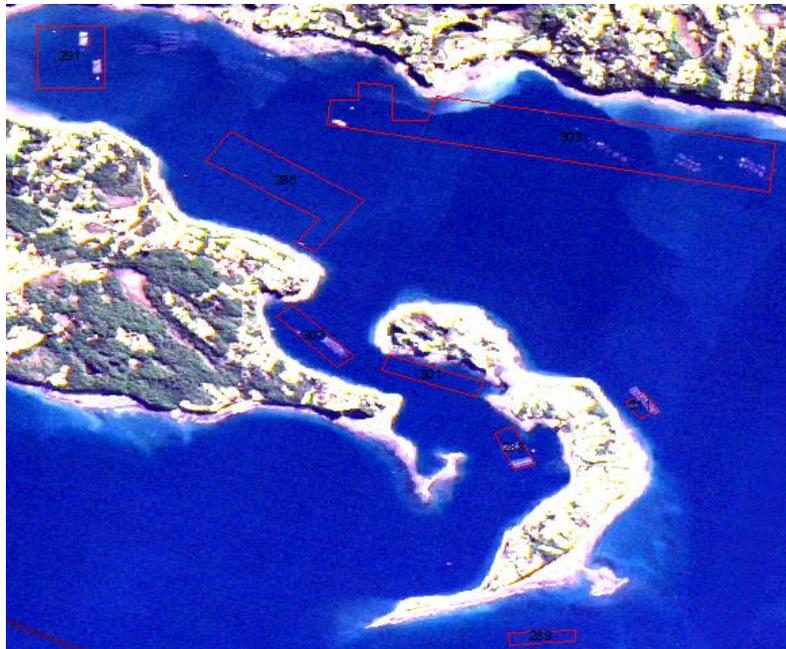
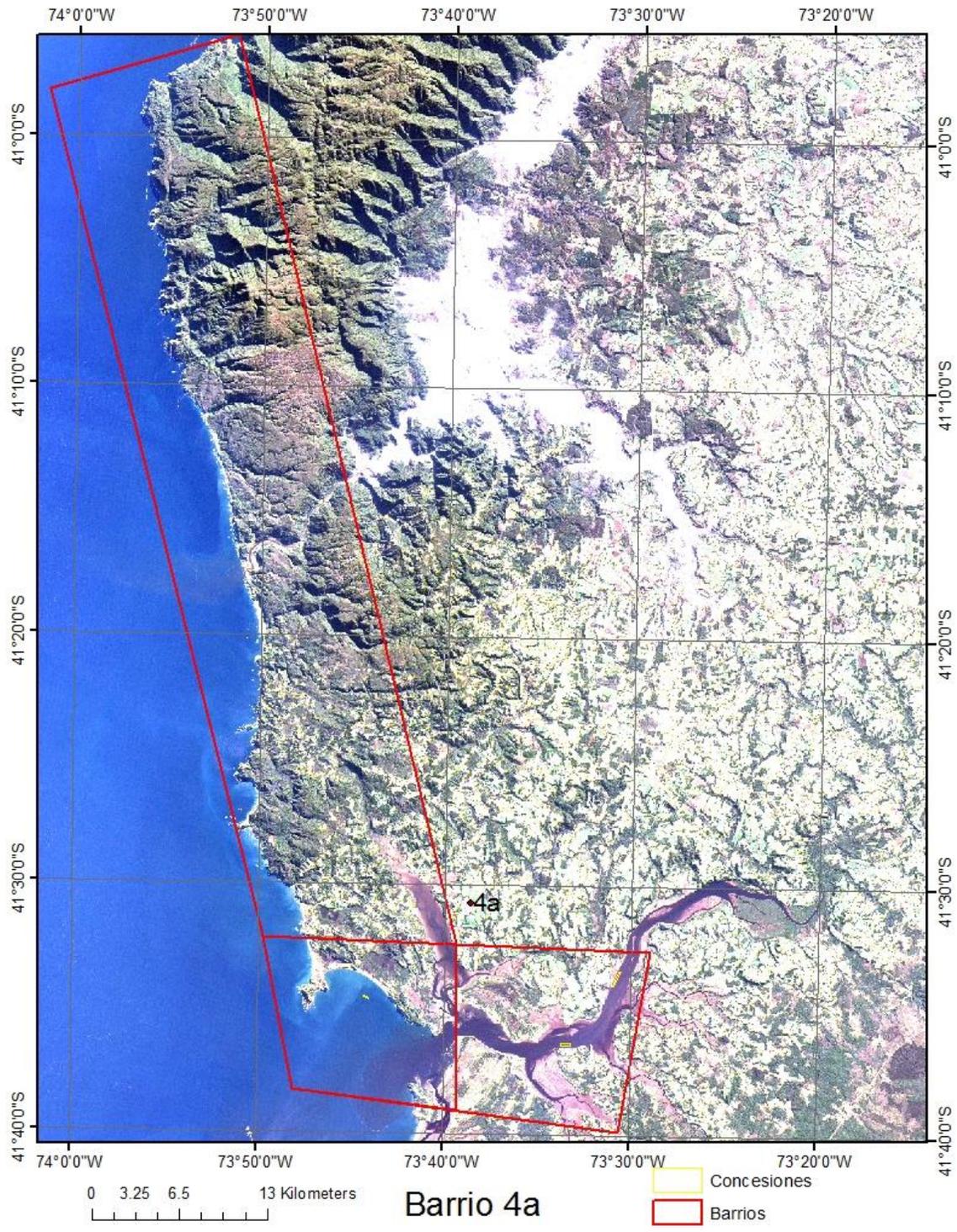


Figura 17. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 3b.

**Tabla 14. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 3b.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
3B	271	0	-	-	-	-	-	-
3B	272	0	-	-	-	-	-	-
3B	276	0	-	-	-	-	-	-
3B	286	0	-	-	-	-	-	-
3B	288	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
3B	288	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
3B	289	0	-	-	-	-	-	-
3B	291	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
3B	291	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
3B	292	1	30*10	casa (60*60)			dentro	
3B	294	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
3B	294	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
3B	298	0	-	-	-	-	-	-
3B	300	1	280*70	B.J. + casa (40*40)	9*2	30*30	dentro	
3B	301	0	-	-	-	-	-	-
3B	303	1	260*100	B.J. circular	2*5	30	dentro	
3B	303	1	260*100	B.J. circular	2*5	30	dentro	
3B	303	1	260*100	B.J. circular	2*5	30	dentro	
3B	303	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	dentro	
3B	304	0	-	-	-	-	-	-
3B	310	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
3B	311	1	400*70	B.J. + casa (60*60)	12*2	30*30	30% fuera	
3B	314	0	-	-	-	-	-	-

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 18. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 4a, Río Maullín, Comuna de Maullín, superficie de 12,86 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

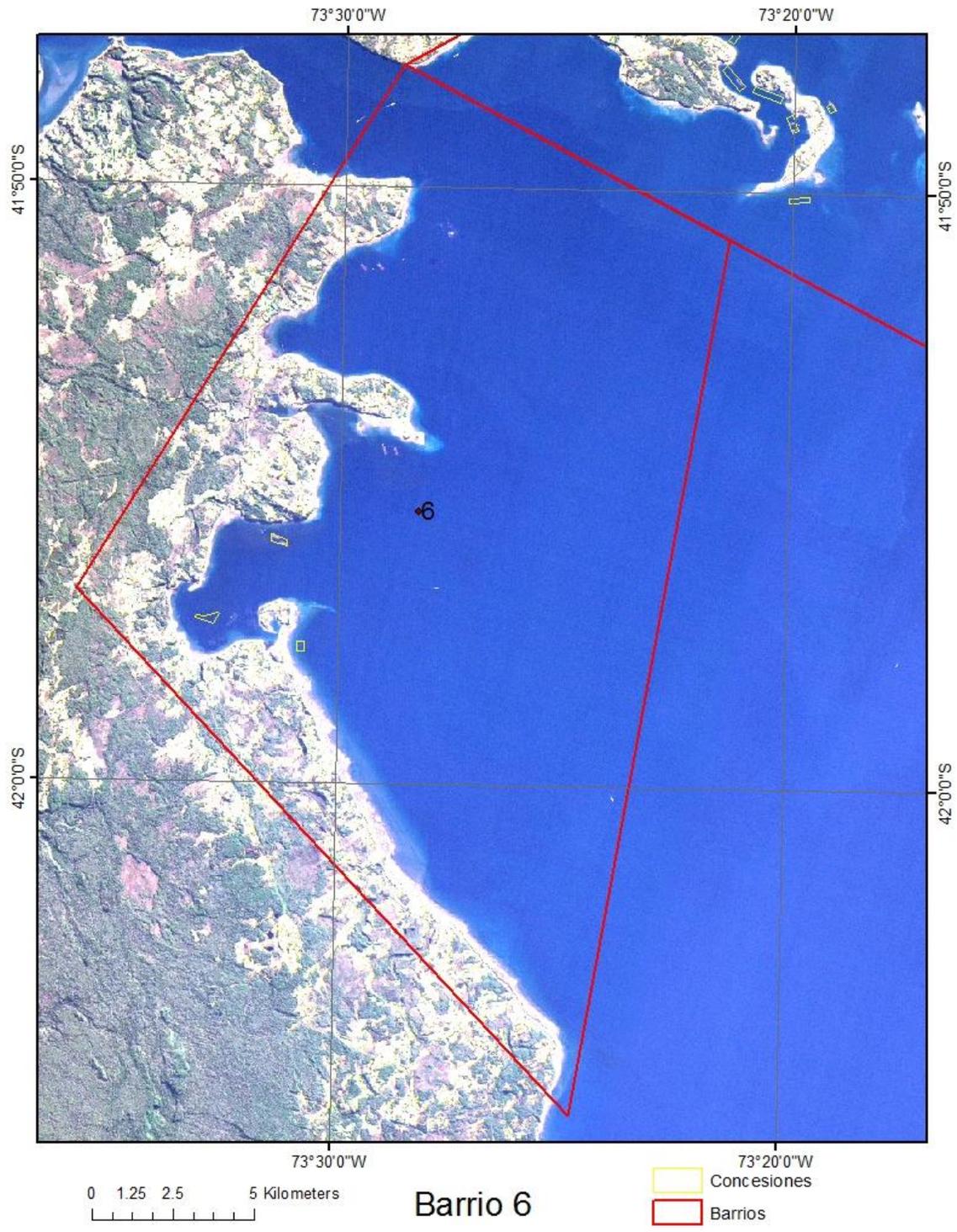


**Figura 19. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 4a.**

**Tabla 15. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 4a.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
4A	532	1	160*30	B.J.	14*3	10*10	dentro	
4A	532	1	160*30	B.J.	14*3	10*10	dentro	
4A	533	1	160*30	B.J.	14*3	10*10	90% fuera	
4A	533	1	160*30	B.J.	14*3	10*10	dentro	
4A	533	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	dentro	
4A	534	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 20. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 6, Bahía Manao-Bahía Hueihue, Comuna de Ancud, superficie de 20,52 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multispectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

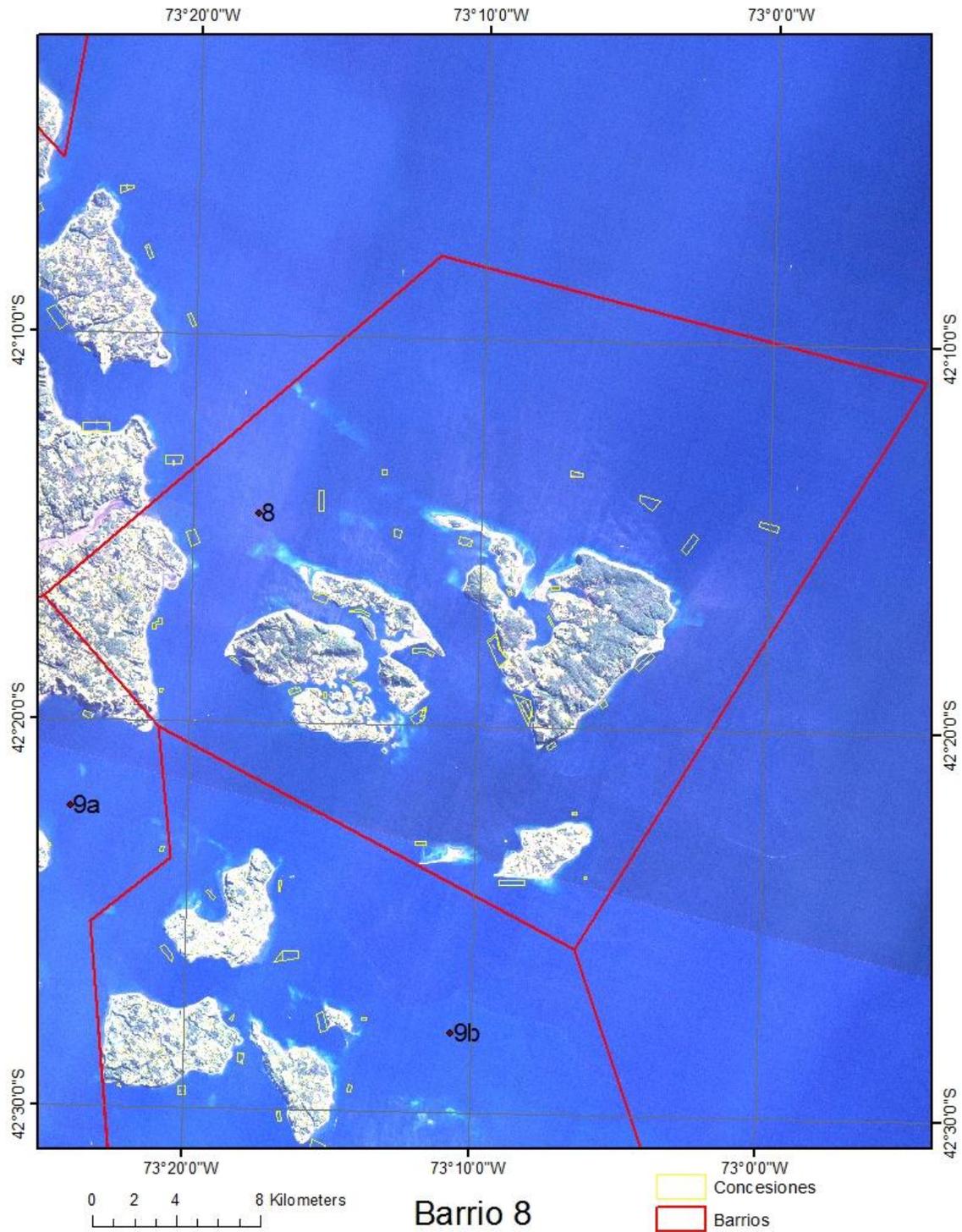


Figura 21. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 6.

Tabla 16. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 6.

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
6	320	0	-	-	-	-	-	-
6	320	1	250*70	B.J. + casa (60*60)	8*2	30*30	fuera a 9000m	
6	320	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	fuera a 9000m	
6	320	1	280*70	B.J. + casa (60*60)	9*2	30*30	fuera a 4000m	
6	320	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	fuera a 4000m	
6	330	0	-	-	-	-	-	-
6	334	1	250*70	B.J. + casa (40*40)	8*2	30*30	dentro	
6	334	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	dentro	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 22. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 8, Islas Chauques, Comuna de Quemchi, superficie de 350,56 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpning. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

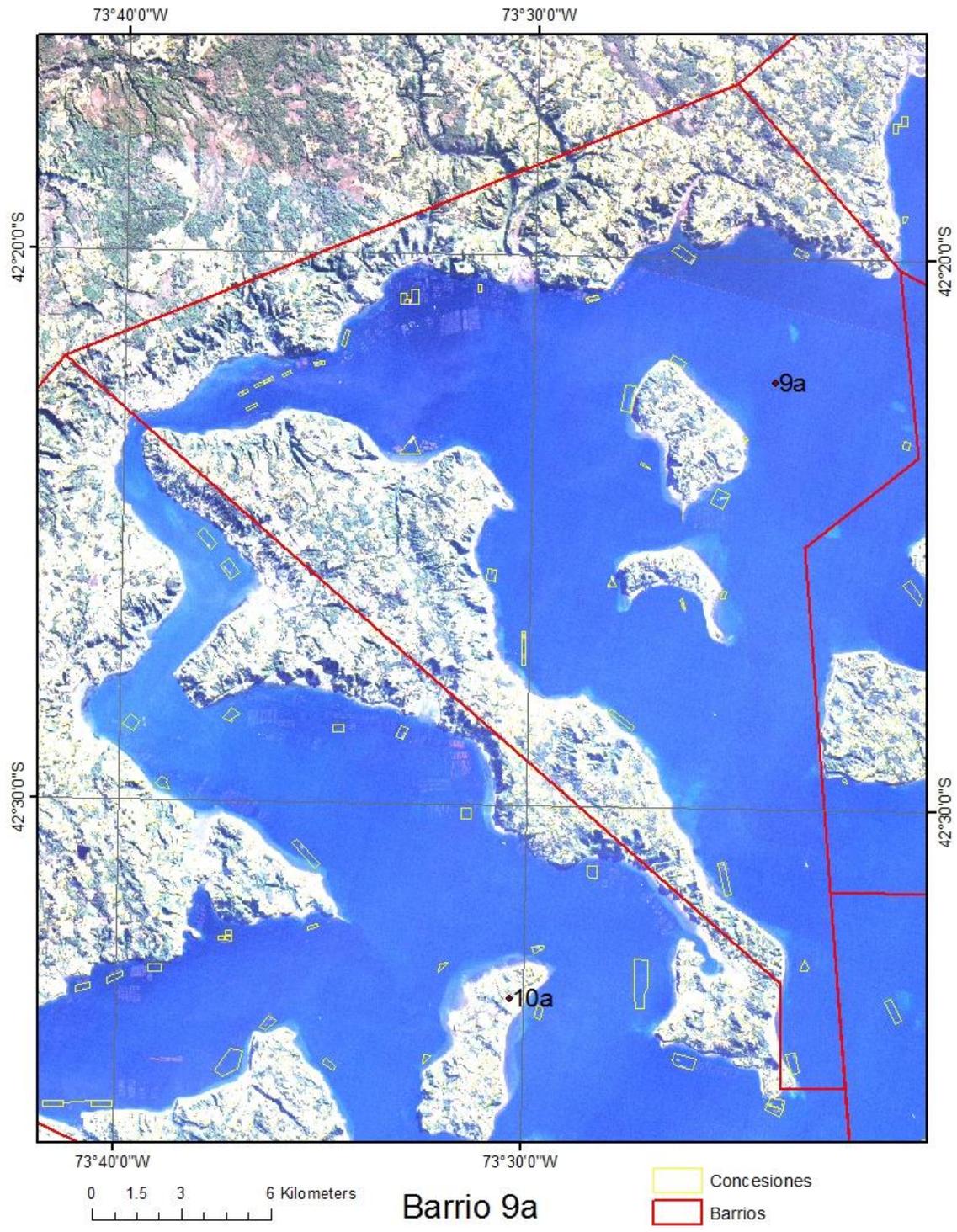


Figura 23. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 8.

**Tabla 17. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 8.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
8	74	0	-	-	-	-	-	
8	75	0	-	-	-	-	-	
8	94	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	94 = 152
8	94	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	94 = 152
8	94	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	94 = 152
8	94	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	94 = 152
8	95	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
8	95	1	130*50	B.J.	6*2	20*20	dentro	
8	98	0	-	-	-	-	-	
8	99	1	340*70	B.J. + casa (40*40)	11*2	30*30	dentro	361=99
8	100	0	-	-	-	-	-	
8	107	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	50% fuera	343=107
8	107	1	190*70	B.J. + casa (60*60)	6*2	30*30	30% fuera	
8	109	0	-	-	-	-	-	
8	112	0	-	-	-	-	-	
8	122	0	-	-	-	-	-	
8	128	0	-	-	-	-	-	339=128
8	136	0	-	-	-	-	-	
8	140	0	-	-	-	-	-	
8	141	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
8	145	1	340*70	B.J. + 2 casa (60*60)	11*2	30*30	dentro	344=145
8	146	0	-	-	-	-	-	
8	147	1	340*70	B.J. + casa (60*40)	11*2	30*30	dentro	
8	148	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	dentro	583=148
8	155	1	190*70	B.J. + casa (60*40)	6*2	30*30	dentro	
8	162	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	162 = 342
8	162	1	280*70	B.J. + casa (60*60)	9*2	30*30	dentro	162 = 342
8	163	0	-	-	-	-	-	
8	167	0	-	-	-	-	-	
8	178	1	340*70	B.J. + casa (60*60)	11*2	30*30	dentro	
8	332	0	-	-	-	-	-	
8	338	0	-	-	-	-	-	
8	340	0	-	-	-	-	-	
8	341	0	-	-	-	-	-	
8	345	1	-	-	-	-	-	
8	345	0	-	-	-	-	-	
8	357	0	-	-	-	-	-	
8	364	0	-	-	-	-	-	
8	584	0	-	-	-	-	-	
8	586	0	-	-	-	-	-	
8	588	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 24. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 9a, Isla Quinchao, Dalcahue, Comuna de Curaco de Velez, superficie de 413,16 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multispectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

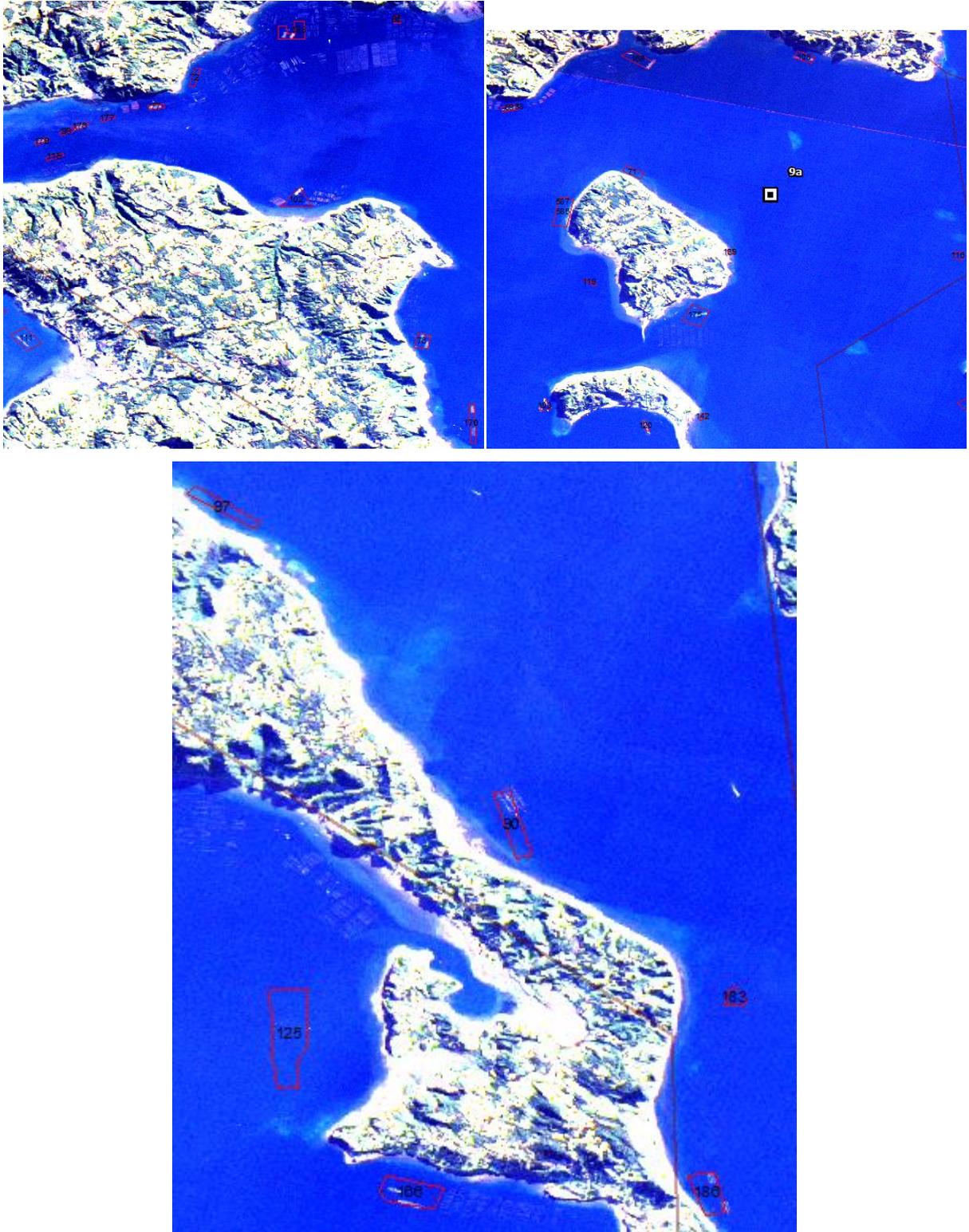
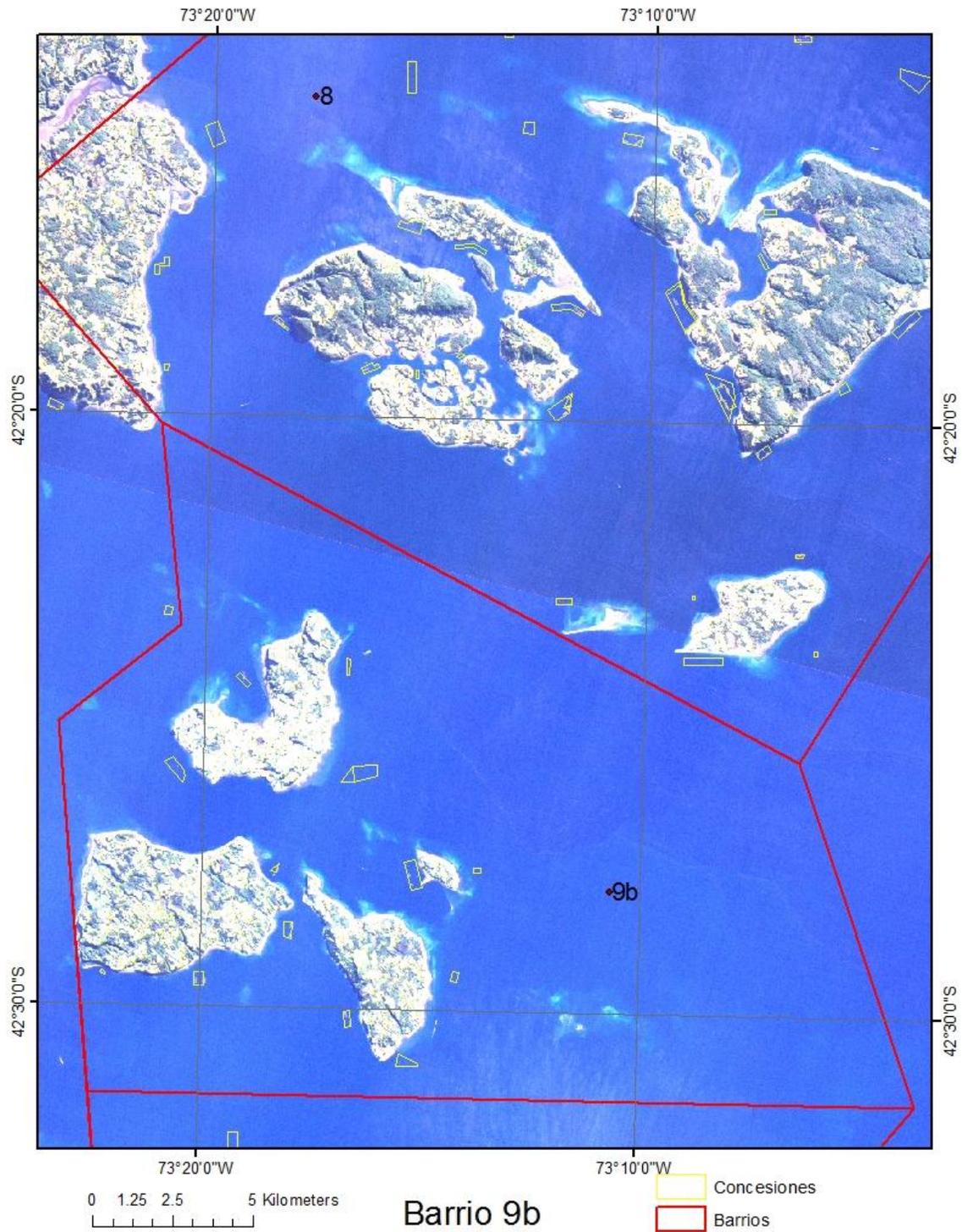


Figura 25. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en el Barrio 9a.

**Tabla 18. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 9a.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
9A	69	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
9A	71	0	-	-	-	-	-	
9A	72	0	-	-	-	-	-	
9A	76	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9A	76	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9A	77	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	dentro	
9A	83	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
9A	85	0	-	-	-	-	-	
9A	90	1	400*250	B.J. circular + casa (60*60)	4*7	30	50% fuera	
9A	93	0	-	-	-	-	-	
9A	97	0	-	-	-	-	-	
9A	102	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	20% fuera	
9A	103	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	50% fuera	
9A	103	1	220*70	B.J. + casa (60*60)	7*2	30*30	30% fuera	
9A	115	0	-	-	-	-	-	
9A	116	0	-	-	-	-	-	
9A	119	0	-	-	-	-	-	
9A	120	1	460*50	B.J. + 3 casa (60*60)	10*1	40*40	30% fuera	1*10, jaula de 45*45
9A	123	1	190*70	B.J. + 2 casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
9A	123	1	190*70	B.J. + 2 casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
9A	139	0	-	-	-	-	-	
9A	142	0	-	-	-	-	-	
9A	170	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
9A	170	1	220*70	B.J. + casa (60*60)	7*2	30*30	dentro	
9A	175	1	280*70	B.J. + casa (60*40)	9*2	30*30	dentro	
9A	176	1	160*70	B.J. + 2 casa (60*60)	5*2	30*30	dentro	
9A	177	0	-	-	-	-	-	
9A	179	1	160*70	B.J. + casa (60*60)	5*2	30*30	dentro	
9A	183	0	-	-	-	-	-	
9A	186	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
9A	186	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	60% fuera	
9A	585	0	-	-	-	-	-	
9A	587	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 26. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 9b, Islas Meulin, Quenac, Caguache, Comuna de Quinchao, superficie de 114,09 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multispectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

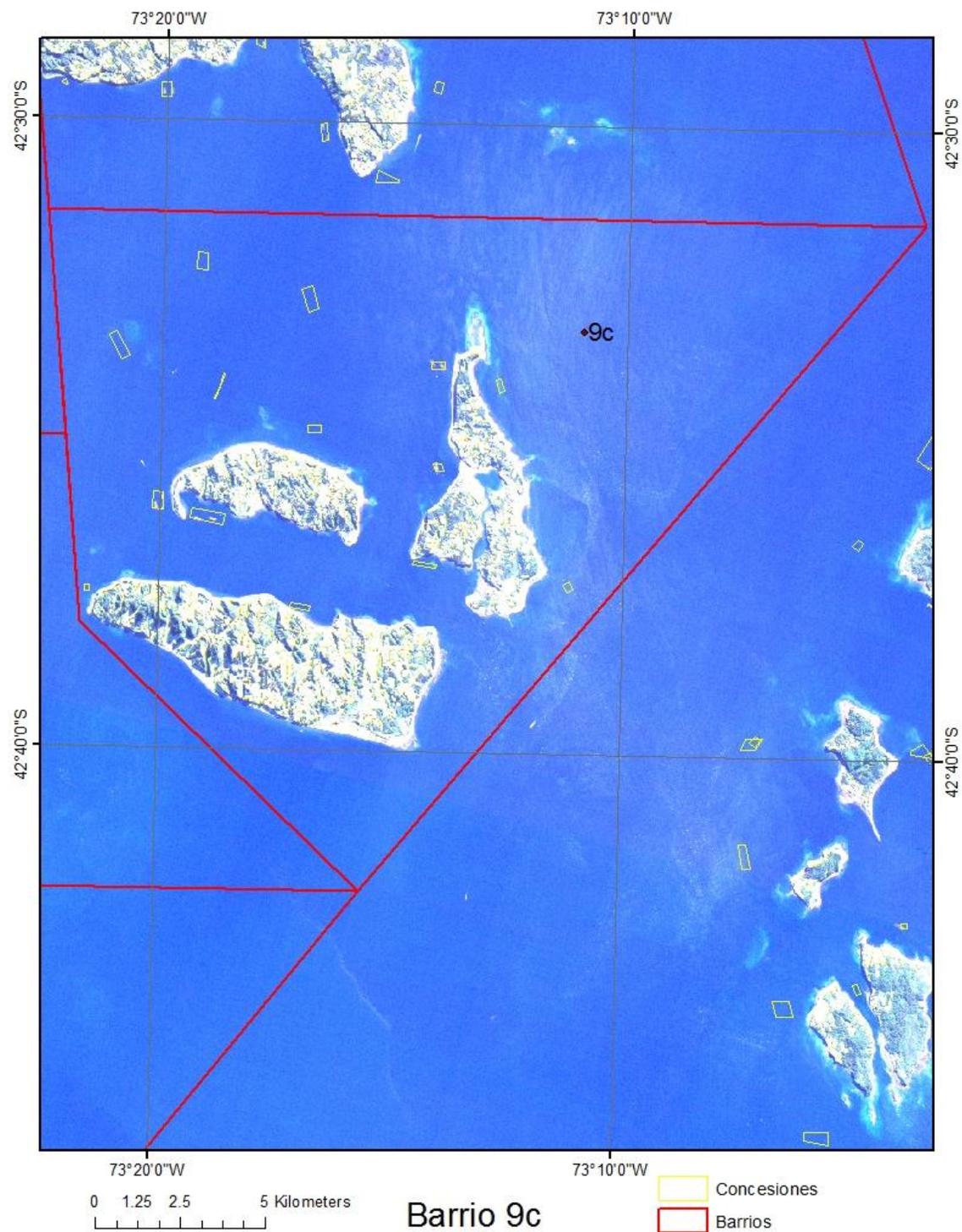


Figura 27. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en el Barrio 9b.

Tabla 19. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 9b.

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
9B	91	1	100*40	-	5*2	20*20	fuera a 500m	
9B	118	0	-	-	-	-	-	
9B	149	1	280*70	B.J. + casa (40*40)	9*2	30*30	60% fuera	
9B	150	0	-	-	-	-	-	
9B	154	0	-	-	-	-	-	
9B	181	0	-	-	-	-	-	
9B	185	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	20% fuera	
9B	187	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9B	187	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9B	188	1	100*70	B.J. + 2 casa (40*40)	3*2	30*30	dentro	
9B	190	0	-	-	-	-	-	
9B	191	1	190*70	B.J. + casa (80*40)	6*2	30*30	30% fuera	
9B	193	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	180=193
9B	193	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	60% fuera	180=193
9B	194	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9B	194	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9B	195	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 28.** Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 9c, Isla Alao, Apiao, Chaulinec, Comuna de Quinchao, superficie de 122,05 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multispectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.

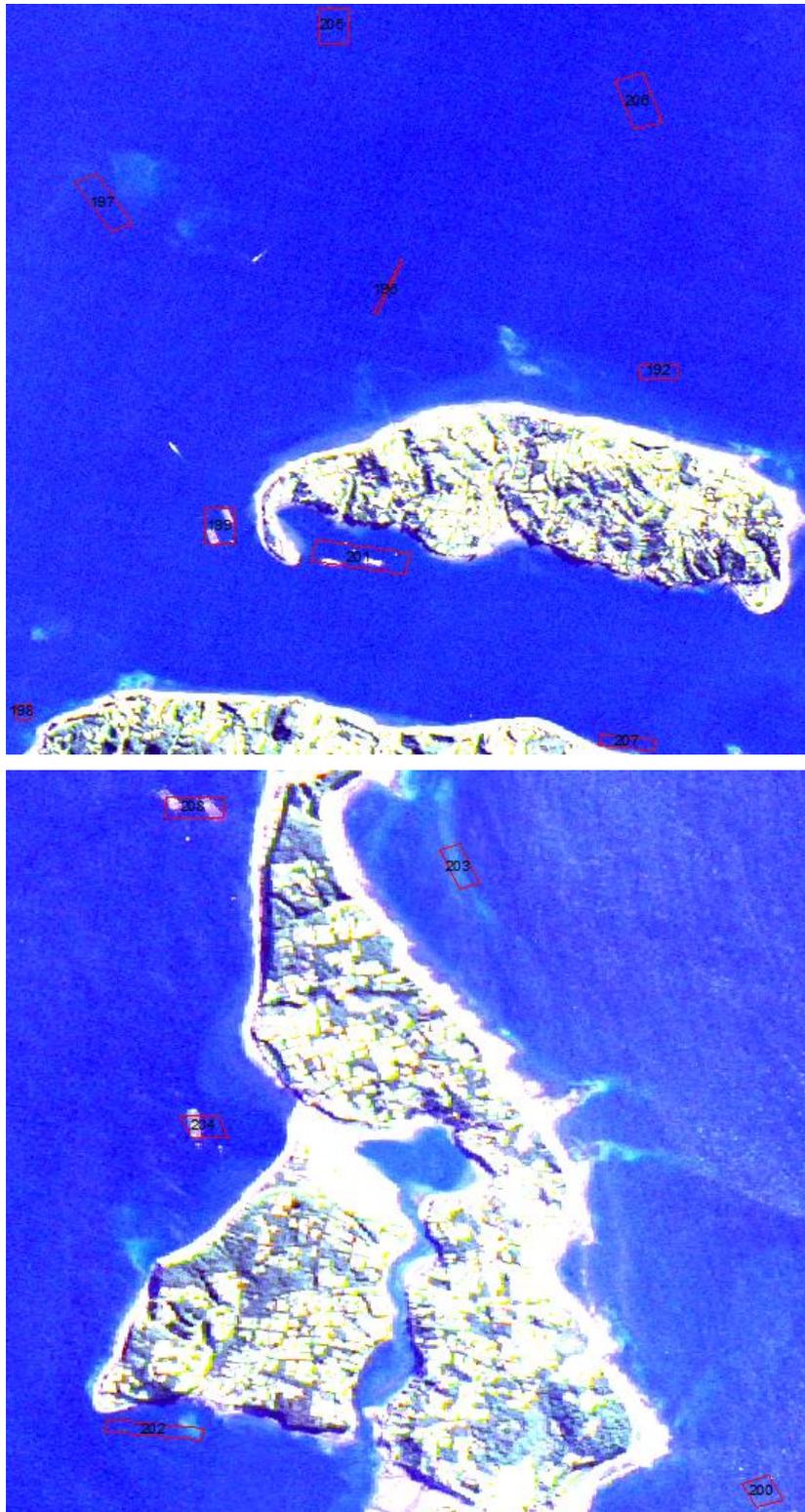
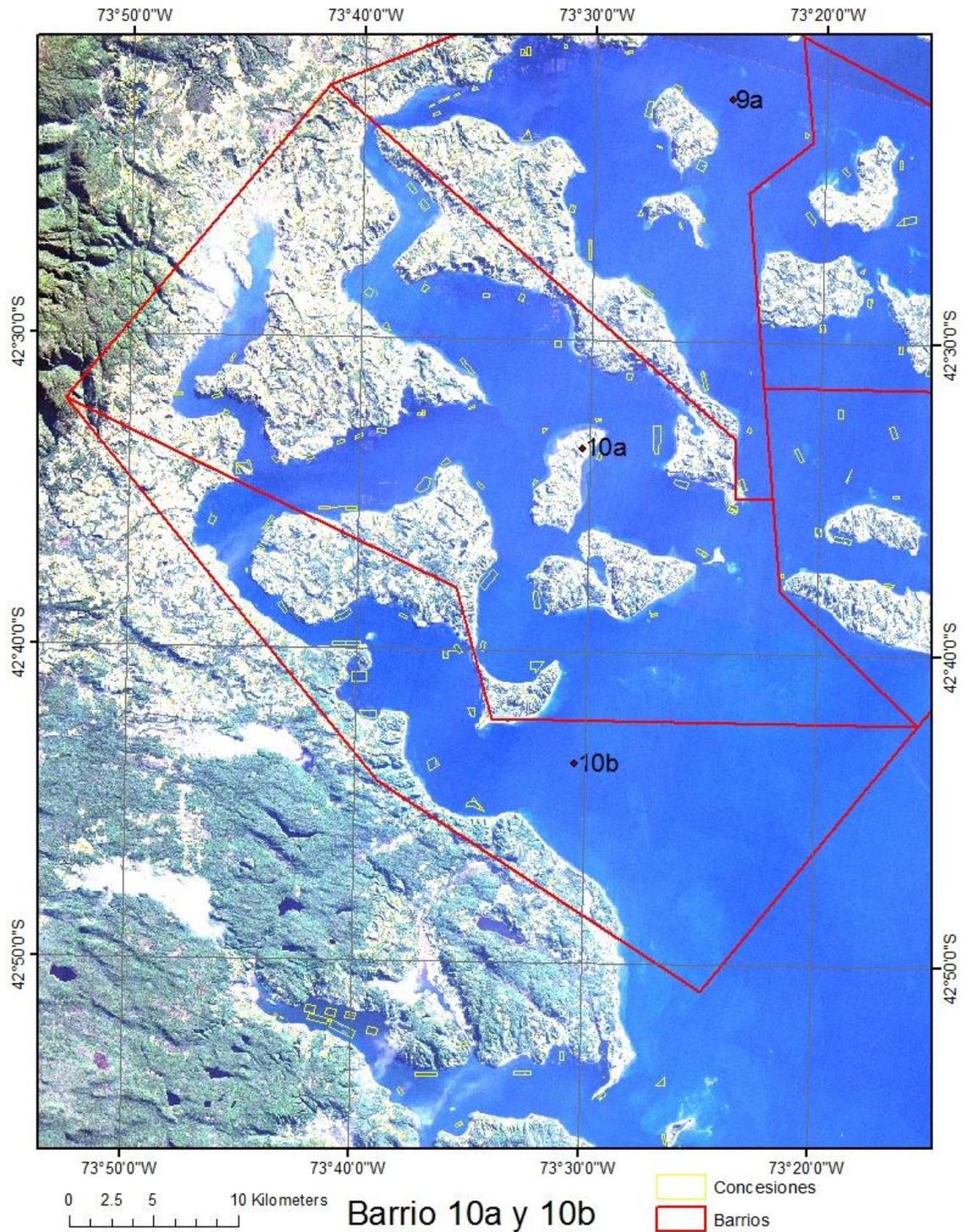


Figura 29. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 9c.

**Tabla 20. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 9c.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
9C	196	0	-	-	-	-	-	
9C	197	0	-	-	-	-	-	
9C	198	0	-	-	-	-	-	
9C	199	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
9C	199	1	250*70	B.J. + casa (60*60)	8*2	30*30	dentro	
9C	200	0	-	-	-	-	-	
9C	201	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
9C	201	1	190*70	B.J. + casa (40*40)	6*2	30*30	dentro	
9C	202	0	-	-	-	-	-	
9C	203	0	-	-	-	-	-	
9C	204	1	250*70	B.J. + casa (60*60)	8*2	30*30	20% fuera	
9C	205	0	-	-	-	-	-	
9C	206	0	-	-	-	-	-	
9C	207	0	-	-	-	-	-	
9C	208	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	30% fuera	
9C	208	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 30. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 10a y 10b, Canal Hudson, Estero Castro, Canal Lemuy, Canal Quehui, Comuna de Castro- Puqueldón, superficie de 304,67 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpning. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

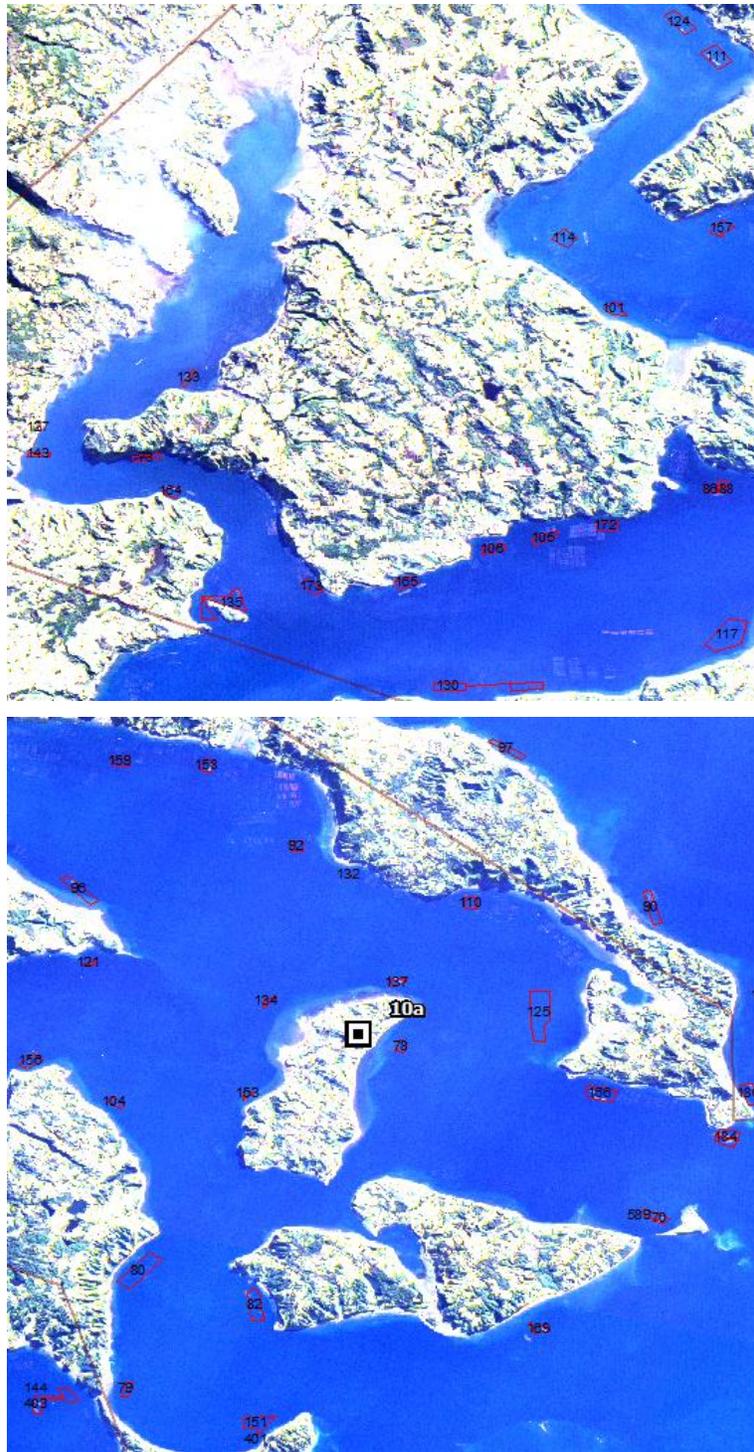


Figura 31. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 10a.

**Tabla 21. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 10a.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
10A	70	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	dentro	
10A	73	0	-	-	-	-	-	
10A	78	0	-	-	-	-	-	
10A	79	0	-	-	-	-	-	79=402
10A	80	0	-	-	-	-	-	
10A	82	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	40% fuera	
10A	86	0	-	-	-	-	-	
10A	87	0	-	-	-	-	-	
10A	88	1	220*50	B.J.	9*2	20*20	fuera a 30m	
10A	92	0	-	-	-	-	-	
10A	96	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
10A	101	0	-	-	-	-	-	
10A	104	0	-	-	-	-	-	
10A	105	0	-	-	-	-	-	
10A	106	0	-	-	-	-	-	
10A	110	0	-	-	-	-	-	
10A	111	1	130*50	B.J. + casa (60*60)	6*2	20*20	dentro	
10A	111	1	190*50	B.J.	8*2	20*20	dentro	
10A	114	1	310*70	B.J. + casa (40*40)	10*2	30*30	fuera a 130m	
10A	117	0	-	-	-	-	-	
10A	121	0	-	-	-	-	-	
10A	124	1	130*50	B.J.	6*2	20*20	dentro	
10A	125	0	-	-	-	-	-	
10A	126	0	-	-	-	-	-	Sobre línea de costa
10A	127	0	-	-	-	-	-	Sobre línea de costa
10A	130	0	-	-	-	-	-	
10A	132	0	-	-	-	-	-	
10A	133	1	130*50	B.J.	6*2	20*20	60% fuera	
10A	134	0	-	-	-	-	-	
10A	135	1	310*70	B.J.	10*2	30*30	dentro	
10A	143	0	-	-	-	-	-	
10A	151	0	-	-	-	-	-	151=401
10A	153	0	-	-	-	-	-	
10A	156	1	460*200	B.J. circular	3*9	30	dentro	
10A	157	0	-	-	-	-	-	
10A	158	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
10A	159	0	-	-	-	-	-	
10A	164	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	20% fuera	
10A	164	1	220*50	B.J.	9*2	20*20	fuera a 200m	
10A	165	1	280*50	B.J.	11*2	20*20	fuera a 120m	
10A	165	1	190*50	B.J.	8*2	20*20	fuera a 60m	
10A	166	1	280*50	B.J.	11*2	20*20	dentro	
10A	166	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	dentro	
10A	169	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
10A	169	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	fuera a 170m	
10A	172	0	-	-	-	-	-	
10A	173	0	-	-	-	-	-	
10A	184	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
10A	189	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
10A	589	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.

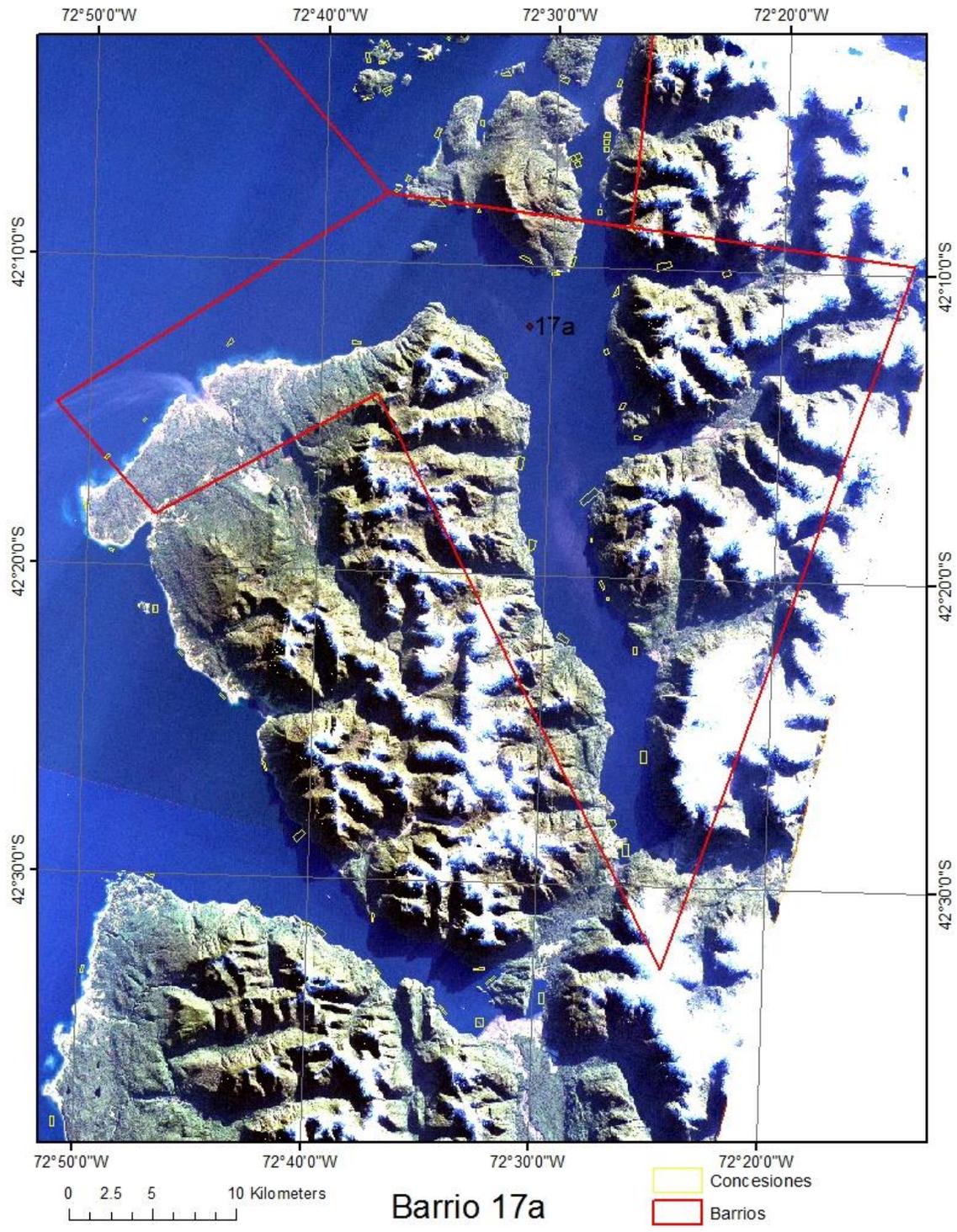


Figura 32. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 10b.

Tabla 22. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 10b.

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
10B	81	0	-	-	-	-	-	
10B	84	1	190*50	B.J.	8*2	20*20	40% fuera	
10B	89	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
10B	89	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
10B	113	0	-	-	-	-	-	
10B	129	0	-	-	-	-	-	
10B	131	1	370*70	B.J. + casa (40*40)	12*2	30*30	10% fuera	
10B	144	1	160*70	B.J. + casa (40*40)	5*2	30*30	dentro	
10B	144	1	190*50	B.J.	8*2	20*20	dentro	144=403
10B	160	0	-	-	-	-	-	
10B	161	0	-	-	-	-	-	
10B	171	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	20% fuera	
10B	171	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	20% fuera	
10B	404	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
10B	404	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	90% fuera	
10B	405	0	-	-	-	-	-	cultivo longline
10B	406	0	-	-	-	-	-	
10B	408	0	-	-	-	-	-	sobre línea costa
10B	442	1	340*70	B.J. + casa (40*40)	11*2	30*30	dentro	
10B	443	0	-	-	-	-	-	
10B	596	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 33. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 17a, Estero Comau, Comuna de Hualaihué - Chaitén, superficie de 172,16 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multispectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

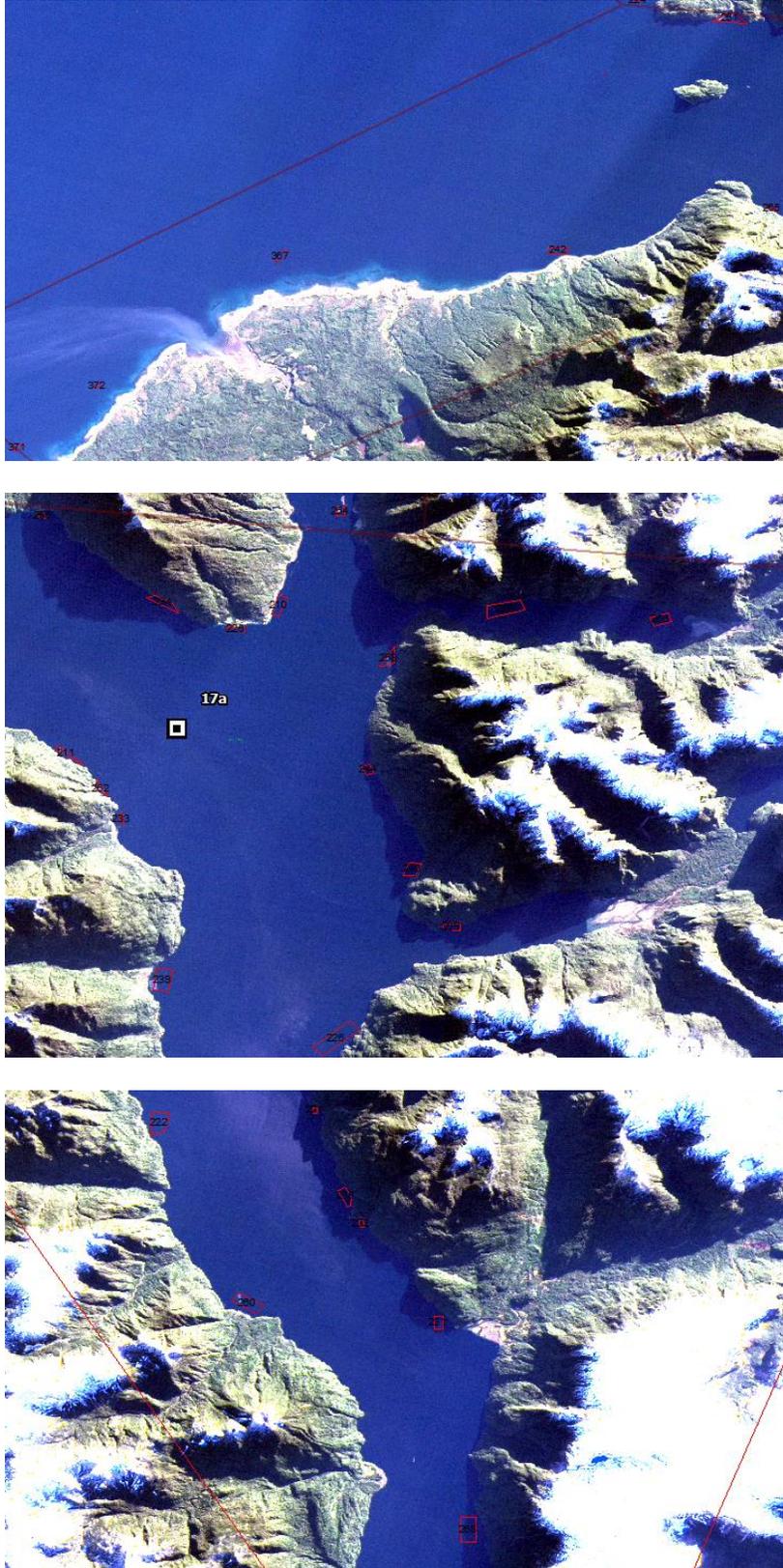
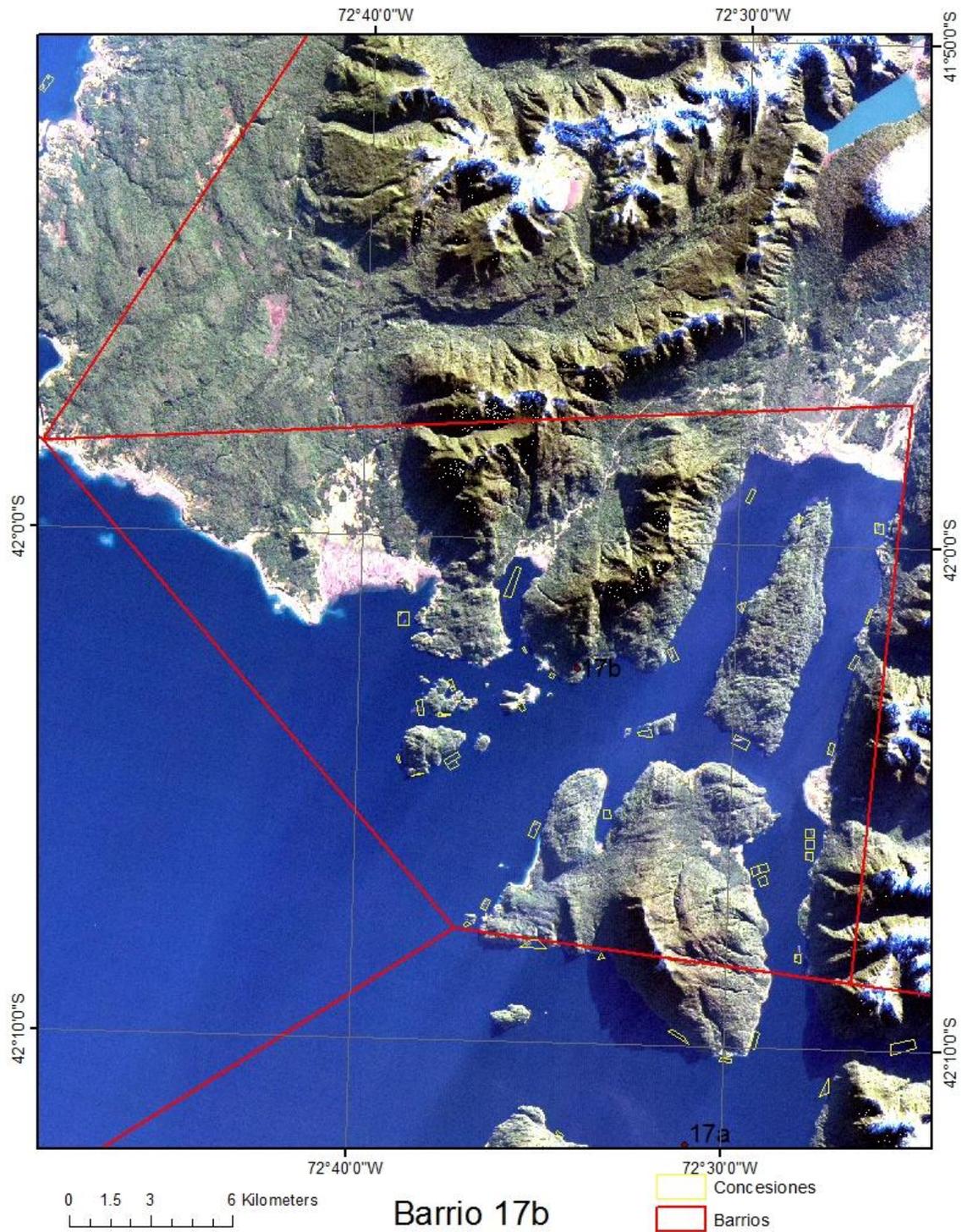


Figura 34. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 17a.

**Tabla 23. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 17a.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
17A	209	1	370*70	B.J.	12*2	30*30	dentro	
17A	210	0	-	-	-	-	-	
17A	211	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	dentro	
17A	221	0	-	-	-	-	-	
17A	222	0	-	-	-	-	-	
17A	225	0	-	-	-	-	-	
17A	226	0	-	-	-	-	-	
17A	229	1	280*150	B.J. circular	3*6	30	dentro	
17A	230	1	400*200	B.J. circular	3*10	25	dentro	
17A	231	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	dentro	
17A	232	0	-	-	-	-	-	
17A	233	0	-	-	-	-	-	
17A	234	0	-	-	-	-	-	
17A	236	0	-	-	-	-	-	
17A	238	0	-	-	-	-	-	
17A	239	1	340*70	B.J. + casa (40*40)	11*2	30*30	50% fuera	
17A	240	0	-	-	-	-	-	
17A	242	0	-	-	-	-	-	
17A	244	0	-	-	-	-	-	
17A	252	1	280*70	B.J.	9*2	30*30	dentro	
17A	255	0	-	-	-	-	-	
17A	257	0	-	-	-	-	-	
17A	258	1	340*70	B.J. + casa (40*40)	11*2	30*30	30% fuera	
17A	260	1	280*70	B.J. + casa (40*40)	9*2	30*30	dentro	
17A	261	1	220*70	B.J.	7*2	30*30	dentro	
17A	265	0	-	-	-	-	-	
17A	266	0	-	-	-	-	-	
17A	268	0	-	-	-	-	-	
17A	367	0	-	-	-	-	-	
17A	371	0	-	-	-	-	-	
17A	372	0	-	-	-	-	-	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 35. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 17b, Isla Pelada - Isla Llancahué, Comuna de Hualaihué, superficie de 316,69 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multispectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos.**

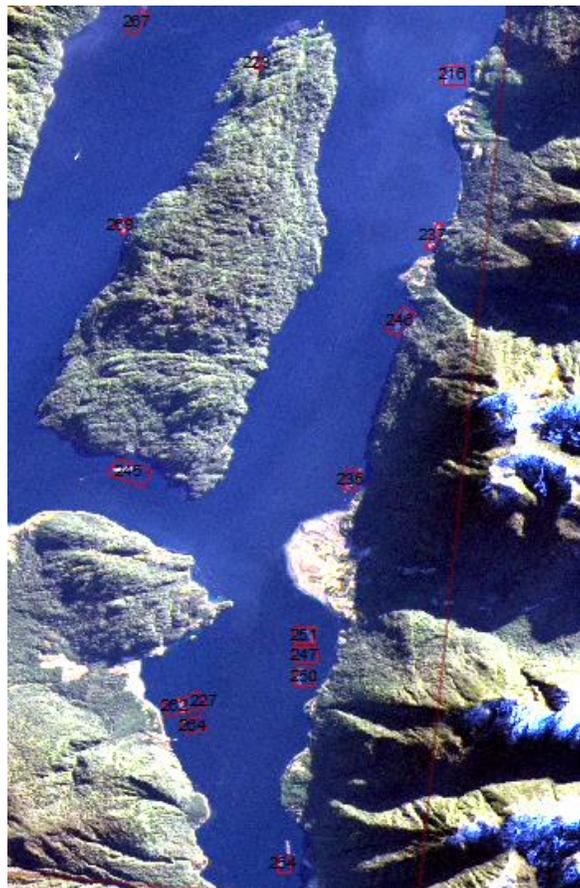
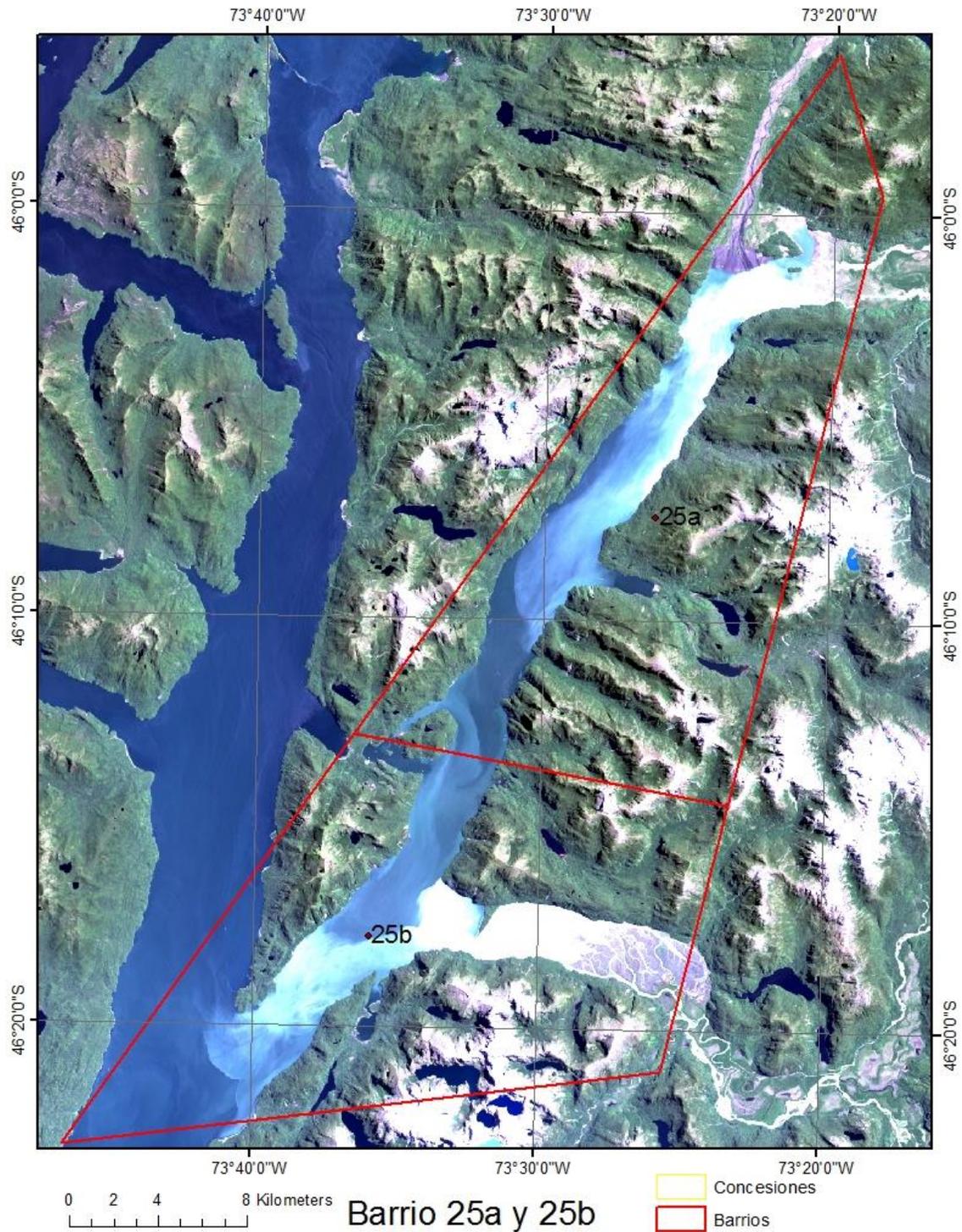


Figura 36. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 17b.

**Tabla 24. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 17b.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
17B	212	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
17B	212	1	160*70	B.J. + casa (60*60)	5*2	30*30	dentro	
17B	213	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	dentro	
17B	213	1	190*70	B.J.	6*2	30*30	50% fuera	
17B	214	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	dentro	
17B	215	0	-	-	-	-	-	
17B	216	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
17B	216	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
17B	217	0	-	-	-	-	-	
17B	218	0	-	-	-	-	-	
17B	219	1	220*50	B.J. + casa (40*40)	9*2	20*20	dentro	
17B	220	1	160*50	B.J.	7*2	20*20	dentro	
17B	223	0	-	-	-	-	-	Sobre línea costa
17B	224	0	-	-	-	-	-	
17B	227	0	-	-	-	-	-	
17B	228	1	340*70	B.J. + casa (40*40)	11*2	30*30	dentro	
17B	235	1	160*70	B.J. + casa (40*40)	5*2	30*30	dentro	
17B	235	1	160*70	B.J. + casa (40*40)	5*2	30*30	50% fuera	
17B	237	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
17B	237	1	160*70	B.J.	5*2	30*30	dentro	
17B	241	1	300*200	B.J. circular	3*4	40	dentro	
17B	243	1	340*180	B.J. circular	3*7	30	30% fuera	
17B	245	1	280*70	B.J. + casa (40*40)	9*2	30*30	dentro	
17B	246	1	160*70	B.J. + casa (40*40)	5*2	30*30	dentro	
17B	246	1	160*70	B.J. + casa (40*40)	5*2	30*30	dentro	
17B	247	0	-	-	-	-	-	
17B	248	1	250*70	B.J.	8*2	30*30	50% fuera	
17B	249	0	-	-	-	-	-	
17B	250	1	310*70	B.J.	10*2	30*30	dentro	
17B	251	1	310*70	B.J.	10*2	30*30	dentro	
17B	253	0	-	-	-	-	-	
17B	254	1	160*50	B.J. + casa (40*40)	7*2	20*20	dentro	
17B	254	1	250*50	B.J. + 2 casa (40*40)	8*2	20*20	fuera a 70m	
17B	256	1	400*160	B.J. circular	3*8	30	60% fuera	
17B	259	0	-	-	-	-	-	
17B	262	1	310*70	B.J.	10*2	30*30	dentro	
17B	263	0	-	-	-	-	-	
17B	264	0	-	-	-	-	-	
17B	267	1	220*70	B.J. + casa (60*60)	7*2	30*30	70% fuera	
17B	269	1	310*70	B.J. + casa (40*40)	10*2	30*30	20% fuera	
17B	590	0	-	-	-	-	-	
17B	591	0	-	-	-	-	-	
17B	592	1	190*50	B.J. + casa (40*40)	8*2	20*20	dentro	

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 37. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 25a y 25b, Estero Cupquelán, Comuna de Aysén, superficie de 170,92 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. No se identifican concesiones en este barrio.**

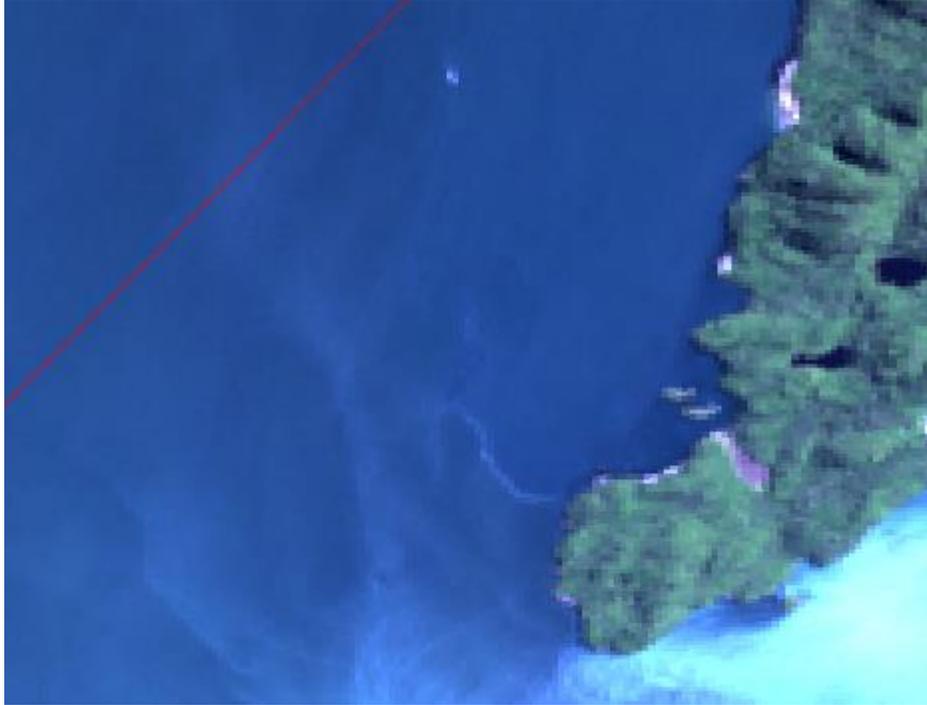


**Figura 38. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 25a.**

**Tabla 25. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 25a.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
25a		1	220*70	B.J.	7*2	30*30	sin concesion	619748,4891207 UTM
25a		1	400*70	B.J. + casa (60*60)	12*2	30*30	sin concesion	618317,4888161 UTM
25a		1	310*70	B.J.	10*2	30*30	sin concesion	615938,4890976 UTM
25a		1	310*70	B.J.	10*2	30*30	sin concesion	613452,4886293 UTM
25a		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	614793,4883761 UTM
25a		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	614016,4881277 UTM
25a		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	613974,4880325 UTM
25a		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	610876,4882270 UTM

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.

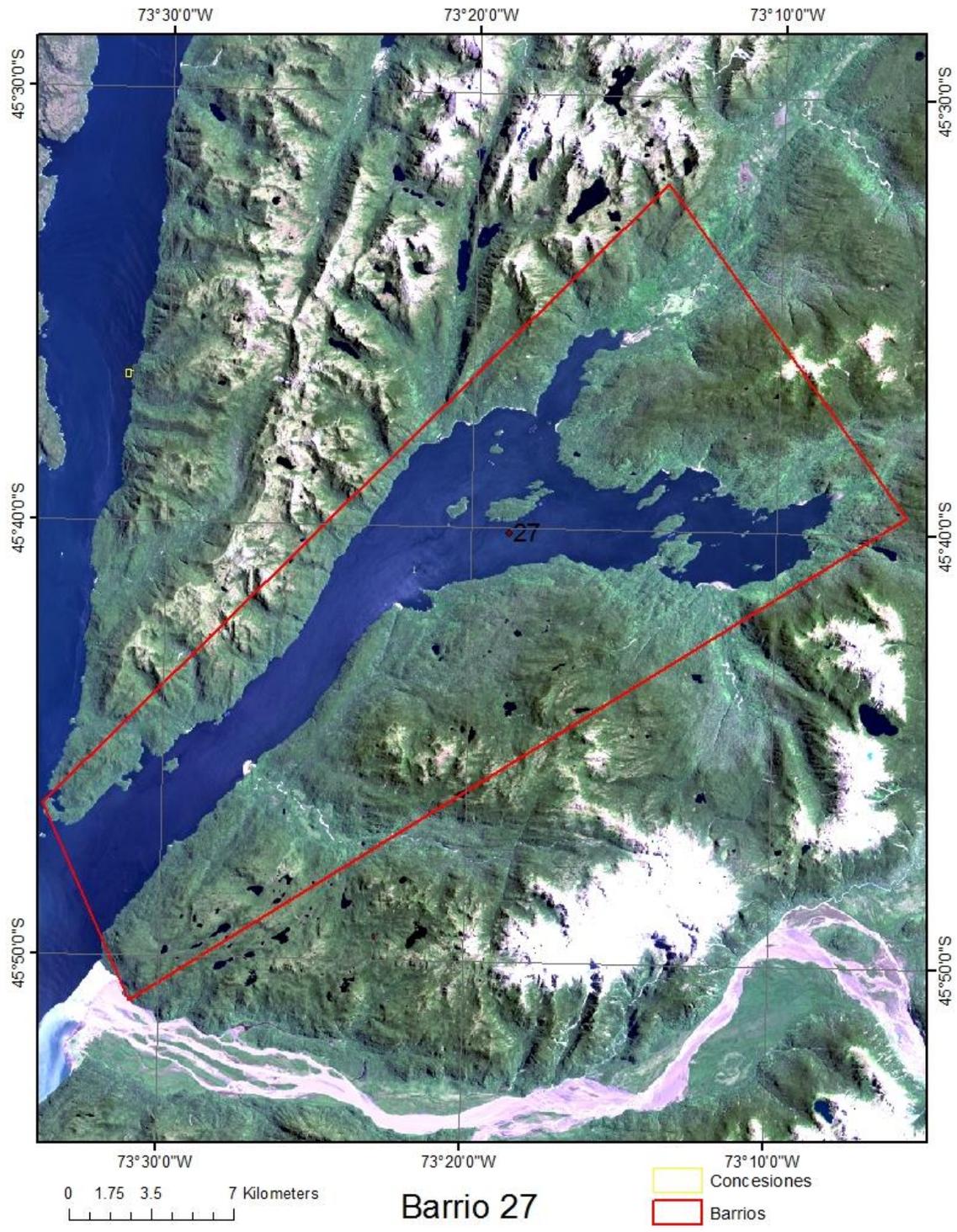


**Figura 39. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 25b.**

**Tabla 26. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 25b.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
25b		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	606318,4869937 UTM

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.



**Figura 40. Identificación de estructuras de cultivo en el Barrio 27, Estero Quitalco, Comuna de Aysén, superficie de 141,81 km<sup>2</sup>, X Región de Los Lagos utilizando Imagen Landsat 8 OLI/TIRS multiespectral (color natural: bandas azul, verde y roja) transformada con el método pansharpening. En líneas rojas se observa el polígono del barrio y en amarillo las concesiones de salmónidos. No se identifican concesiones en este barrio.**



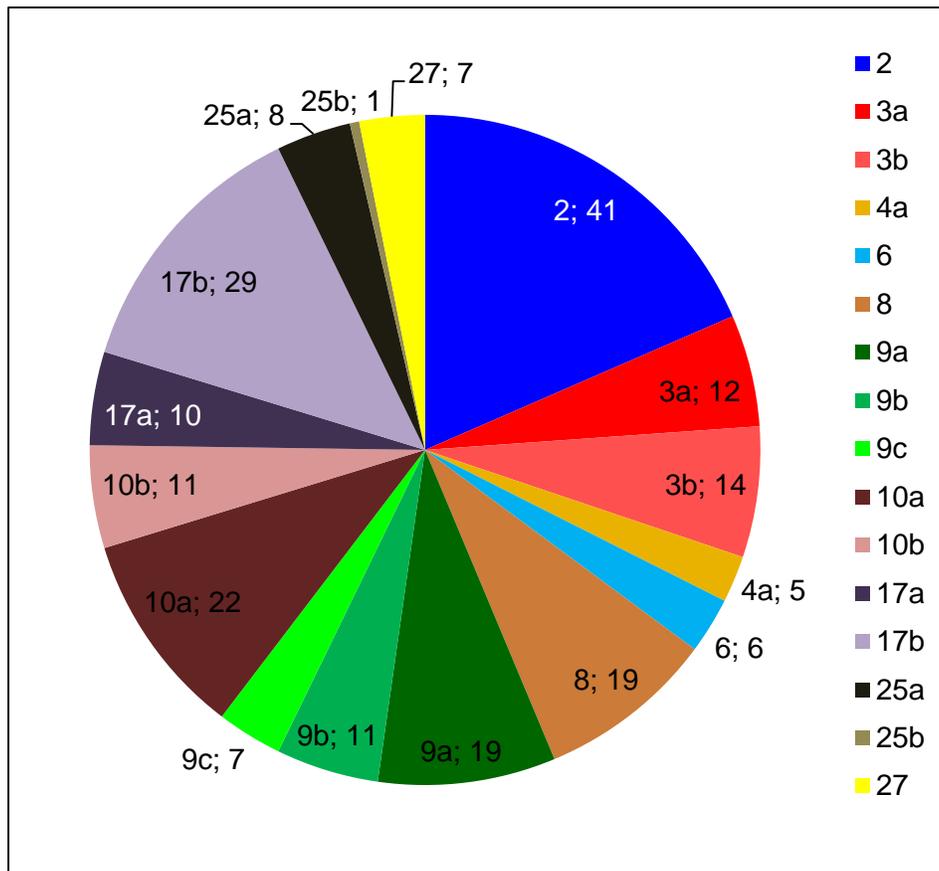
Figura 41. Análisis de concesiones, estructuras de cultivo y su posicionamiento en al Barrio 27.

**Tabla 27. Identificación y caracterización de estructuras por concesión para el Barrio 27.**

Barrio	Nº de concesión	Nº estructuras	Dimensiones(m*m)	Tipo de estructura	Jaulas*Jaulas	Tamaño jaula (m)	dentro/fuera	Observaciones
27		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	615853,4931989 UTM
27		1	250*70	B.J.	8*2	30*30	sin concesion	619377,4933617 UTM
27		1	90*55	B.J.	5*3	18*18	sin concesion	627782,4938576 UTM
27		1	240*70	B.J. circular	6*2	25	sin concesion	627596,4938433 UTM
27		1	210*50	B.J.	10*2	20*20	sin concesion	638596,4941589 UTM
27		1	480*200	B.J. circular + casa (40*40)	3*8	40	sin concesion	632439,4945764 UTM
27		1	100*40	B.J.	5*2	20*20	sin concesion	632400,4943108 UTM

B.J.: balsa jaula cuadrada; B.J. circular: balsa jaula circular; casa: casa operación; dentro: dentro de la concesión; fuera: fuera de la concesión.

En total se identificaron 222 estructuras de cultivo en los 16 barrios (2, 3a, 3b, 4a, 6, 8, 9a, 9b, 9c, 10a, 10b, 17a, 17b, 25a, 25b y 27). Como síntesis de resultados sobre el número de estructuras de cultivo por barrio se obtiene que el Barrio 2 es el que tiene más estructuras de cultivo con un total de 41, mientras que el Barrio 25b es el que menos tiene con sólo una estructura de cultivo (Figura 42).



**Figura 42. Número total de estructuras de cultivo identificadas por barrio.**

### *3.1.1.2. Estimación de parámetros ambientales de imágenes Landsat 8 OLI/TIRS*

A continuación se muestran las etapas para estimar parámetros ambientales de las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS en el software ENVI donde se destacan calibración a radianza espectral, corrección atmosférica, cálculo de reflectancia, temperatura de brillo y absoluta y determinación de batimetría satelital.

#### *3.1.1.2.1. Calibración a radianza espectral*

Previo a las correcciones atmosféricas a realizarse con el módulo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) de ENVI, las imágenes Landsat deben calibrarse de valores digitales a radianza espectral y deben tener un formato de estructura de dato tipo BIL (Band Interleave by Line). Primero abrimos la imagen Landsat 8 bruta leyendo la información de cabecera (metadata), existe un módulo especial en ENVI para importar imágenes Landsat el cual se llama "GeoTIFF with metadata". Una vez importada la imagen Landsat con su metadata entonces procedemos a calibrar desde valores digitales a radianza espectral utilizando el Toolbox de ENVI llamado "Radiometric Calibration". En la ventana de calibración radiométrica procedemos a seleccionar la Radianza como parámetro a calibrar y utilizamos la configuración para el módulo FLAASH ("Apply FLAASH Settings") para de este modo establecer los parámetros óptimos de entrada para utilizar posteriormente en el módulo de corrección atmosférica FLAASH. Como resultado se obtiene la imagen Landsat 8 calibrada a Radianza en unidades  $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ . Este proceso se realizó a las 3 imágenes Landsat 8 que abarcan las zonas de interés y que corresponden a los archivos LC82330892014169, LC82330902014169 y LC82320922015021.

#### *3.1.1.2.2. Corrección atmosférica: estimación de reflectancia espectral*

La imagen Landsat 8 obtenida con valores de radianza se transforma a reflectancia utilizando los parámetros requeridos por el módulo FLAASH, los que en parte fueron configurados en la etapa anterior de Calibración a radianza espectral con el toolbox ENVI "Radiometric Calibration". Una vez abierto el toolbox FLAASH debemos ingresar la imagen de Radianza BIL e indicar que se utilizará un factor de escala simple para todas las bandas igual a 1.0, esto dado que la transformación de las unidades ya se realizó en la etapa de calibración a radianza. Luego en las siguientes ventanas se debe direccionar el archivo de salida de reflectancia a su carpeta de resultados, seleccionar un directorio (carpeta) donde se guardarán los archivos auxiliares del proceso de corrección y luego un prefijo raíz para reconocer los archivos resultantes.

En la segunda sección del módulo se deben configurar datos del sensor; dado que la imagen ya fue rectificadas geométricamente y cuenta con un sistema de coordenadas, la coordenada central se cargará automáticamente. Se debe seleccionar el sensor (tiene opciones multispectrales e hiperespectrales) en este caso Landsat 8, y utilizamos una altura media del terreno de 0,1 km en este caso. La fecha y hora de captura se encuentra en la información de cabecera de la imagen para esto se puede revisar el metadata. Luego se deben seleccionar los parámetros atmosféricos que se considerarán en el modelo de corrección, para ellos se debe consultar la Tabla 28. En este caso utilizamos el modelo Sub-Arctic Summer (MLS) para las imágenes de verano para la zona de estudio.

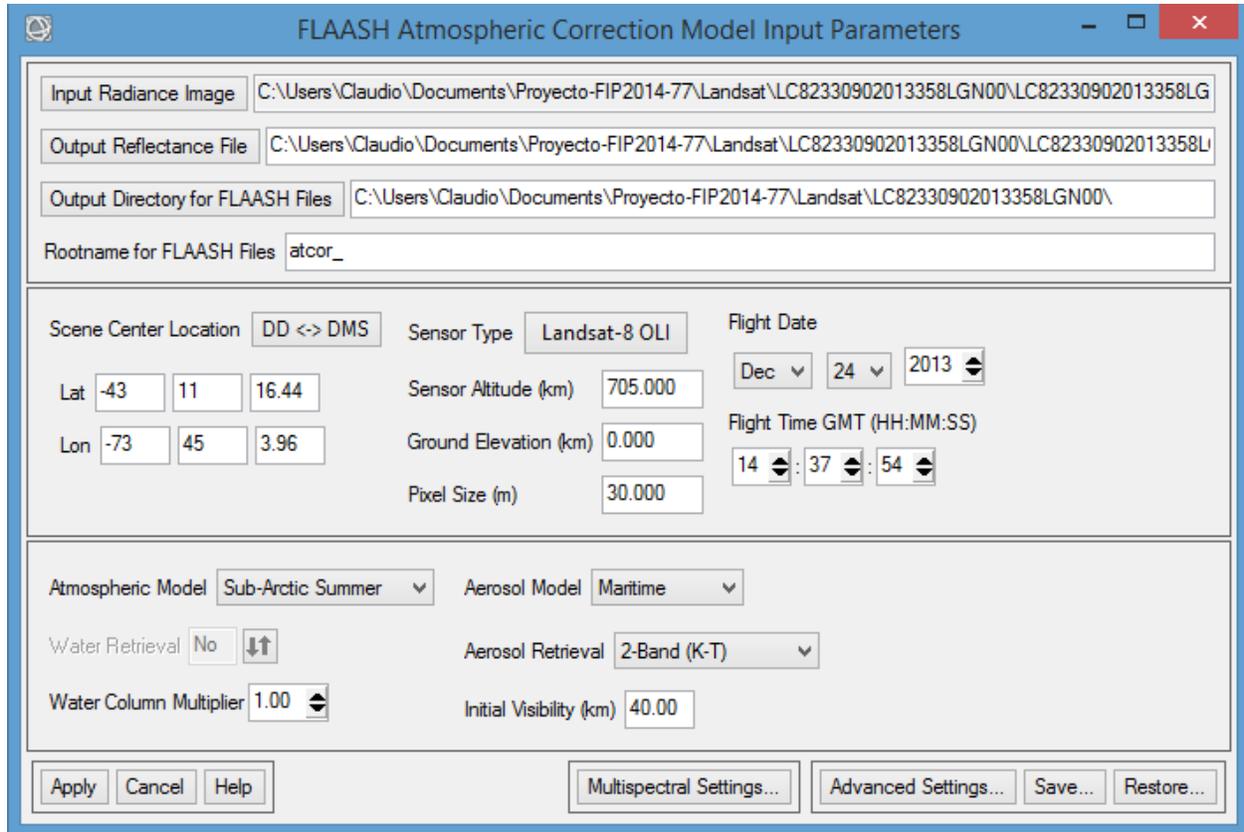
**Tabla 28. Modelos de corrección atmosférica y constantes de los parámetros vapor de agua y temperatura aire-superficie.**

Modelo Atmosférico		Vapor de Agua (std atm-cm)		Vapor de Agua (g/cm <sup>2</sup> )		Temperatura aire- superficie
Sub-Arctic Winter (SAW)		518		0,42		-16° C (3° F)
Mid-Latitude Winter (MLW)		1.060		0,85		-1° C (30° F)
U.S. Standard (US)		1.762		1,42		15° C (59° F)
Sub-Arctic Summer (SAS)		2.589		2,08		14° C (57° F)
Mid-Latitude Summer (MLS)		3.636		2,92		21° C (70° F)
Tropical (T)		5.119		4,11		27° C (80° F)
Latitude (°N)	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLS	MLS	T
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW

Fuente: Exelis Visual Information Solutions, 2009.

A modo de ejemplo, en la Figura 43 se muestra la ventana del módulo FLAASH, que permite el modelado de corrección atmosférica de principios básicos para recuperar la reflectancia espectral desde radianza de imágenes multispectrales. Con FLAASH se puede compensar con precisión los efectos atmosféricos. FLAASH corrige longitudes en el visible a través de las regiones del infrarrojo cercano e infrarrojo de onda

corta, de hasta 3 mm. A diferencia de muchos otros programas de corrección atmosférica que interpolan propiedades de transferencia de radiación desde los resultados de modelamiento de una base de datos pre-calculada, FLAASH incorpora el código de transferencia de radiación MODTRAN4.

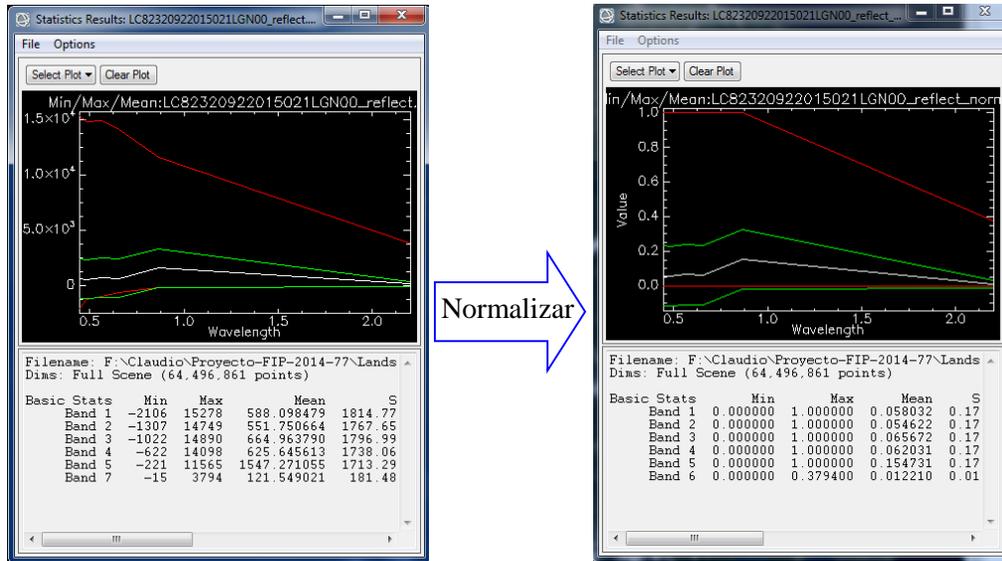


**Figura 43. Ventana del toolbox FLAASH donde se ingresan los parámetros de entrada y se configura el modelo de corrección atmosférica aplicado a las radianzas de las bandas visuales de imágenes multiespectrales Landsat 8 OLI.**

Una vez ingresados los parámetros y ejecutado (Apply) el módulo FLAASH se genera la reflectancia de salida, sin embargo estas imágenes se deben normalizar llevando los valores a números reales con escala estándar entre 0 y 1. Para normalizar los datos o reescalarlos a valores conocidos de trabajo espectral (0-1), se aplica con el módulo de matemática de bandas de ENVI la siguiente fórmula:

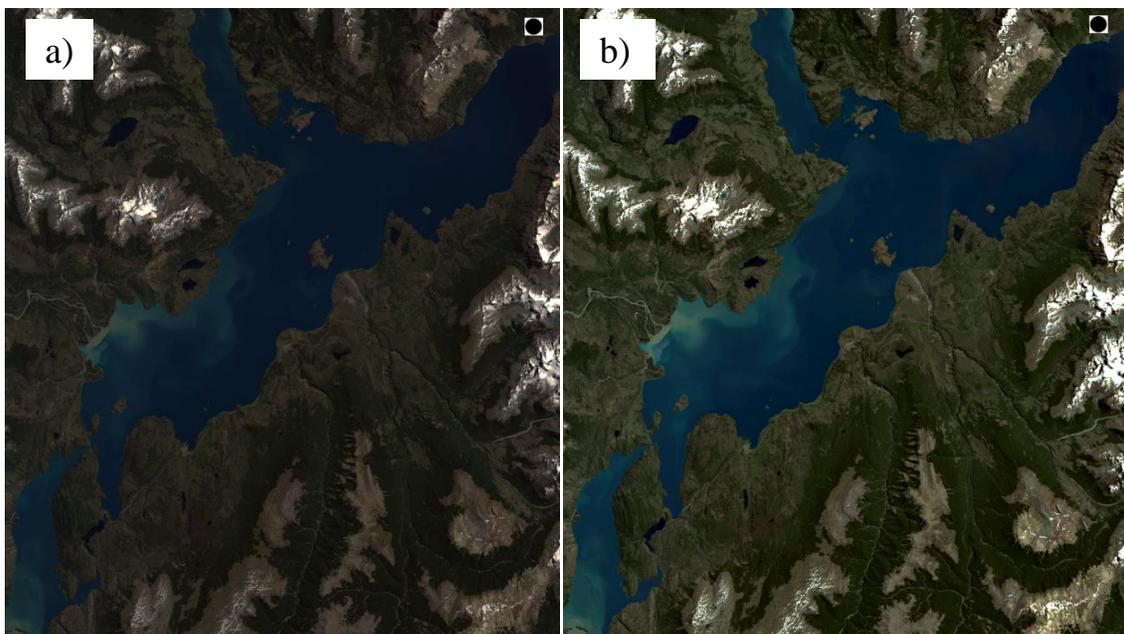
$$(b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000 \quad (2)$$

En la Figura 44 se muestra un ejemplo de la estadística de bandas de una imagen de reflectancia no normalizada y luego como queda la estadístico de la imagen normalizada. Cabe destacar, que se necesita un mínimo de 40° de ángulo solar de elevación para correr el programa FLAASH.



**Figura 44.** Ejemplo de la estadística de bandas de una imagen de reflectancia no normalizada y normalizada.

En la Figura 45 se muestra un ejemplo comparativo entre una imagen sin procesar y como queda luego de calibrada y corregida atmosféricamente.

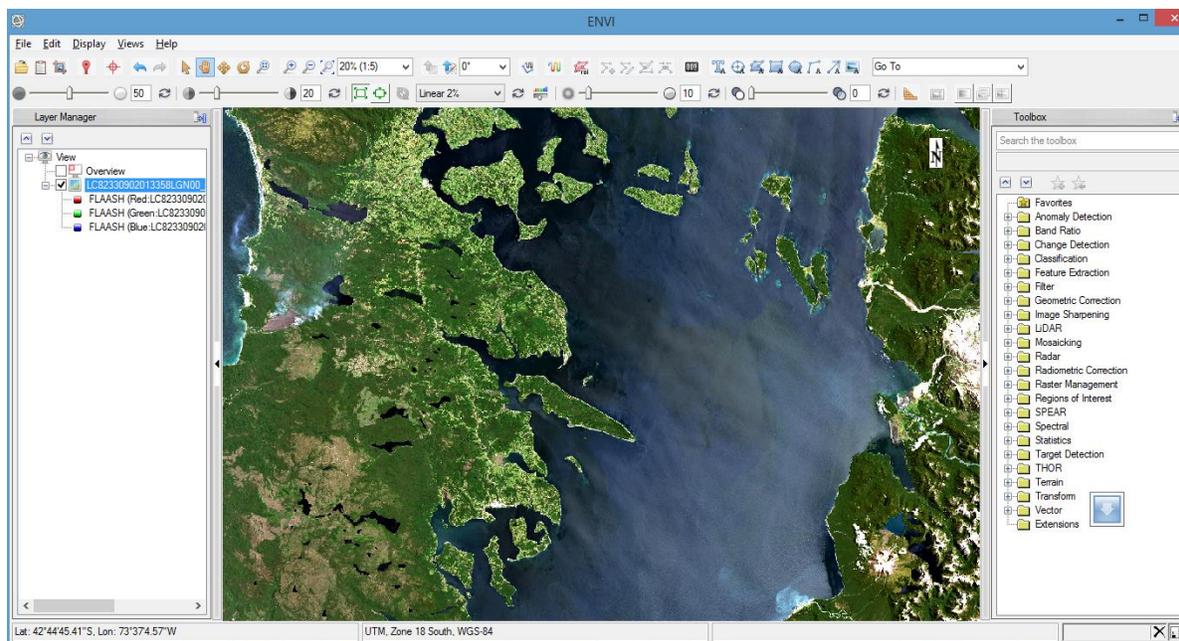


**Figura 45.** Ejemplo de imagen a) sin procesar y b) calibrada y corregida atmosféricamente.

### 3.1.1.2.3. Generación de batimetría de Landsat 8 OLI/TIRS

Con las imágenes de reflectancia y utilizando la herramienta de ENVI se calcula la profundidad relativa del agua, que permite generar un producto que representa la profundidad del agua en relación a una región de interés. Esta herramienta utiliza un algoritmo de batimetría de fondo albedo-independiente desarrollado por Stumpf y Holderied (2003). La naturaleza fondo albedo-independiente del algoritmo significa que el fondo marino cubierto de seagrass de mar oscuro o de arena brillante se demuestra que es a la misma profundidad cuando están en la misma profundidad. Los resultados de la profundidad del agua son relativos, ya que no representan profundidades absolutos (los resultados se ajustan a escala de cero a uno). La intención de estos resultados es proporcionar una idea general de la batimetría; no son para ser utilizados con fines de navegación.

A modo de ejemplo usamos en ENVI 5.1 la imagen Landsat 8 OLI/TIRS, código LC82330902013358LGN00, tiempo de adquisición: 24 de diciembre de 2013 a las 14:35:55 horas, ángulo solar de elevación 55,69°, 1% de cobertura de nubes. En la Figura 46 se muestra un pantallazo en ENVI de la imagen multispectral color natural (banda R, G y B) de código LC82330902013358LGN00 de la zona de la X Región que se usa de ejemplo.



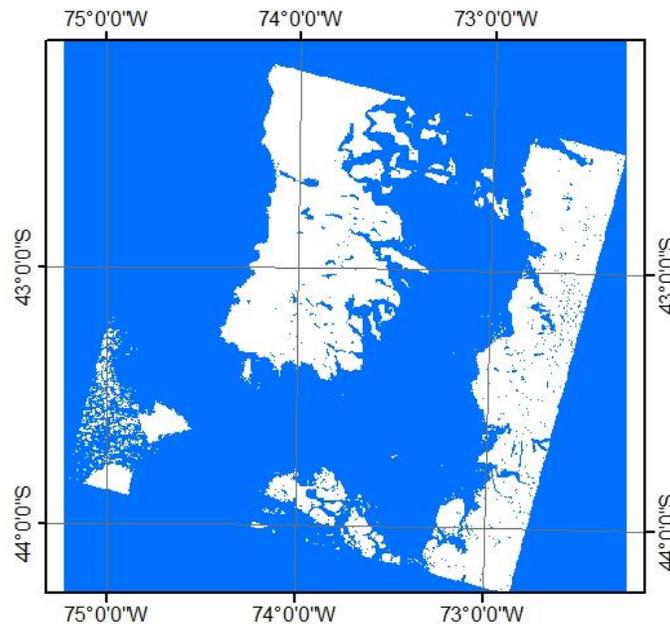
**Figura 46. Pantallazo en ENVI de la imagen de reflectancias multispectral color natural (banda R, G y B) de código LC82330902013358LGN00 que se usa de ejemplo de aplicación.**

La batimetría es derivada de la imagen multispectral de reflectancia aplicando el método de ratio (Stumpf et al. 2003) entre las bandas Blue (Banda 2, 0,4826  $\mu\text{m}$ )/Green (Banda 3, 0,5613  $\mu\text{m}$ ).

El primer paso es derivar la batimetría de la imagen para determinar la batimetría relativa usando la transformación de los valores del ratio de reflectancia por el logaritmo natural:

$$Z_r = \ln(1000 \times B2)/\ln(1000 \times B3) \quad (3)$$

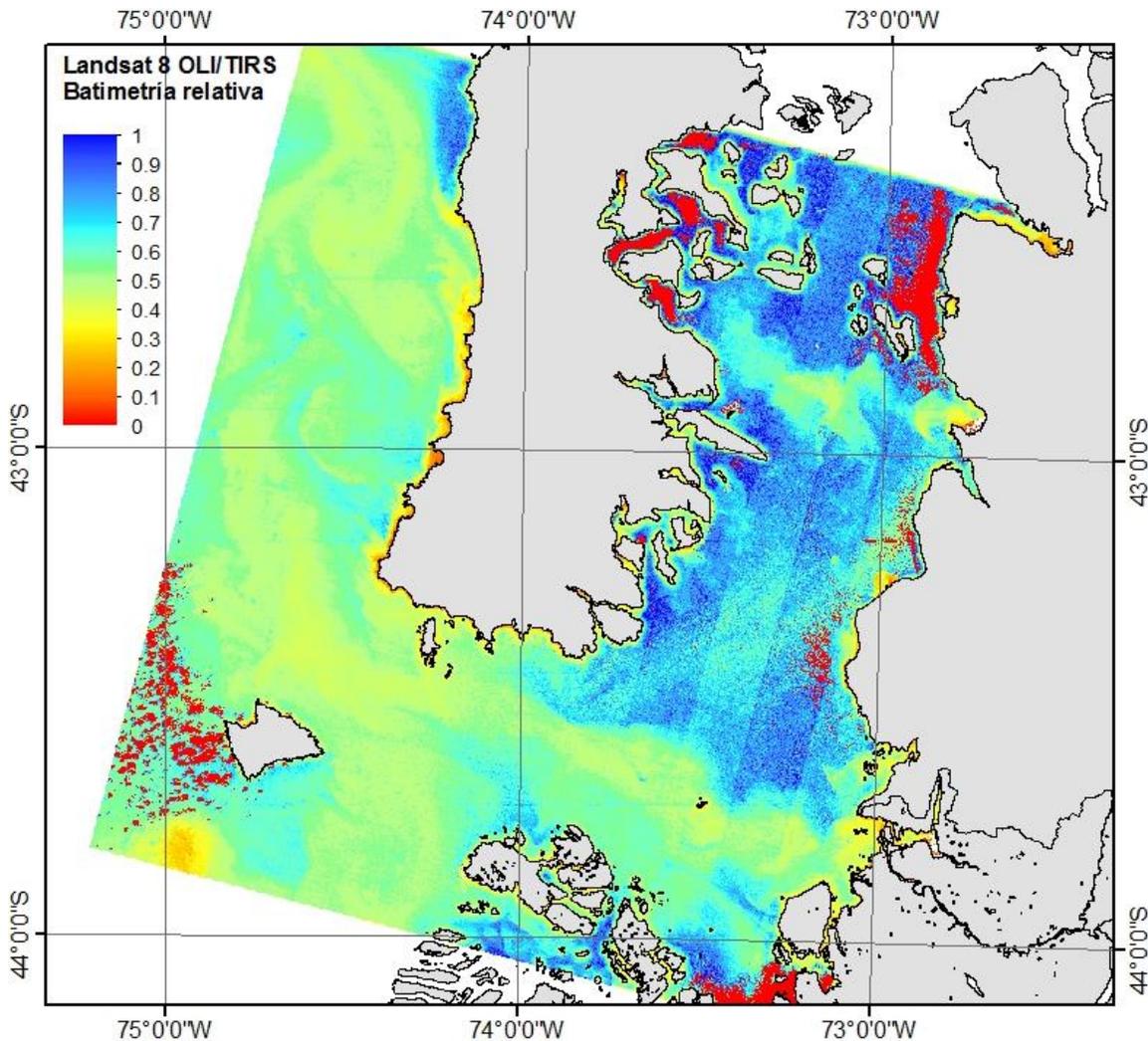
donde  $Z_r$  es la batimetría relativa, B2 es el valor de reflectancia banda Blue y B3 es el valor de reflectancia de la banda Green. Para sacar los valores de tierra generamos una máscara, para ello visualizamos la banda NIR de reflectancia calibrada con Grey Scale. Necesitamos saber el rango de valores de reflectancia del agua para ello vamos a extraer un perfil horizontal del tipo Transecta de los valores de reflectancia de la banda NIR. En la ventana de imagen vamos a Tools > Profiles > Arbitrary Profile (Transect). Extraemos un perfil para extraer los datos. Se determina que los valores de agua van entre -1.000 y 350. Considerando el rango de valores de agua, se genera una máscara para los valores de cuerpo de agua, en el menú principal Classic ENVI, seleccione Tools > Masking > Build Mask. En la Figura 47 se muestra la imagen máscara resultante.



**Figura 47. Imagen máscara generada con el rango de valores de agua de la reflectancia de la banda NIR.**

Para poder trabajar la imagen multispectral de reflectancia sólo con los valores del cuerpo de agua se debe aplicar una máscara para eliminar los datos de tierra u otros objetos. En ENVI se selecciona Tools >

Masking > Apply Mask y se aplica la máscara creada a la imagen de batimetría relativa. Como resultado obtenemos la imagen de batimetría relativa sin valore de tierra, nubes y otros objetos (Figura 48).

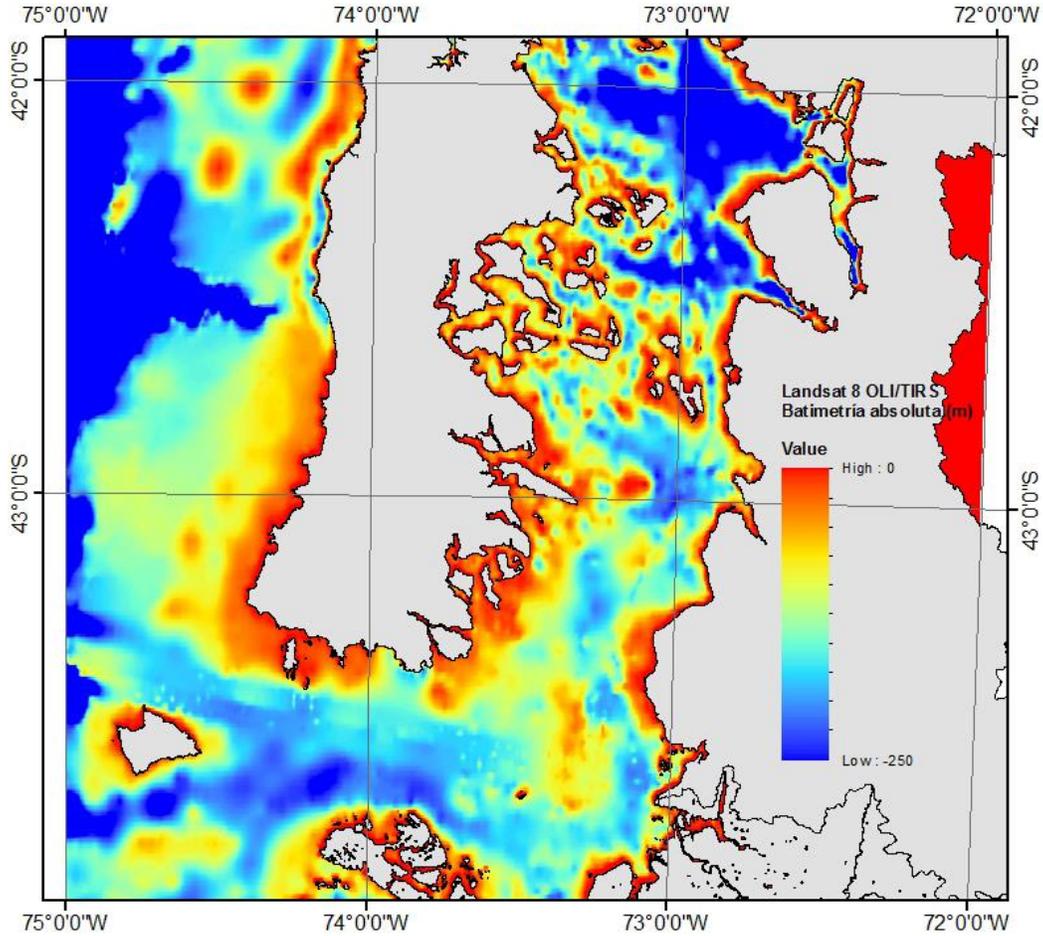


**Figura 48. Ejemplo de batimetría relativa con valores entre 0 y 1 utilizando la imagen de código LC82330902013358LGN00.**

Para eliminar el ruido la imagen de batimetría relativa es filtrada con el método de Mediana y con un Kernel de 5x5. El siguiente paso es calibrar la batimetría relativa a batimetría absoluta basada en datos de muestreos *in situ* de la profundidad del agua, que para este caso son los datos batimétricos GEBCO08 generados con datos de altimetría satelital y sondajes *in situ* (Figura 49). Los datos puntuales se relacionan con los valores batimétricos relativos usando Stumpf y Holderied (2003). La ecuación siguiente se utiliza para derivar batimetría absoluta para toda la imagen:

$$Z = m_1 \times Z_r - m_0 \text{ (lineal)} \qquad Z = m_1 * \exp x \text{ (exponencial)} \quad (4)$$

donde  $Z$  es la profundidad,  $m_1$  es una constante ajustable para ampliar el ratio o la batimetría relativa a profundidad y  $m_0$  es la corrección para una profundidad de 0 m.



**Figura 49. Batimetría GEBCO08.**

Se obtuvo que la relación entre datos de batimetría GEBCO08 y la batimetría relativa es de tipo exponencial ( $R^2=0,81$ ) y su ecuación es  $Z = 8,4924 * e^{3,959 * Z_r}$  tal como se muestra en el gráfico de dispersión y línea de tendencia de la Figura 50.

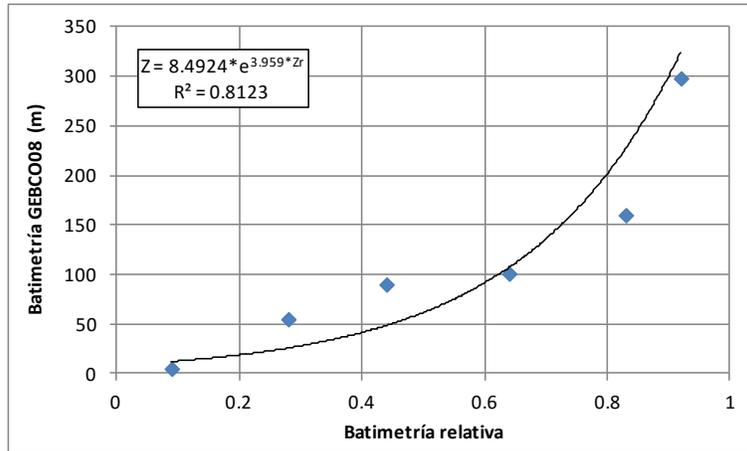


Figura 50. Modelo ajustado de calibración batimetría relativa a batimetría absoluta.

Finalmente utilizamos la ecuación  $Z = 8,4924 * e^{3,959 * Zr}$  para simular la batimetría absoluta en función de la batimetría relativa, obteniéndose como resultado la imagen que se muestra en la Figura 51.

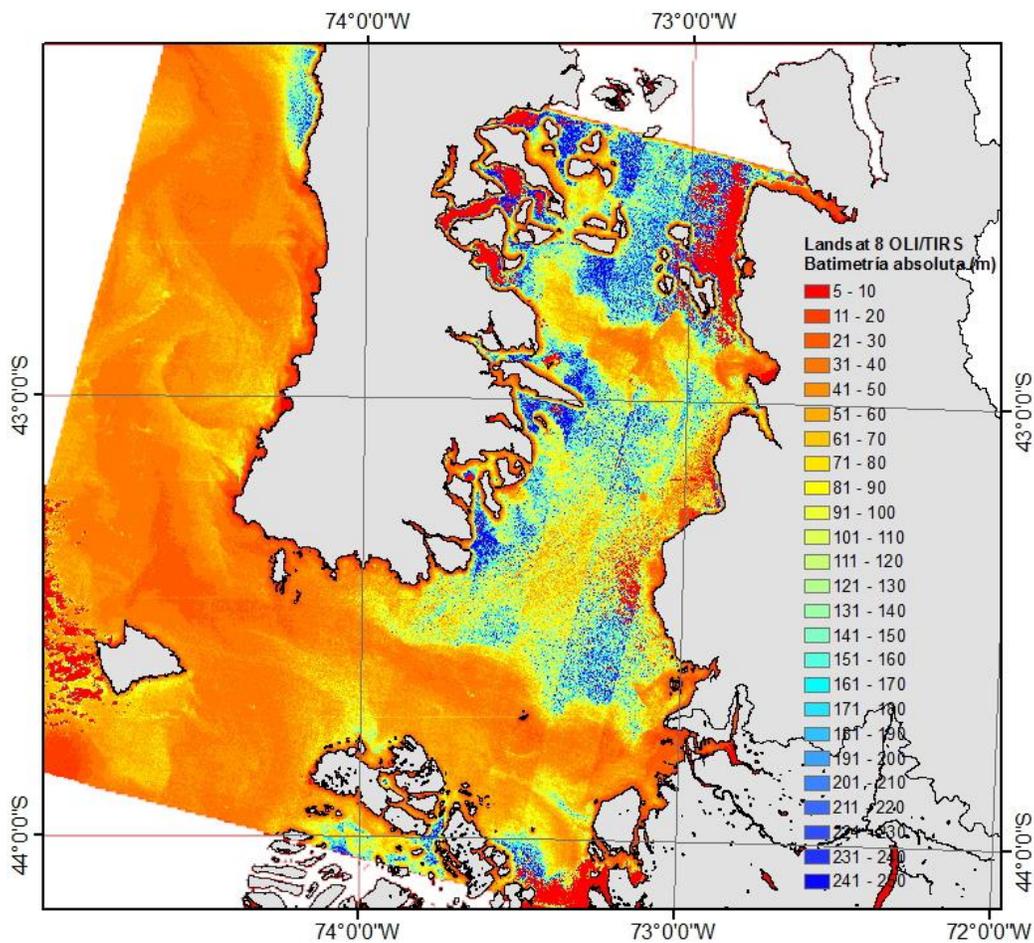


Figura 51. Ejemplo de batimetría absoluta utilizando la imagen LC82330902013358LGN00.

### 3.1.1.2.4. Estimación de la temperatura superficial del mar de Landsat 8 OLI/TIRS

Primero se deben calibrar las bandas térmicas a partir de las bandas (banda 10 10,9  $\mu\text{m}$  y banda 11 12  $\mu\text{m}$ ) de los sensores Landsat 8 OLI/TIRS de forma directa a partir del módulo de calibración radiométrica. Se debe trabajar sobre la imagen bruta abriendo el archivo LC82330902013358LGN00\_MTL.txt para lectura de bands y metadatos. Se ejecuta el toolbox de ENVI Radiometric Calibration y en la ventana se debe seleccionar el archivo Thermal y se realiza una calibración del tipo Radianza. Como resultado se obtienen las bandas térmicas calibradas a Radianza en  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ . En la Figura 52 se muestra un ejemplo de la Radianza de la banda 10.

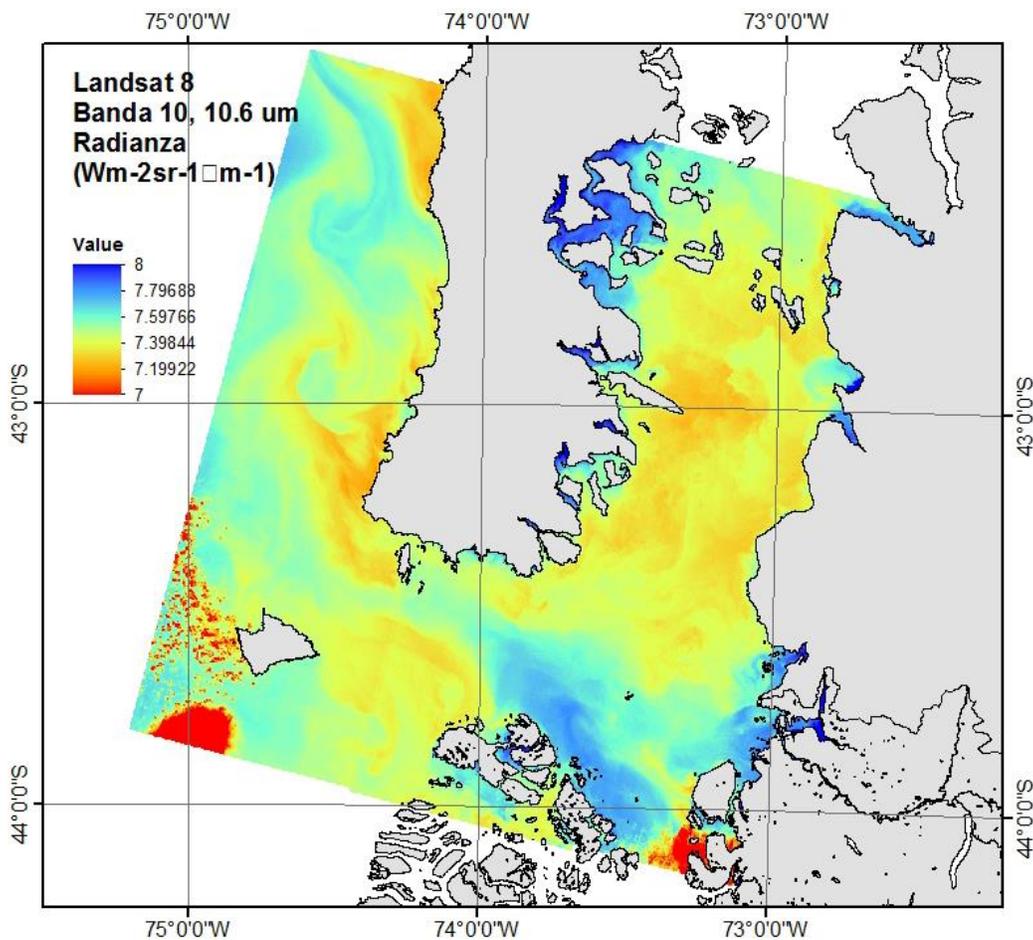


Figura 52. Ejemplo de la Radianza de la banda térmica 10, imagen LC82330902013358LGN00.

Para obtener temperatura superficial del mar (TSM) se deben corregir atmosféricamente las bandas térmicas. Esto requiere a su vez de ciertos parámetros adicionales (Barsi et al., 2003; Barsi et al., 2005) que

pueden ser obtenidos para cada escena en el módulo desarrollado por la NASA <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>, para este ejemplo esos parámetros ya fueron calculados para la escena.

La fórmula a utilizar (Coll et al., 2010) es la siguiente:

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L \uparrow}{\epsilon \tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L \downarrow \quad (5)$$

Donde:

- CVR2 corresponde a la radianza de la escena corregida atmosféricamente
- CVR1 corresponde a la radianza TOA
- $\epsilon$  corresponde a la emisividad de la atmósfera (valor típico de 0,95)
- $L \uparrow$  radianza de subida
- $L \downarrow$  radianza de bajada
- $\tau$  transmisividad de la atmósfera

Para aplicar esta ecuación vaya al Toolbox de ENVI y escriba Band Math. En el módulo utilice la siguiente expresión:

$$((b1-0.48)/(0.95*0.93))-(0.05263*0.83) \quad (6)$$

Para la obtención de la TSM Con la imagen resultante se aplica la siguiente ecuación (solo si la radianza está corregida atmosféricamente):

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{CV_{R2}} + 1\right)} \quad (7)$$

Dónde:

- T corresponde a la temperatura superficial en grados Kelvin
- K2 constante de calibración dos para la banda termal
- K1 constante de calibración uno para la banda termal
- CVR2 Radianza corregida obtenida en el punto 6.1

Las constantes de calibración respectivas a la imagen se pueden encontrar en su metadato.

La fórmula para ingresar a matemática de bandas de ENVI corresponde a la siguiente:

$$1321,08/\text{alog}(774,89/\text{b1}+1) \quad (8)$$

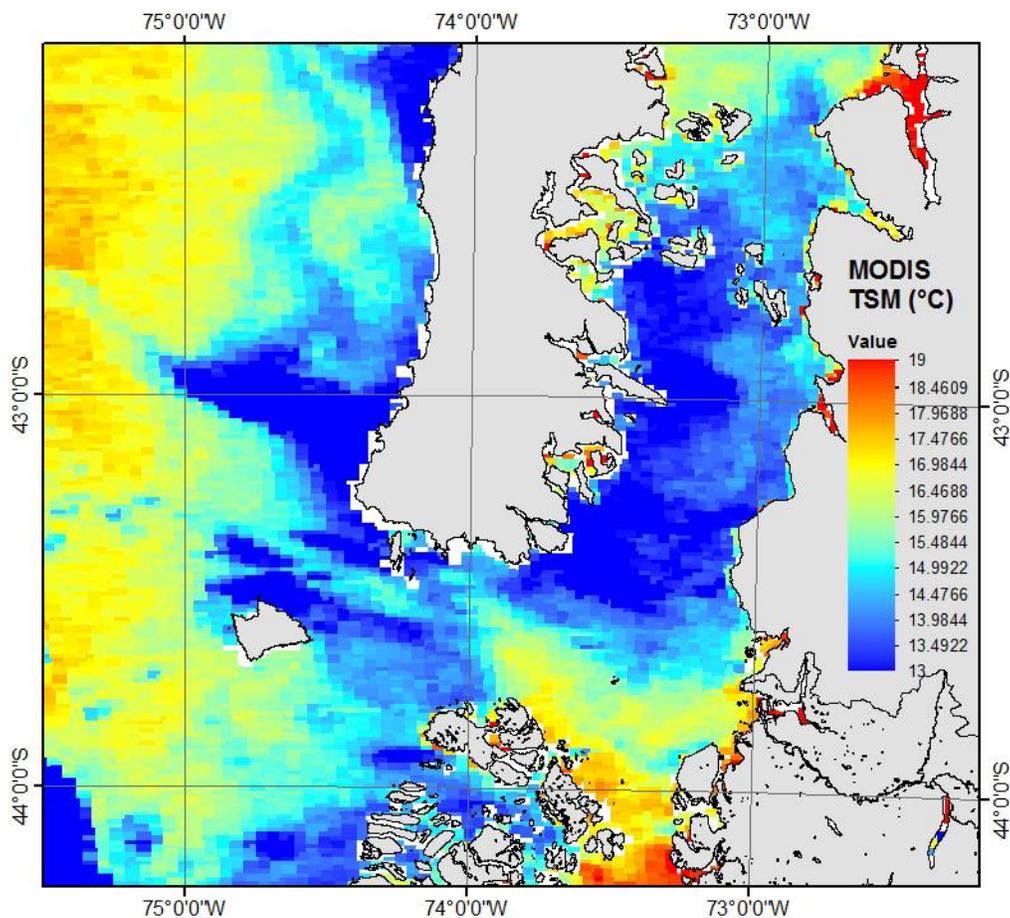
Para pasar esta temperatura a grados Celsius puede aplicar la fórmula en matemática de bandas de ENVI:

$$\text{B1-273,15} \quad (9)$$

Ya tenemos las temperaturas superficiales en grados Celsius de las dos bandas térmicas 10 y 11. Finalmente para obtener la TSM absoluta se promedian las dos bandas y se calcula el error respecto a una imagen de TSM MODIS de temperatura del mismo día, como muestra la siguiente ecuación:

$$TSM = \frac{(T10+T11)}{2} + \text{error} \quad \text{donde: T10 y T11 son las} \quad (10)$$

En la Figura 53 se muestra la imagen TSM MODIS del mismo día (24 diciembre 2013) que la imagen Landsat 8 LC82330902013358LGN00.



**Figura 53. TSM MODIS del día 24 diciembre 2013.**

Se procede a calcular el error de la imagen y luego se calcula la TSM final como se muestra en la Figura 54.

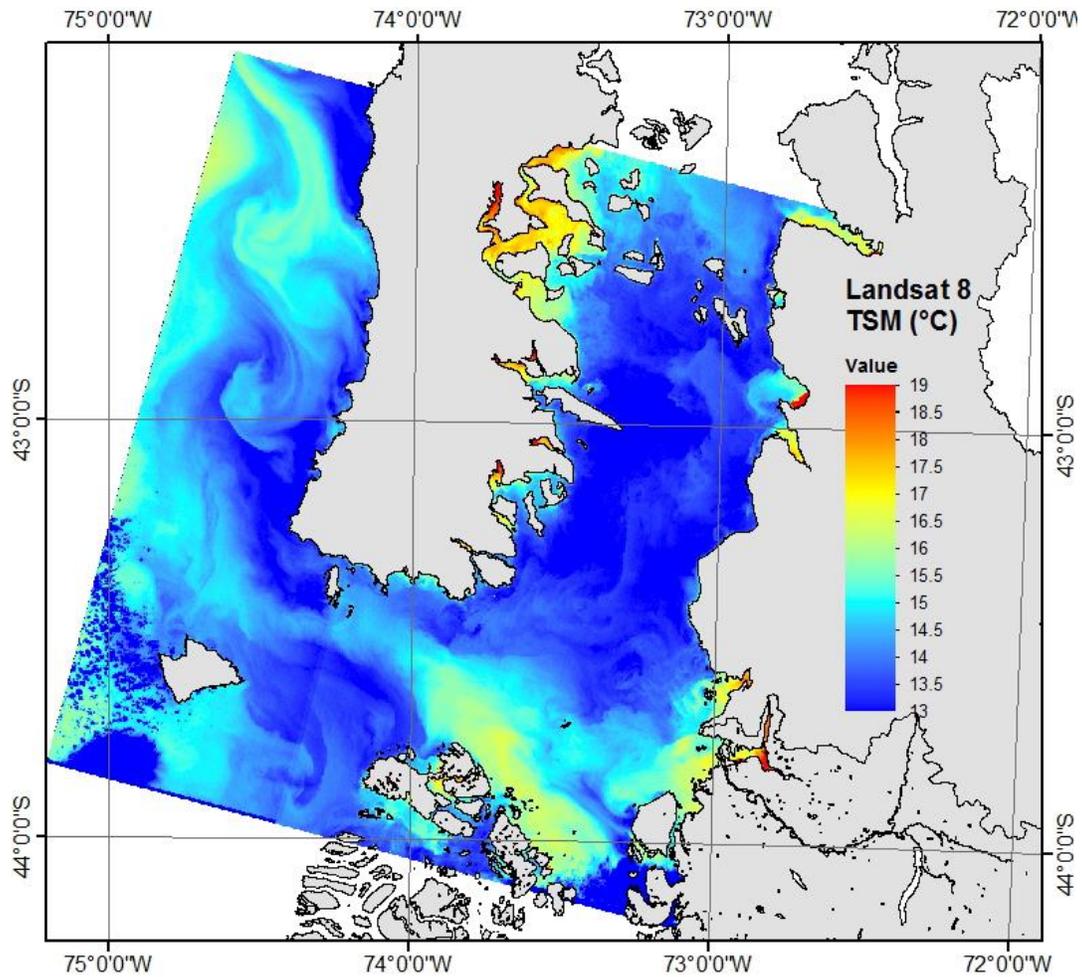


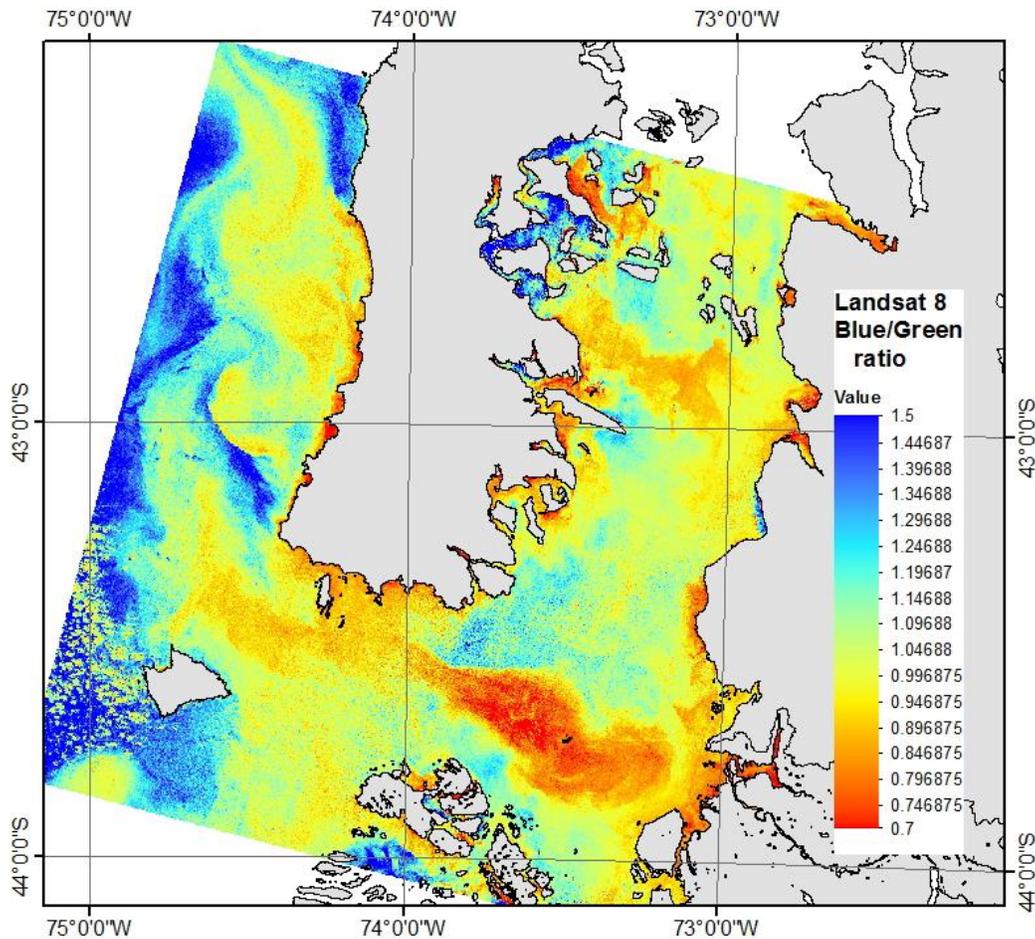
Figura 54. TMS Landsat 8 del día 24 diciembre 2013.

### 3.1.1.2.5. Estimación de la concentración de clorofila Landsat 8 OLI/TIRS

La estimación de la concentración de clorofila relativa Landsat 8 OLI/TIRS se basa en el ratio de reflectancia de las bandas 2 (Azul: 0,4826 μm) y banda 3 (Verde: 0,5613 μm) según la siguiente ecuación:

$$\text{Chl\_rel} = \text{B2/B3} \quad (11)$$

donde B2 es el valor de reflectancia banda Blue y B3 es el valor de reflectancia de la banda Green. En la Figura 55 se muestra la imagen resultante de Blue/green ratio o Clorofila relativa.



**Figura 55. Imagen de blue/green ratio o clorofila relativa del día 24 diciembre 2013.**

El ratio blue/green tiene la ventaja de relacionarse directamente al espectro visible: valores mayores son verdosos y menores valores son azulados. Esta relación fue evaluada con datos de otro satélite del mismo día. En consecuencia, el siguiente paso es calibrar la clorofila relativa a clorofila absoluta basada en datos de una imagen de clorofila VIIRS tomada el mismo día (24 diciembre 2013) que la Landsat 8 (Figura 56). Datos puntuales se relacionan con los valores de clorofila relativa. La ecuación siguiente se utiliza para derivar la clorofila absoluta para toda la imagen:

$$Chl = m_1 \times Chl_{rel} - m_0 \text{ (lineal)} \qquad Chl = m_1 * \exp Chl_{rel} \text{ (exponencial)} \qquad (12)$$

donde  $Chl$  es la clorofila absoluta,  $m_1$  es una constante ajustable para ampliar el ratio o la clorofila relativa a profundidad y  $m_0$  es la corrección.

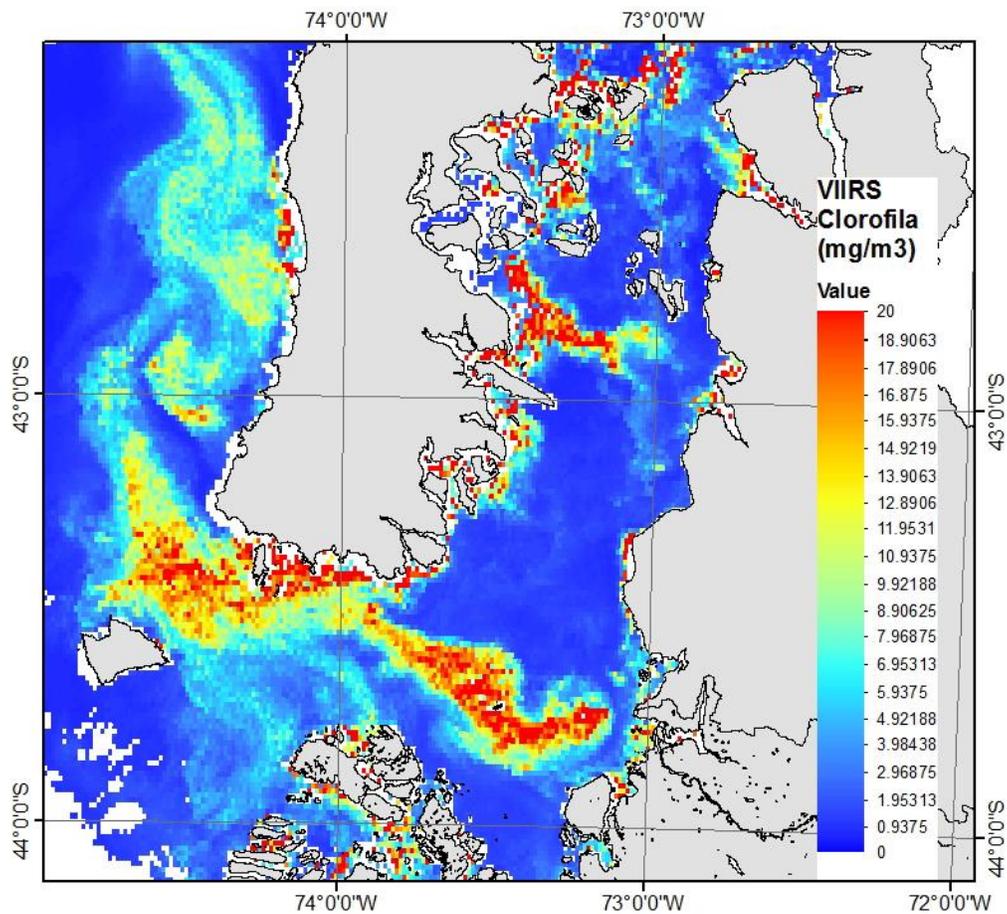


Figura 56. Clorofila VIIRS del día 24 diciembre 2013.

Se obtuvo que la relación entre datos de Clorofila VIIRS y la clorofila relativa es de tipo exponencial ( $R^2=0,88$ ) y su ecuación es  $Chl = 69,954 * e^{-2,701 * Chl_{rel}}$  tal como se muestra en el gráfico de dispersión y línea de tendencia de la Figura 57.

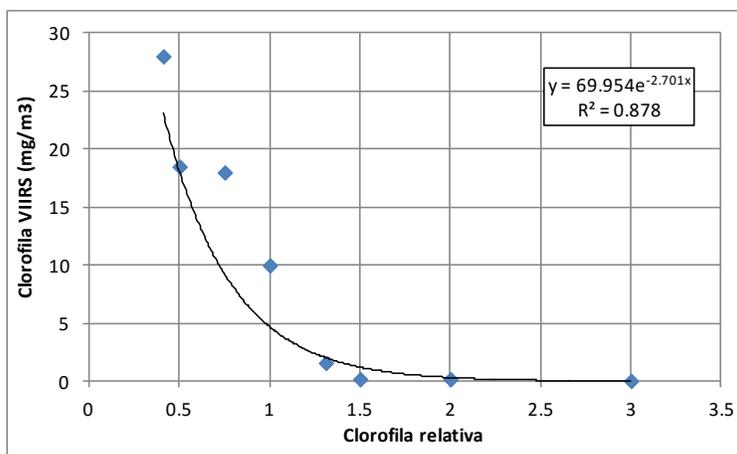


Figura 57. Modelo ajustado de calibración clorofila relativa a clorofila absoluta.

Finalmente utilizamos la ecuación  $Chl = 69,954 * e^{-2.701 * Chl_{rel}}$  para simular la clorofila absoluta en función de la clorofila relativa, obteniéndose como resultado la imagen que se muestra en la Figura 58.

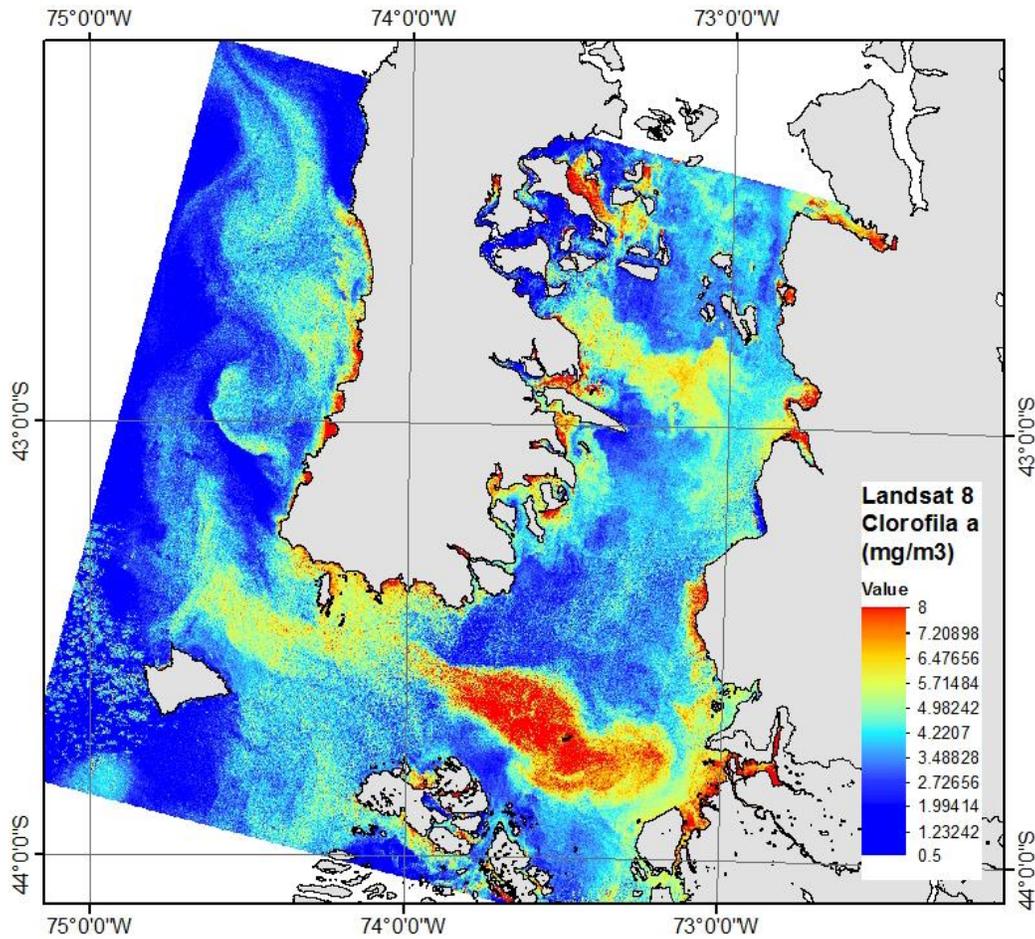
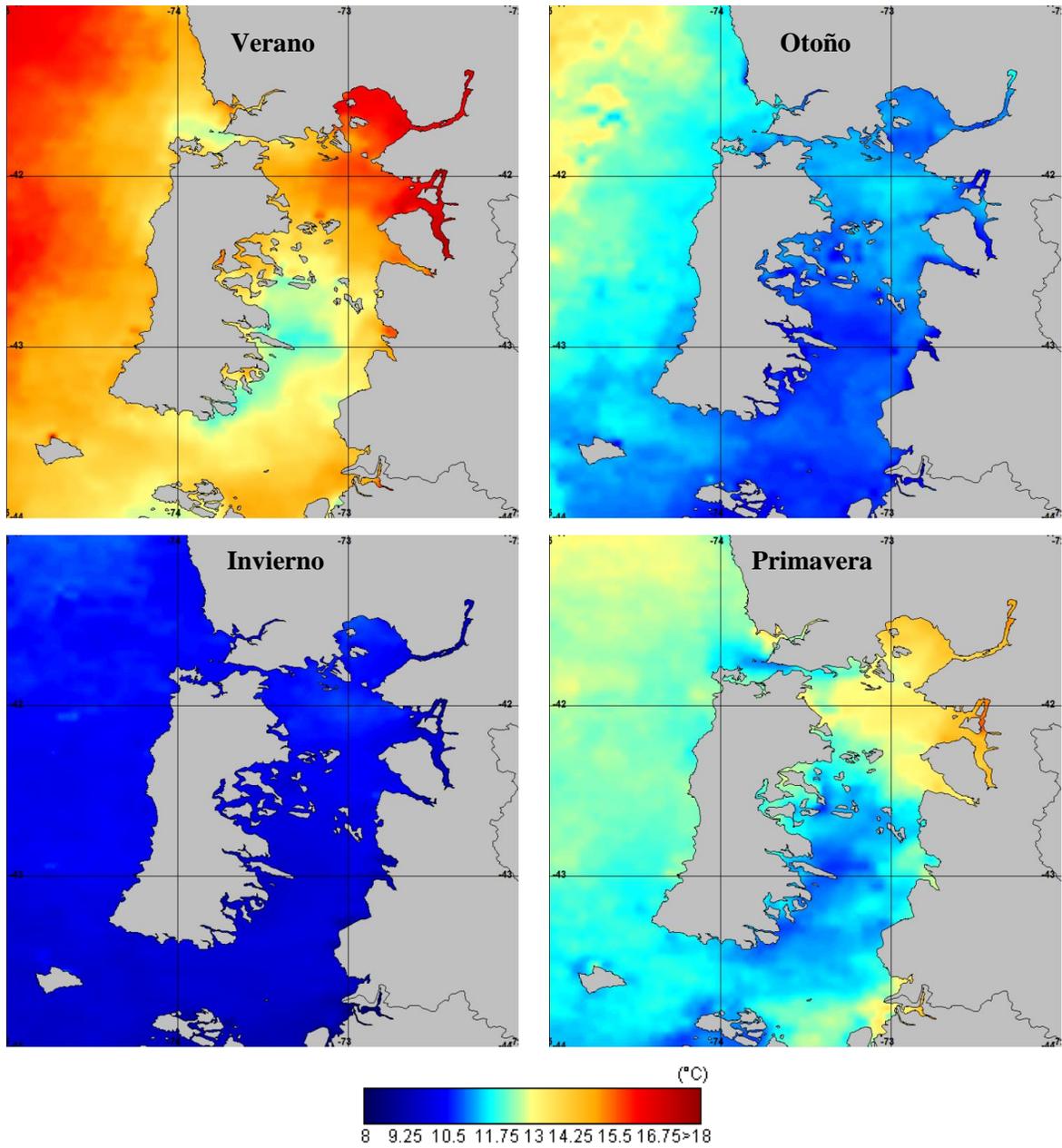


Figura 58. Clorofila Landsat 8 del día 24 diciembre 2013.

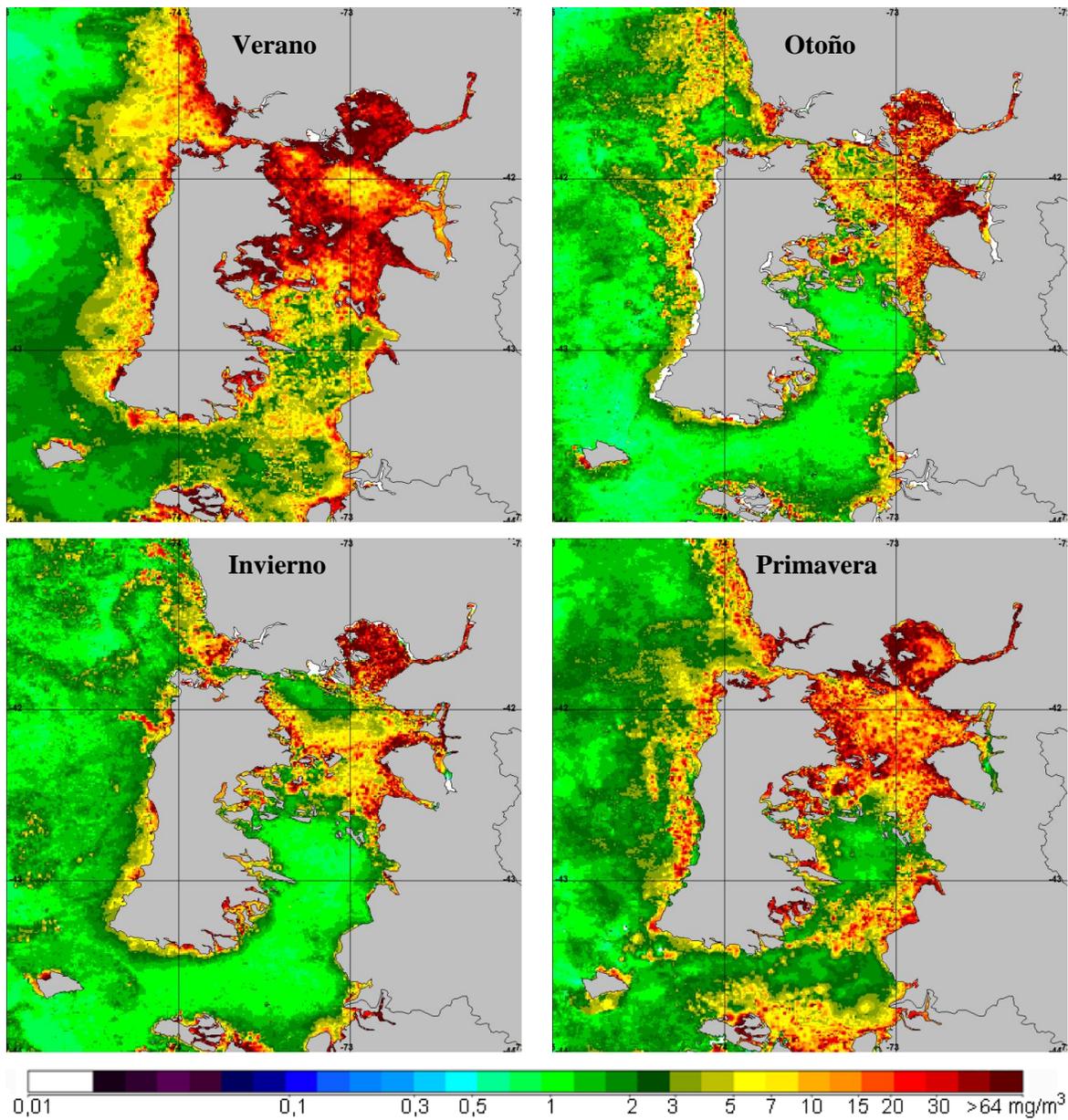
### 3.1.2. Imágenes MODIS, VIIRS y MERIS

Se adquieren imágenes de sensores MODIS y VIIRS diarias del año 2012 con una resolución espacial de 1 km. En total se adquieren 148 imágenes diarias MODIS y 165 VIIRS. Con estas imágenes diarias se hacen composiciones mensuales y luego promedios estacionales. En la Figura 59 se muestran las imágenes promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor MODIS.



**Figura 59. Promedio de la temperatura superficial del mar durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor MODIS.**

En la Figura 60 se muestran las imágenes promedio de la concentración de clorofila-*a* (C<sub>loa</sub>) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.



**Figura 60. Promedio de la concentración de clorofila-*a* durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.**

En la Figura 61 se muestran las imágenes promedio de la concentración de carbono orgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.

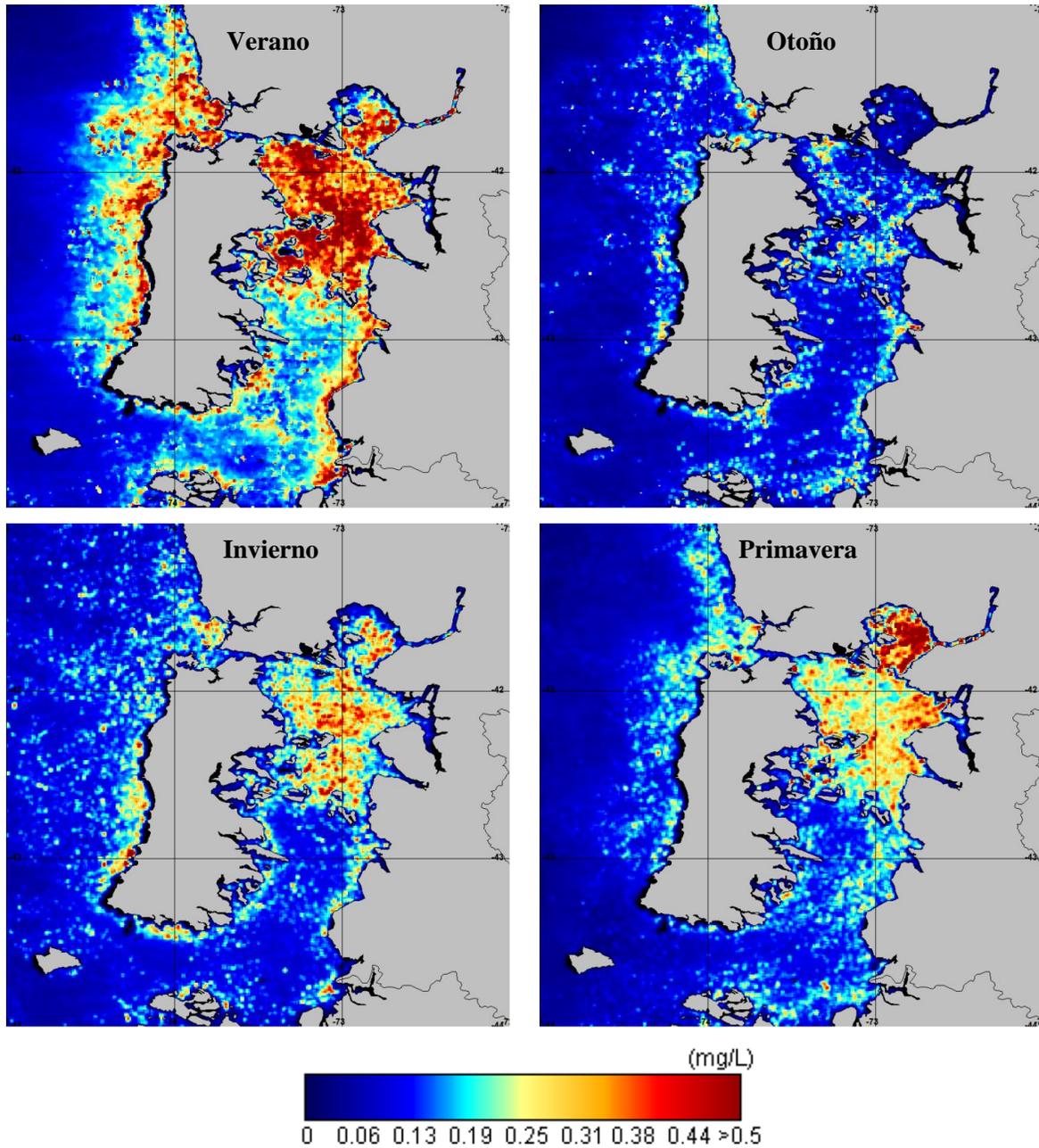


Figura 61. Promedio de la concentración de carbono orgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.

En la Figura 62 se muestran las imágenes promedio de la concentración de carbono inorgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.

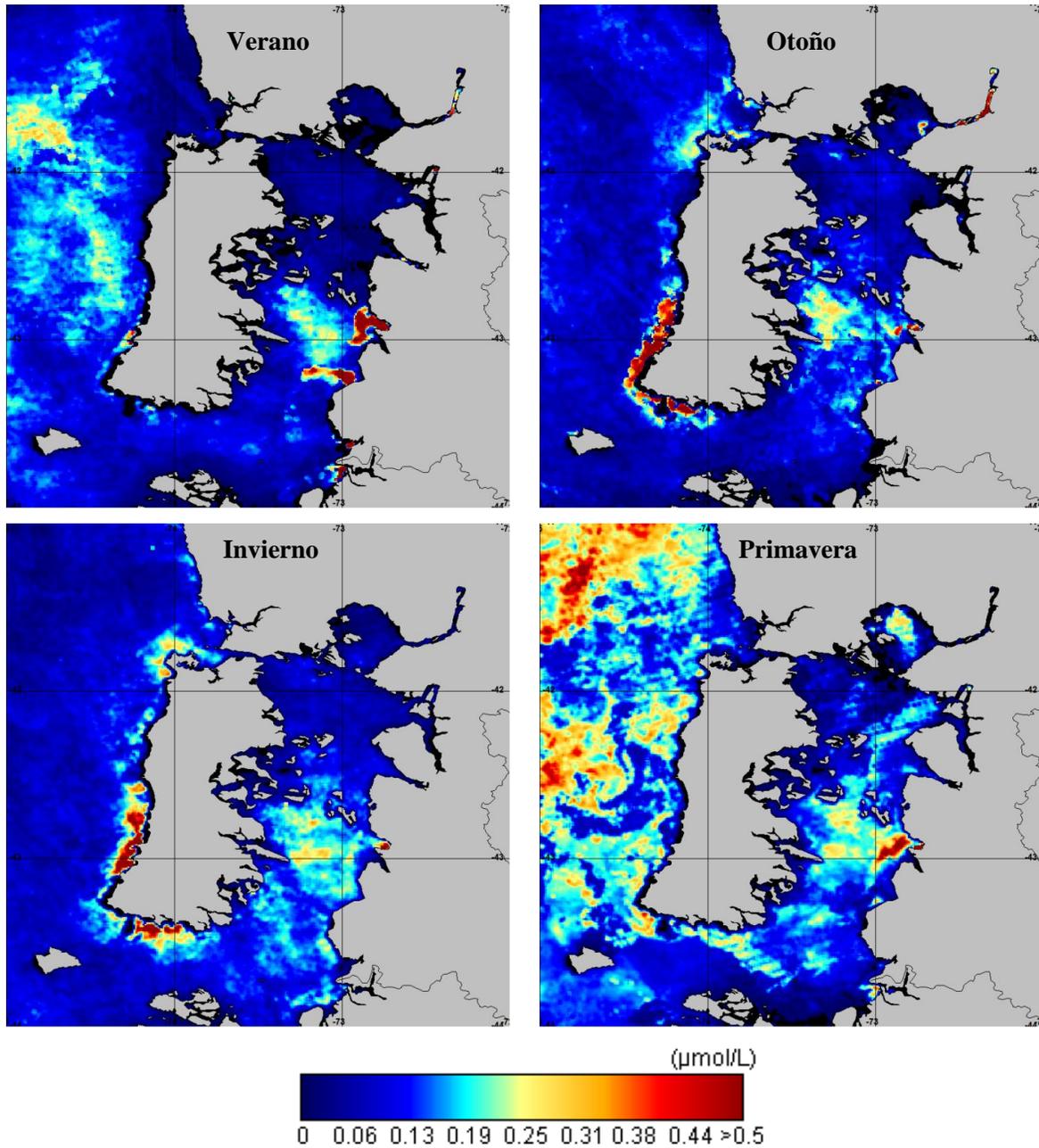
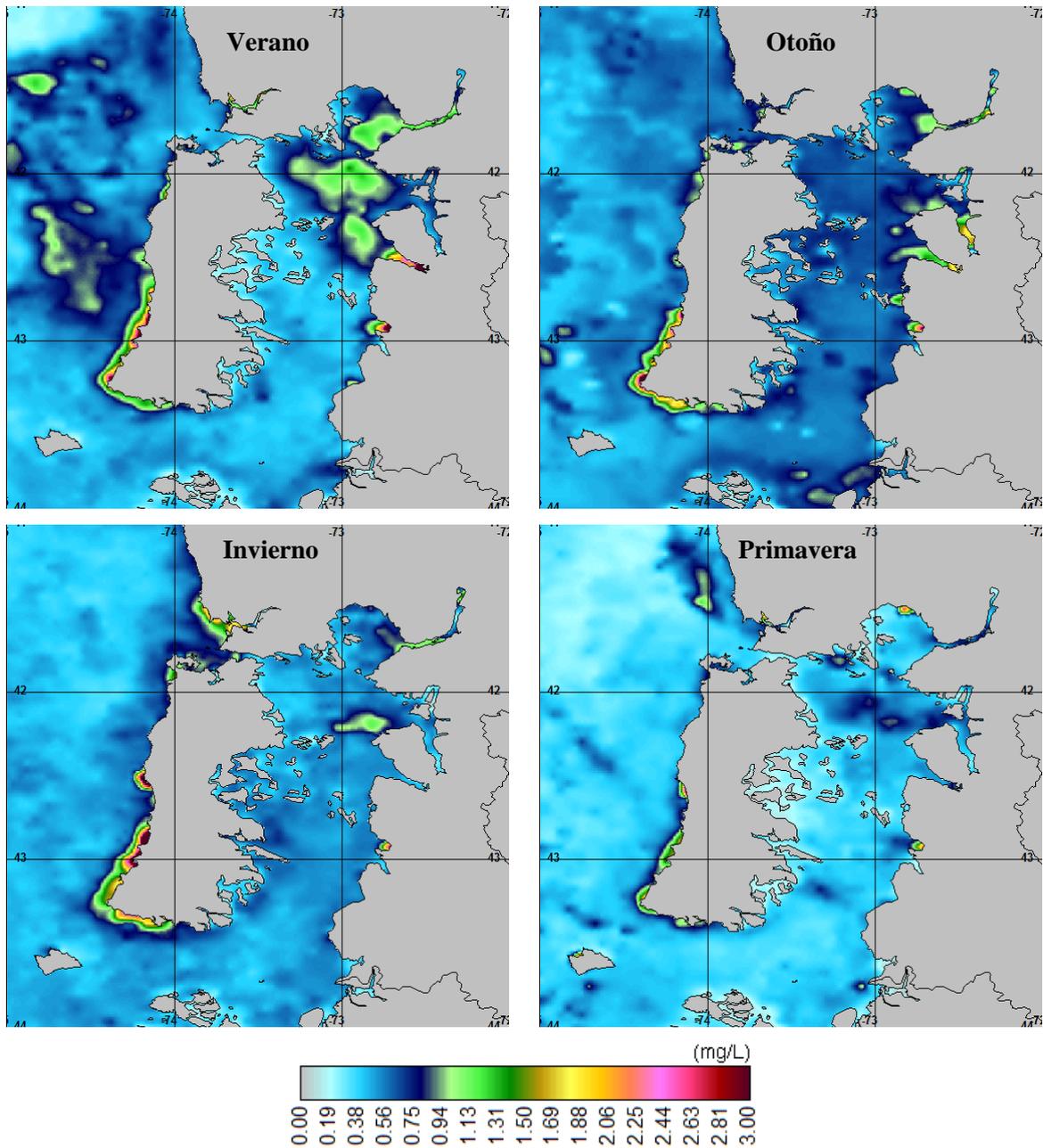


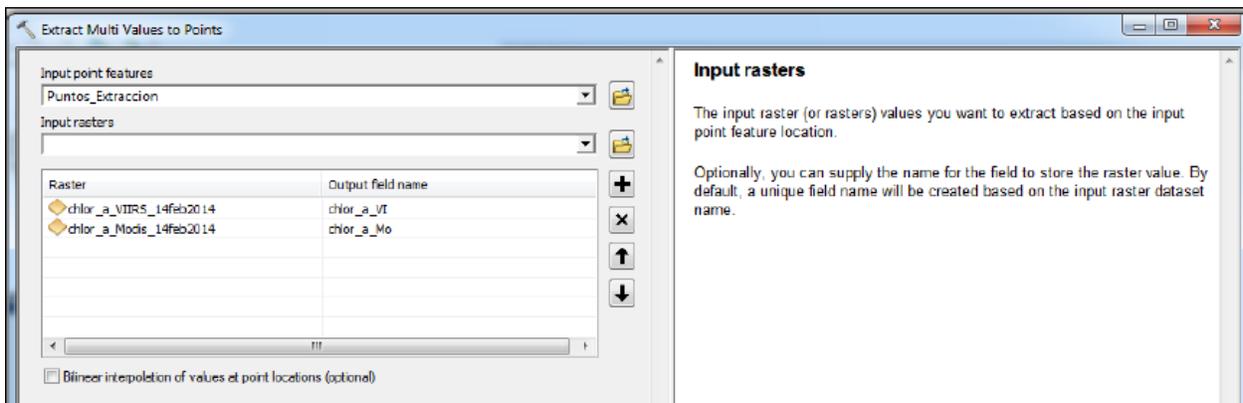
Figura 62. Promedio de la concentración de carbono inorgánico particulado durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del sensor VIIRS.



**Figura 63. Promedio de la materia total particulada (mg/L) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2011 generada con datos del sensor MERIS.**

### 3.1.2.1. Spatial Analyst de ArcGIS 10 para la comparación de información in situ y satelital

Se realiza una comparación entre la información de clorofila satelital MODIS y VIIRS con datos de muestreos *in situ*, con el objetivo de validar la información satelital. Para ello se cuenta con los datos de clorofila *in situ* integrada a 0-10 y 10-20 metros de profundidad proveniente de 88 estaciones de muestreo oceanográfico, todas pertenecientes al Programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas que ejecuta el Instituto de Fomento Pesquero y administra la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Se utiliza información satelital y de estaciones oceanográficas del año 2012. Se utilizaron 181 imágenes diarias MODIS y VIIRS. En primer lugar se deben extraer puntos de las imágenes satelitales, para ello desde ArcToolbox — Spatial Analyst Tools— "Extract Multi Values to Point" se seleccionan los Puntos de Extracción (copia de shape Estaciones de Muestreo donde hay datos de clorofila) y los respectivas imágenes raster de MODIS y VIIRS tal como se muestra en la Figura 64.



**Figura 64. Toolbox Extract Multi Values to Points para la extracción de puntos en imágenes raster de clorofila.**

Como resultado de la extracción de valores en ArcGIS se agrega el campo de clorofila a la tabla de atributos del shape de los puntos de muestreo. En este caso se agrega el campo chlor\_a\_VI (clorofila VIIRS) y chlor\_a\_MO (clorofila MODIS) como valores de extracción de clorofila para cada satélite. Un ejemplo del resultado de extracción se visualiza en la Figura 65.

FID	Shape	REG	CODIGO_EST	ESTACION	AREA	INSTITUCIO	SUBPROGRAMA	ORIGEN	ESTADO	LAT_DEG	LONG_DEG	U_UTM	E_UTM	chlor_a_VI	chlor_a_Mo
0	Point	X	L04N2	Iique	Est. y S. Reloncaví	Subpesca	Mont. Regular	2010	Vigente	-41.62194	-73.07306	539040	880529	0	0
1	Point	X	L04N3	Chayhué	Seno Reloncaví	Salud	Mont. Regular	2010	Vigente	-41.77361	-73.36639	537407	637172	0	0
2	Point	X	L04N4	Pulqui	Seno Reloncaví	Salud	Mont. Regular	2010	Vigente	-41.84306	-73.08056	536587	656357	0	0
3	Point	X	L20N3	I. Redonda	Corcovado	Salud	Mont. Regular	2010	Vigente	-43.36083	-74.16889	510880	566724	0	0
4	Point	XI	A03N1	Malin	Raúl Marín Balmaceda	Salud	RM Balmaceda	2010	Vigente	-43.79556	-72.94056	514877	685081	0	0
5	Point	XI	A03N2	Playa Coria	Raúl Marín Balmaceda	Salud	RM Balmaceda	2010	Vigente	-43.82417	-73.00167	514572	680088	0	0
6	Point	XI	A18N1	Isla Abío	Aysén Norte	Subpesca	Mont. Regular	2010	Vigente	-44.37556	-73.29417	505900	635886	0	0
7	Point	XI	A19N1	Seno Ventisquero 1	Canal Puyuhuepi	Salud	Mont. Regular	2010	Vigente	-44.37861	-72.59611	505326	591501	0	0
8	Point	XI	A19N2	Seno Ventisquero 2	Canal Puyuhuepi	Salud	Mont. Regular	2010	Vigente	-44.45006	-72.59917	507445	590999	0	0
9	Point	X	L06N2	Paso Ilop	Est. y S. Reloncaví	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-41.84472	-72.98639	538533	674643	0	0
10	Point	X	L09N1	Gafo Ancud (I. Butechaupues N)	Canal Chibó Norte	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-42.19222	-72.94306	526683	669541	21,7661	27,7779
11	Point	X	L13N1	Isla Deseriores (I. Chauilinec N)	Canal Chibó Norte	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-42.56528	-73.12053	526575	654246	16,5568	6,89509
12	Point	X	L17N2	Este Isla Tranqui (I. Tranqui)	Canal Chibó Sur	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-43.02111	-73.12444	629513	652823	20,1491	22,5776
13	Point	X	L19N3	Este de Quellón (G. Corcovado)	Canal Chibó Sur	Subpesca	Vigilancia	2011	Vigente	-43.22667	-73.39809	520166	629011	32,7685	28,8802
14	Point	X	L19N4	Este Isla San Pedro (G. Corcovado 2)	Corcovado	Subpesca	Vigilancia	2011	Vigente	-43.50194	-73.33444	518210	634648	13,5283	11,9727
15	Point	X	L25N1	Este Golfo Corcovado (Bosco Guafó)	Corcovado	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-43.56167	-73.81778	517613	595479	4,78966	3,82221
16	Point	XI	A03N1	Canal Tuamapu	Aysén Norte	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-43.98194	-74.19444	512982	564005	0	0
17	Point	XI	A04N1	Canal Moraleda 1	Aysén Norte	Subpesca	Vigilancia	2011	Vigente	-43.90556	-73.42889	513742	628163	36,4089	54,2025
18	Point	XI	A05N2	Isla Broton	Aysén Norte	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-44.30694	-74.43444	506469	645046	0	0
19	Point	XI	A11N1	Canal Moraleda 2	Aysén Norte	Subpesca	Vigilancia	2011	Vigente	-44.19607	-73.38503	510502	626987	11,8004	7,31031
20	Point	XI	A18N4	Canal Moraleda 3	Aysén Norte	Subpesca	Mont. Regular	2011	Vigente	-44.49278	-73.45389	507223	629228	9,24648	280,913
21	Point	XI	A03N2	Isla Filomeno	Aysén Norte	Subpesca	Mont. Regular	2012	Vigente	-44.49472	-73.57667	507219	613162	0	0
22	Point	XI	A05N3	Isla Francisco	Aysén Norte	Subpesca	Mont. Regular	2012	Vigente	-44.49944	-73.68506	507181	604496	0	0
23	Point	XI	A02N1	Rapelal Bajo Canal Puguín	Aysén Norte	Salud	Mont. Regular	2013	Vigente	-43.98028	-73.88355	513860	596860	0	0
24	Point	XI	A05N3	Isla Las Hermanas	RM Balmaceda	Subpesca	RM Balmaceda	2013	Vigente	-43.76827	-73.02656	515199	656079	19,7212	0
25	Point	XI	A10N1	Punta Apablaza	Aysén Norte	Salud	Mont. Regular	2013	Vigente	-44.47778	-72.71944	507253	603199	0	0
26	Point	X	L01	Metri	Est. y S. Reloncaví	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-41.59667	-72.76556	536246	691221	0	0
27	Point	X	L02	Yates	Estuario Reloncaví	Salud	Mont. Regular	0	Vigente	-41.69194	-72.39417	538115	716355	0	0
28	Point	X	L02N1	Solomé	Estuario Reloncaví	Salud	Mont. Regular	0	Vigente	-41.68611	-72.40083	538403	716387	0	0
29	Point	X	L02N2	Cochamó	Est. y S. Reloncaví	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-41.49639	-72.31139	540265	724422	0	0
30	Point	X	L02N3	Mamei	Estuario Reloncaví	Salud	Mont. Regular	0	Vigente	-41.7	-72.45	538039	712182	0	0
31	Point	X	L03	Cta. La Arena	Est. y S. Reloncaví	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-41.68778	-72.64417	538221	696082	0	0
32	Point	X	L03N1	Potrombo	Estuario Reloncaví	Salud	Mont. Regular	0	Vigente	-41.715	-72.44944	537872	712179	0	0
33	Point	X	L04	Caibuco	Est. y S. Reloncaví	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-41.80731	-73.16714	536999	652253	0	0
34	Point	X	L05	Queimahué	Chibó Norte	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-41.8525	-73.94694	538606	587414	0	0
35	Point	X	L06	Huahué	Chibó Norte	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-41.90333	-73.4975	538987	624623	0	0
36	Point	X	L09N1	I. Caicura	Seno Reloncaví	Salud	Mont. Regular	0	Vigente	-41.73398	-72.88306	537727	692088	0	0
37	Point	X	L07	C. Caucallué	Canal Chibó Norte	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-42.1375	-73.47306	533383	626186	0	0
38	Point	X	L108	I. Mechuaue	Canal Chibó Norte	Subpesca	Mont. Regular	0	Vigente	-42.31694	-73.74917	531365	644280	0	0

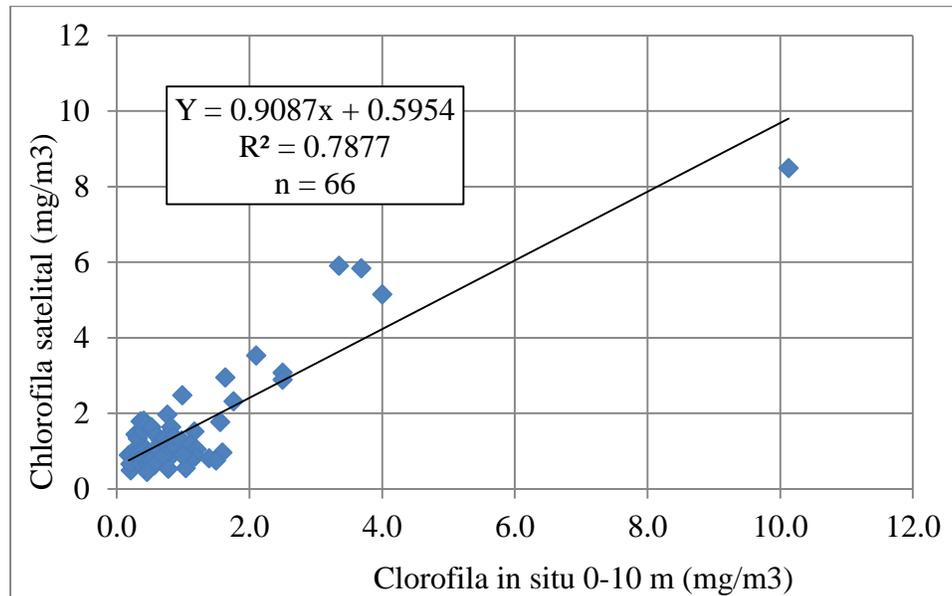
Figura 65. Ejemplo de la tabla de atributos resultante después de la extracción de datos de clorofila en las imágenes.

Luego de obtener la tabla de atributos esta se debe organizar y eliminar los registros vacíos y datos anómalos. Después de cruzar 181 imágenes con la planilla de datos de clorofila *in situ*, nos quedamos con 66 datos válidos para efectuar la validación de la clorofila satelital. En la Tabla 29 se muestra un ejemplo de la planilla de datos final para la validación.

Tabla 29. Ejemplo de la planilla de datos final para la validación de la clorofila satelital.

ID	AÑO	CODIGO	NOMBRE	FECHA	CLO 0-10	CLO 10-20	CLO SAT
40941L17	2012	L17	Auchemó	2-feb-12	4.0	1.0	5.1555
40941L17N2	2012	L17N2	I. Tranqui	2-feb-12	0.4	0.5	0.743667
40941L17N2	2012	L17N2	I. Tranqui	2-feb-12	0.4	0.5	0.664614
40941L19N3	2012	L19N3	G. Corcovado	2-feb-12	0.8	0.8	0.538926
40947L06N1	2012	L06N1	I. Caicura	8-feb-12	2.5	0.4	2.89636
40976L19N3	2012	L19N3	Golfo Corcovado	8-mar-12	0.5	0.7	1.03274
40976L19N4	2012	L19N4	Golfo Corcovado 2	8-mar-12	0.4	0.8	0.771382
40991L19N4	2012	L19N4	Golfo Corcovado 2	23-mar-12	1.2	1.4	1.05165
40998L13N1	2012	L13N1	Isla Chauilinec II	30-mar-12	0.9	0.6	1.17259
41019A01	2012	A01	A01 Isla Virginia	20-abr-12	0.2	0.4	0.5
41021A03N1	2012	A03N1	Canal Tuamapu	22-abr-12	0.4	0.6	1.71125
41022L25N1	2012	L25N1	Boca Guafó	23-abr-12	0.5	0.6	1.64046
41023A04N1	2012	A04N1	Canal Moraleda I	24-abr-12	1.0	0.9	2.48448
41023L16	2012	L16	Isla Acui	24-abr-12	0.4	0.4	1.55155
41023L17N2	2012	L17N2	Isla Tranqui	24-abr-12	0.5	0.4	0.892112
41026L13N1	2012	L13N1	Isla Chauilinec II	27-abr-12	0.8	0.7	1.64375
41026L14	2012	L14	Isla Talcán	27-abr-12	0.8	0.8	1.97336
41067L16	2012	L16	Isla Acui	7-jun-12	0.3	0.3	1.33656
41068L17N2	2012	L17N2	Isla Tranqui	8-jun-12	0.2	0.3	0.965517
41068L19N3	2012	L19N3	Golfo Corcovado	8-jun-12	0.4	0.3	1.0412

Finalmente se valida la información satelital mediante un ajuste lineal en un gráfico de dispersión, obteniéndose como resultado que la mejor relación es entre la clorofila satelital y la clorofila a 0-10 m, obteniéndose un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,79$  para un N igual a 66 observaciones (Figura 66).



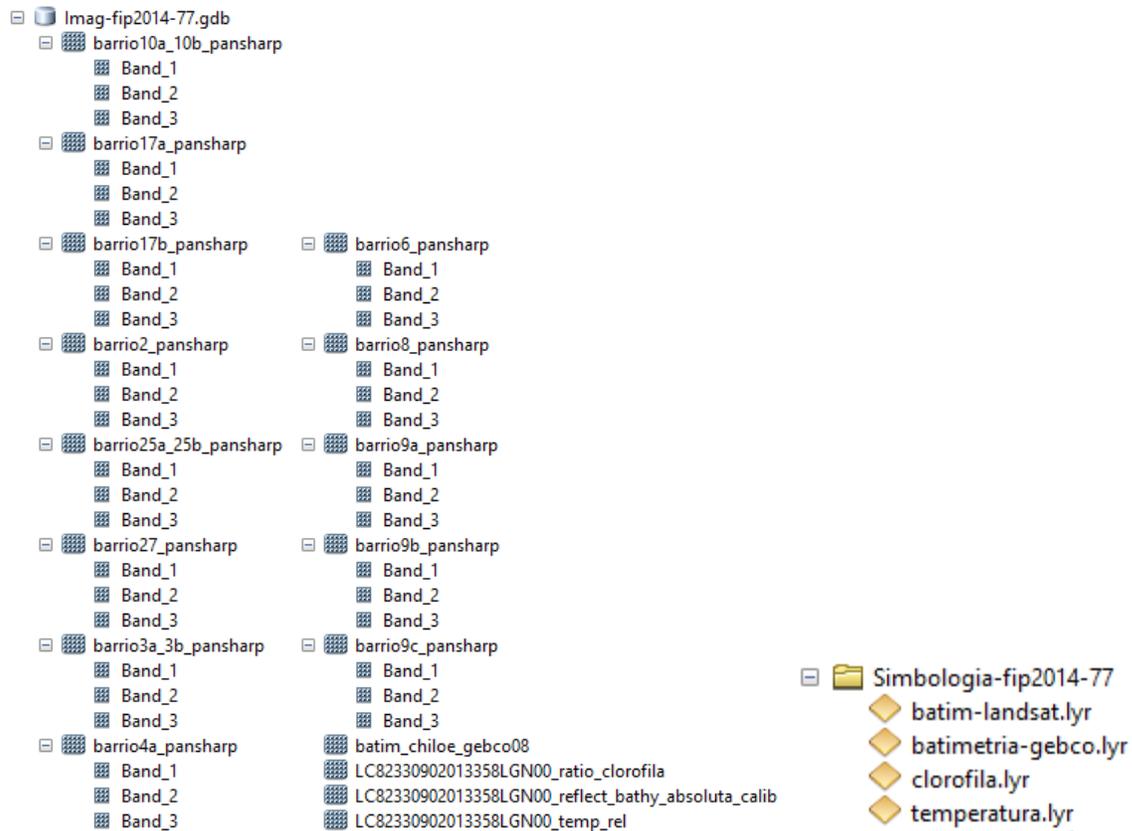
**Figura 66. Ajuste de recta de regresión lineal entre clorofila *in situ* de 0-10 m de profundidad y la clorofila satelital MODIS-VIIRS.**

### 3.1.3. Geodatabase de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales, requeridas en las bases técnicas del proyecto y descritas en el capítulo 3.1.1. Imágenes LANDSAT8, fueron entregadas a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Piso 21 oficina FIP) el 26 de marzo tal como lo evidencia la carta timbrada y recepcionada que se muestra en el ANEXO 2. Las imágenes LANDSAT8 fueron entregadas en 3 DVD, en formato bruto, con proceso pansharpenning y cortadas por los 14 barrios de interés.

Adicionalmente, se almacenan y entregan a Subpesca las imágenes satelitales en una Geodatabase (GDB) de archivo de ArcGIS 10 donde están las imágenes como raster dataset de los distintos Barrios en estudio y variables ambientales como batimetría, clorofila y temperatura superficial del mar (Figura 67). En el contexto de este Proyecto el tipo de geodatabase presente en la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura corresponde a multiusuario, permitiendo almacenar información geográfica siguiendo el modelo de datos de la geodatabase, pudiendo ser consultada y editada por varios usuarios de forma simultánea, sin límite de tamaño. Además funciona bajo Microsoft SQL Server, Oracle o IBM DB2. No obstante esto, existe

solamente un administrador del servidor con privilegios que no forma parte del equipo directo de trabajo del proyecto por parte de SUBPESCA.



**Figura 67. Estructura de la Geodatabase de los raster dataset de productos satelitales y carpeta de simbologías.**

De este modo y tal como se muestra en la Figura 67 se estructura y genera la Geodatabase de archivo **Imag-fip2014-77.gdb** donde se importaron como raster dataset las diversas imágenes y productos satelitales, quedando almacenadas éstas con la estructura de la Geodatabase. Los raster dataset de los Barrios (por ejemplo `barrio2_pansharp`) se visualizan en ArcGIS del modo RGB donde la Banda 1 es Red (R), Banda 2 es Green (G) y Banda 3 es Blue (B). Para visualizar de forma correcta la batimetría Chiloé GEBCO08 (`batim_chiloe_gebco08`), batimetría absoluta LANDSAT8 (`LC82330902013358LGN00_reflect_bathy_absolute_calib`), clorofila LANDSAT8 (`LC82330902013358LGN00_ratio_clorofila`) y temperatura superficial del mar LANDSAT8 se deben cargar respectivamente las simbologías `batimetria-gebco.lyr`, `batim-landsat.lyr`, `clorofila.lyr` y `temperatura.lyr` (Figura 67). Cabe destacar que se entrega a Subpesca la Geodatabase y la carpeta con las simbologías.

#### *3.1.4. Adquisición de licencias ENVI*

Se adquirieron 2 licencias flotantes del software ENVI 5.1 para interpretación y procesamiento digitales de imágenes satelitales para la gestión territorial de la acuicultura y de estudios medio ambientales. El software fue adquirido el 17 de abril de 2015 tal como lo señala la factura en ANEXO 3 y éste fue entregado a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Piso 21 oficina FIP) el 21 de abril tal como lo evidencia la carta timbrada y recepcionada que se muestra en el ANEXO 3.

3.2. *Objetivo específico ii) Identificar sitios aptos para la acuicultura, capacidades de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales.*

Se desarrolló el levantamiento de información de los indicadores ecosistémicos los cuales se mostraron en los puntos 3.1.1. y 3.1.2. y se complementan con la información que se muestran en el capítulo posterior (3.2.1.). En resumen las características (fuentes datos, rango de valores de datos, metodo muestreo, criterio, Rango Aptitud por Factor [RAF], valor del RAF y fuente del RAF) de los datos de indicadores ecosistémicos que servirán de entrada para el modelo de selección de sitios de cultivo se muestran en la Tabla 30.

**Tabla 30. Variables, rango de valores de datos, fuente de datos, metodo muestreo de los datos, criterio, Rango Aptitud por Factor (RAF), valor del RAF y fuente del RAF de la base datos utilizada en el análisis de aptitud de la zona marina de la X Región para la selección de sitios para el cultivo de ostra japonesa.**

Variable	Rango datos mapa	Fuente datos	Criterio	Rango apto	Valor RAF	Fuente RAF
<i>Factores de crecimiento y sobrevivencia</i>						
T (°C)	8,5 – 17,6	1	WQ	8 – 34 < 8 and > 34	1 0	11, 12, 13
S (psu)	20,2 – 33,5	2	WQ	10 – 35 < 10 and >35	1 0	12, 14
MPT (mg L <sup>-1</sup> )	0,01 - 5,61	3	WQ	1 – 160 < 1 and >160	1 0	11, 12, 15
OD (mg L <sup>-1</sup> )	4,1 – 9,0	4, 5, 6	WQ	> 4 < 4	1 0	16
Clo <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )	0,41 – 99,7	3	WQ	1 – 55 < 1 and > 55	1 0	11, 12, 15, 17
COP (mg L <sup>-1</sup> )	0,07 – 1,22	3	WQ	1 – 55 < 1 and > 55	1 0	11, 12, 15, 17
<i>Factores de aptitud física</i>						
Magnitud de corrientes (m s <sup>-1</sup> )	0,1 – 0,90	2	WQ	0,1 – 2 < 0,1 and > 2	1 0	18
Batimetría (m)	0,1 – 2954	7	WQ	4 – 25 < 4 and > 25	1 0	19
<i>Restricciones legales</i>						
Concesiones salmones	n/a	8		n/a	0	
Áreas Aptas Acuicultura	n/a	9		n/a	0	
AMERB	n/a	10		n/a	0	

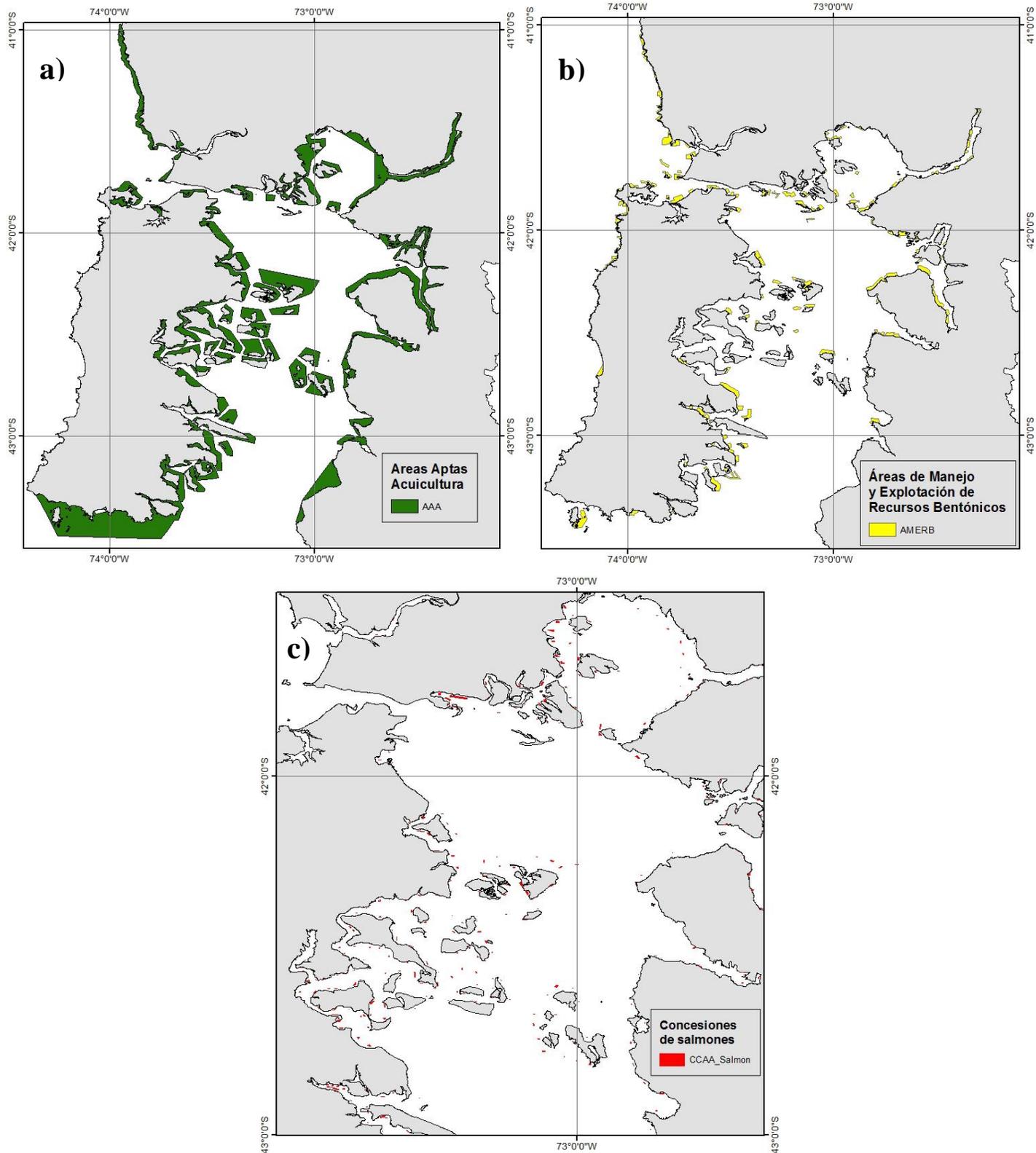
I: MODIS; 2: HYCOM; 3: VIIRS; 4: García et al. (2014); 5: Silva (2013); 6: Silva (2014); 7: BODC (2010); 8: SUBPESCA (2010); 9: MINECON (1992); 10: SUBPESCA (2009); 11: Roland and Brown (1990); 12: Kobayashi *et al.* (1997); 13: Van der Veer (2006); 14: Mann *et al.* (1991); 15: Barrillé *et al.* (1997); 16: Vaquer-Sunger and Duarte (2008); 17: Gangery *et al.* (2003); 18: Vincenzi *et al.* (2006); 19: Longdill *et al.* (2007); T: Temperatura; S: Salinidad; MPT: Materia Particulada Total; OD: Oxígeno Disuelto; Clo *a*: Clorofila *a*; COP: Carbono Orgánico Particulado; AMERB: Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos; n/a: No aplicable; RAF: Factor suitability range; WQ: Water quality o criterio de calidad de agua.

### *3.2.1. Base de datos espacio-temporal de indicadores ecosistémicos*

La base de datos espacio-temporales de indicadores ecosistémicos se compone de los datos mostrados en los puntos 3.1.1 y 3.1.2 y se complementan con los datos que a continuación se detallan en los puntos 3.2.1.1. Restricciones legales y 3.2.1.2. Factores de aptitud de cultivo. Cabe señalar que las imágenes raster representan una matriz de 360 filas x 360 columnas para el área entre la longitud 72°W y 75°W y entre la latitud 41°S y 44°S con una resolución espacial de 1.000 m.

#### *3.2.1.1. Restricciones legales*

En la Figura 68 se muestra la distribución espacial de las restricciones legales y/o sociales: AAA, AMERB y concesiones de salmones.

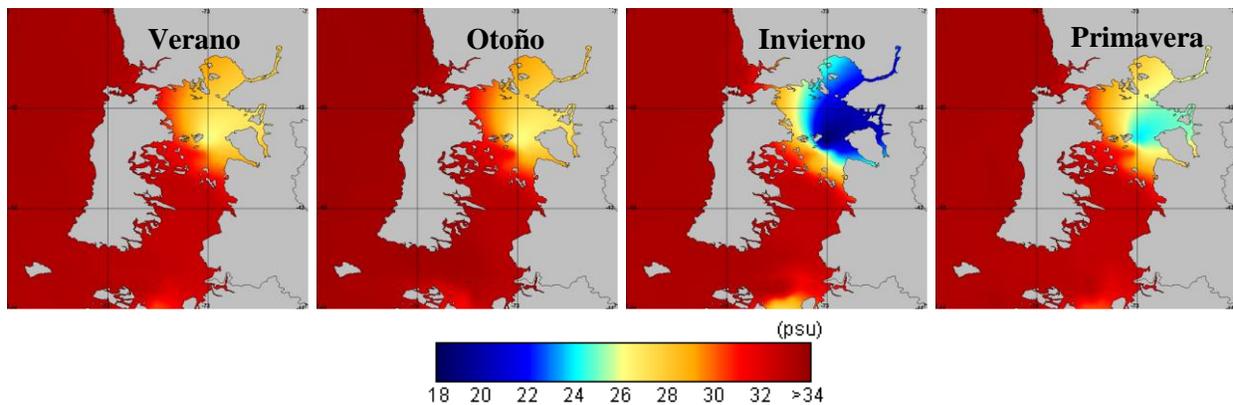


**Figura 68. Restricciones legales y sociales para la zonificación en SIG de los sitios aptos dentro del área marina de la X Región: a) áreas aptas npara acuicultura (AAA), b) áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB) y c) concesiones de acuicultura. Ver Tabla 30 para fuente de los datos usados como restricciones.**

### 3.2.1.2. Factores de aptitud de cultivo

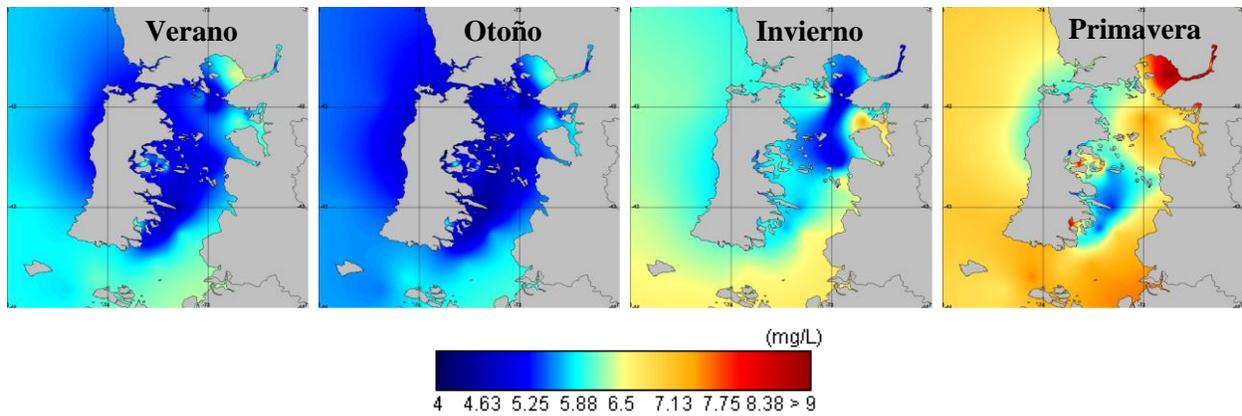
En la Figura 49 del punto 3.1.1.2.3 se mostró la imagen batimétrica satelital GEBCO08 generada con datos de altimetría satelital y sondajes *in situ*. El Mapa General Batimétrico de los Océanos (General Bathymetric Chart of the Oceans, GEBCO08) con una resolución espacial de 30 segundos de arco, fue desarrollado por el Centro Oceanográfico Británico (British Oceanographic Data Centre, BODC) como un modelo digital del terreno para el océano y la tierra (BODC, 2010). La porción batimétrica de este modelo fue desarrollada combinando los datos de gravedad marinos publicados por Sandwell y Smith (2009) entre las latitudes 80°N y 81°S, con una base de datos de sobre 290 millones de sondeos batimétricos. Con la base de datos de Sandwell y Smith (2009) es posible predecir las profundidades del fondo marino basándose en las anomalías de la gravedad obtenidas mediante altimetría por satélite. Para acceder a los datos se debe seguir el siguiente enlace para descargar los datos batimétricos correspondientes: [http://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data).

En la Figura 69 se muestran las imágenes promedio de la salinidad a 5 m de profundidad durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del modelo hidrodinámico HYCOM.



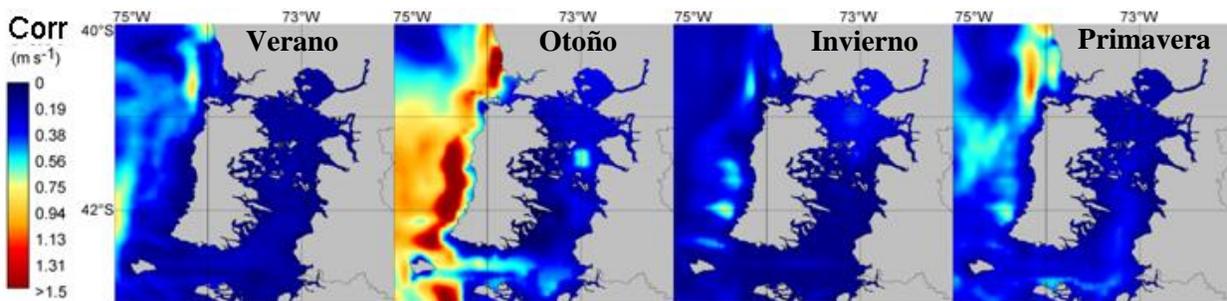
**Figura 69. Promedio de la salinidad a 5 m de profundidad durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 generada con datos del modelo hidrodinámico HYCOM.**

En la Figura 70 se muestran las imágenes de oxígeno disuelto durante verano, otoño, invierno y primavera obtenido del World Ocean Atlas 2013 y Silva (2013 y 2014).



**Figura 70. Oxígeno disuelto durante verano, otoño, invierno y primavera obtenido del World Ocean Atlas 2013 y Silva (2013 y 2014).**

Adicionalmente, se usa información de la magnitud de corrientes ( $\text{m s}^{-1}$ ) obtenidas del modelo hidrodinámico HYCOM para verano, otoño, invierno y primavera de 2012 (Figura 71).



**Figura 71. Magnitud de la corriente ( $\text{m s}^{-1}$ ) durante verano, otoño, invierno y primavera de 2012 obtenido del modelo hidrodinámico HYCOM.**

### 3.2.2. Modelo multivariado para la selección de sitios aptos

#### 3.2.2.1. Aptitud para el cultivo de ostra japonesa aplicando evaluación de multicriterios

La Figura 72 resume el enfoque de evaluación multicriterios (MCE) y los resultados obtenidos. Cabe señalar, que los valores de rangos de aptitud por restricción y factor se muestran en la Tabla 30 y para obtener los sitios aptos por factor se aplica la Ecuación (1) del capítulo 2.3.2. Se consideraron los resultados de la distribución espacial de las restricciones regulatorias y sociales obtenidas en la Etapa 1 (Figura 72a y b). Considerando que el área marina en estudio ( $72\text{-}75^\circ\text{W}$ ;  $41\text{-}44^\circ\text{S}$ ) comprende una superficie de  $68.545 \text{ km}^2$  (o  $68.545$  píxeles de  $1 \text{ km}^2$ ), se estimó que el área apta por las AAA y AMERB, representan  $6.026 \text{ km}^2$  (8,8% del área total) y  $67.626 \text{ km}^2$  (98,7% del área total) respectivamente. Resultados para la aptitud física muestran que las áreas aptas están restringidas por la batimetría del área, mientras que la magnitud de la

corriente está siempre dentro de los límites aceptables para el cultivo de ostra japonesa. Se estimó que el área apta de acuerdo a los criterios físicos representa 44.850 km<sup>2</sup>, 65,4% del área de estudio (Figura 72c). Resultados de los análisis de los factores de calidad de agua (temperatura, salinidad, materia particulada total y oxígeno disuelto) y disponibilidad de alimento (clorofila *a* y carbono orgánico particulado) que influyen el crecimiento y sobrevivencia de la ostra japonesa, podrían representar 22.642 km<sup>2</sup>, un 33% del área total (Figura 72d).

Las áreas aptas cubren una gran parte de los Barrios 2 (Seno Reloncaví), 4a (Río Maullín), 6 (Bahía Manao y Bahía Hueihue), 8 (Islas Chauques), 9b (Isla Meulín, Isla Querac, Isla Caguache), 9c (Isla Alao, Isla Apiao, Isla Chaulinec), 17a (Estero Comau) y 17b (Isla Pelada, Isla Llancahue). Factores de calidad de agua (temperatura, salinidad, materia particulada total y oxígeno disuelto) y disponibilidad de alimento (clorofila *a* y carbono orgánico particulado) muestran una gran variabilidad (Figuras 59, 60, 61, 62, 63, 69, 70 y 71) que influyen la aptitud (Figura 72d). La temperatura, salinidad, materia particulada total y oxígeno disuelto están siempre dentro de los límites aceptables de la ostra japonesa. La clorofila *a* y el carbono orgánico particulado tienen una gran variabilidad y áreas no aptas están restringidas a áreas con valores menores a 1 µg/L y 1 mg/L, respectivamente, que ocurren en aguas oceánicas o en el mar interior de Chiloé donde hay una gran influencia de las aguas oceánicas bajas en alimento para las ostras.

Para un total de 8 factores y 2 restricciones, el resultado final del análisis de aptitud de multicriterios indica que 1.889 km<sup>2</sup> (2,8%) de la región muestreada es apta para el cultivo de ostra japonesa (Figura 72e).

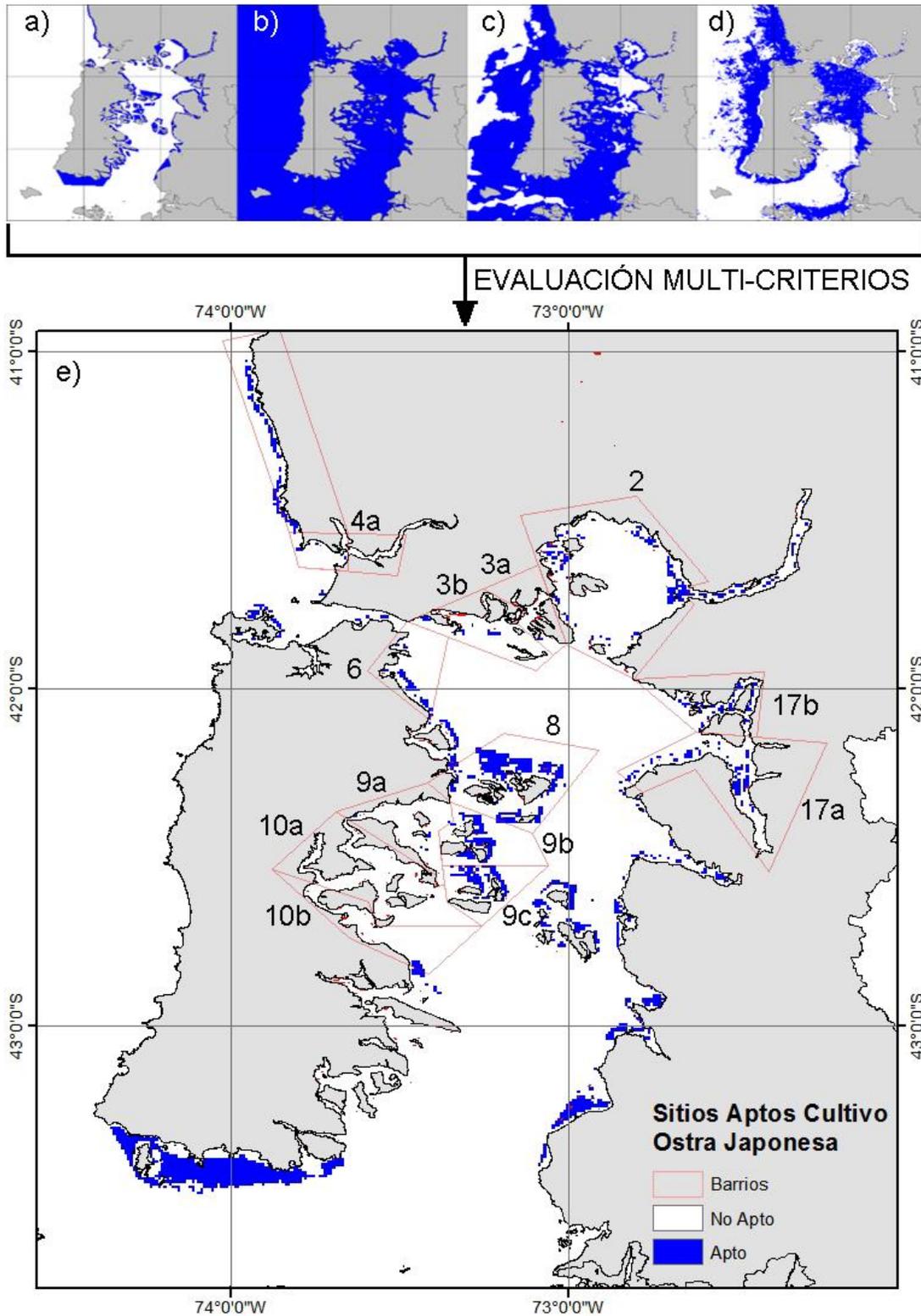
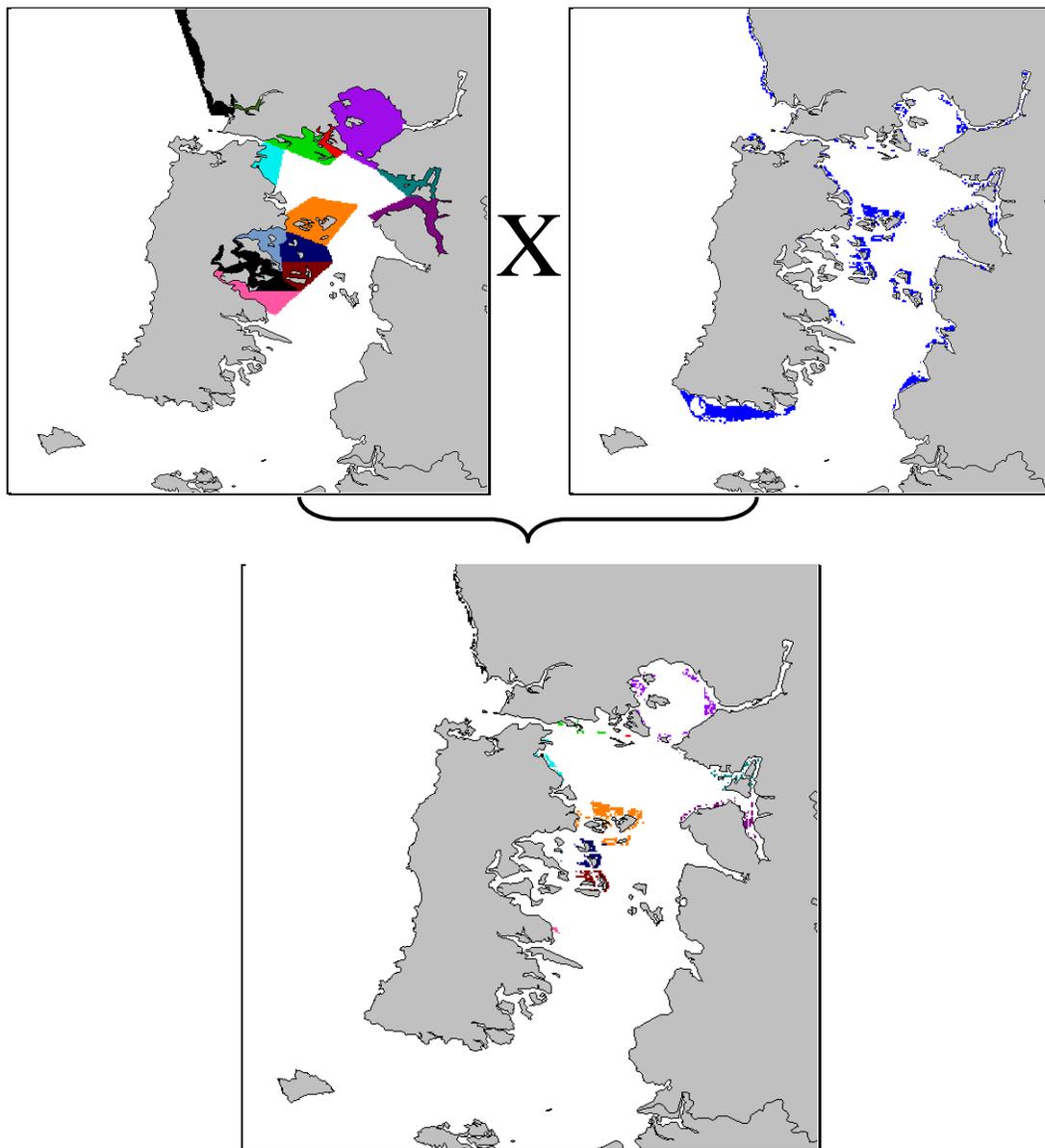


Figura 72. Mapas de aptitud de acuerdo a criterios de: a) zonas aptas por ley; b) áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos; c) aptitud física; y d) crecimiento y sobrevivencia; y e) mapa de aptitud final derivado de la evaluación multicriterios. Se superponen los polígonos y nombres de barrios.

### 3.2.2.2. Capacidad de carga en los sitios seleccionados

Diez barrios (2, 3b, 4a, 6, 8, 9b, 9c, 10b, 17a y 17b) que contienen áreas aptas se utilizaron en un análisis detallado de la producción, salidas socio-económicas y efectos ambientales aplicando el modelo dinámico de capacidad de carga FARM (Fig. 69e). Primero, a la imagen de los barrios se le aplica una superposición de multiplicación con la imagen de los sitios aptos (Figura 72e), generándose una imagen resultante de Áreas Aptas de Barrio (Figura 73).



**Figura 73. Imagen resultante de Áreas Aptas de Barrio.**

Utilizando la imagen de áreas aptas de barrios y mediante procesos de superposición con ArcGIS se extraen los valores ambientales (temperatura, salinidad, clorofila *a*, carbono orgánico particulado, material particulado total y oxígeno disuelto) de las imágenes de la base datos espacio-temporal de indicadores ecosistémicos. Las principales características de los datos ambientales extraídos en cada área apta de barrio desde la base datos espacio-temporal de indicadores ecosistémicos y usados para alimentar el modelo FARM se sintetizan en la Tabla 31.

**Tabla 31. Principales características ambientales de las áreas aptas de los 10 barrios (sitios).**

Barrios	Variable					
	T (°C)	S (psu)	Clo <i>a</i> (ug L <sup>-1</sup> )	COP (mg L <sup>-1</sup> )	MPT (mg L <sup>-1</sup> )	OD (mg L <sup>-1</sup> )
2	9,9-16,7	20,8-29,3	1,3-54,9	0-0,81	0,21-1,21	4,6-8,8
3b	10,4-14,4	24,8-31,0	1,1-43,7	0-0,55	0,31-1,28	4,9-6,4
4a	9,8-15,1	31,3-33,7	1,0-48,9	0-0,63	0,18-2,03	5,0-6,9
6	10,2-14,8	27,6-31,6	1,3-53,9	0-0,77	0,18-0,87	4,8-6,1
8	10,1-15,4	18,6-31,1	1,1-54,5	0-0,74	0,21-0,87	4,8-7,2
9b	9,6-13,9	28,0-32,1	1,1-51,3	0-0,7	0,23-0,74	4,7-6,4
9c	10,0-13,6	29,5-32,4	1,0-32,8	0-0,64	0,26-0,87	4,6-6,2
10b	9,8-12,5	32,8-33,0	1,1-14,8	0,1-0,34	0,27-0,85	4,7-6,2
17a	9,3-17,5	19,7-27,9	1,1-55,0	0-0,52	0,12-1,83	4,8-7,3
17b	8,6-17,3	20,2-27,1	1,2-54,8	0-0,48	0,08-0,98	5,3-7,9

T: temperatura; S: salinidad; Clo *a*: clorofila *a*; COP: carbono orgánico particulado; MPT: material particulado total; OD: oxígeno disuelto.

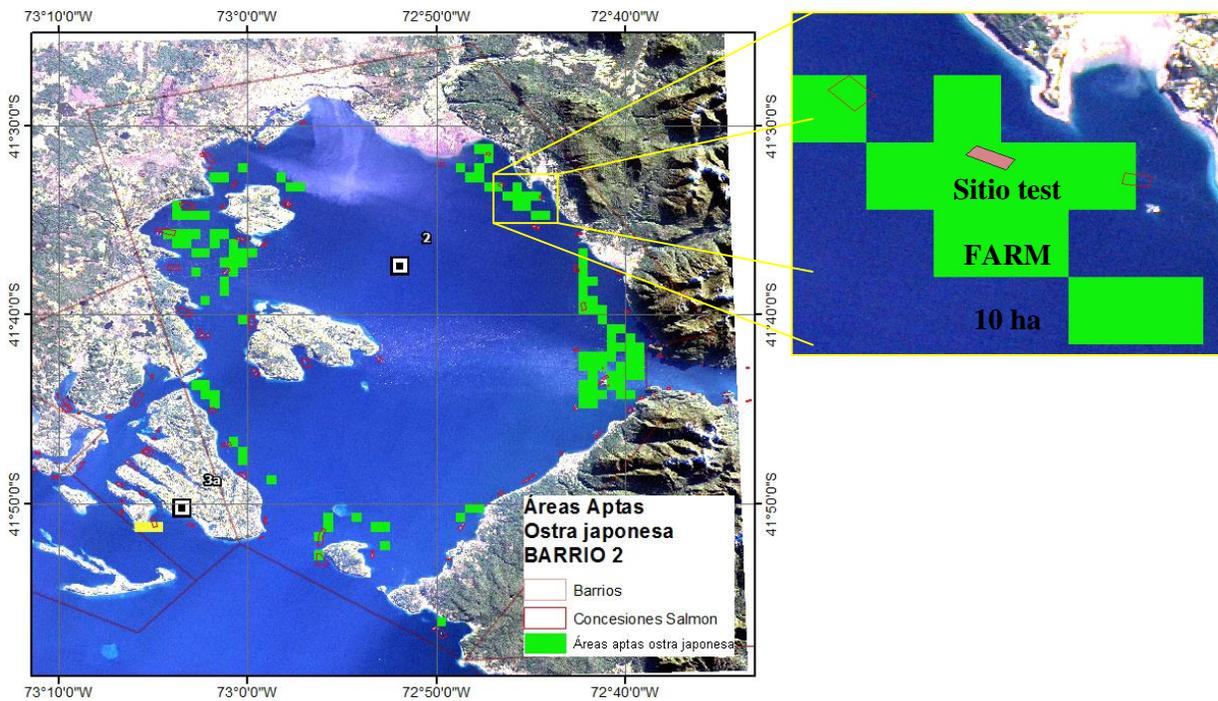
En cada uno de los 10 barrios se selecciona un sitio apto para modelar la capacidad de carga con FARM. Con el fin de hacer un estudio comparativo, en cada sitio apto por barrio se utiliza el mismo diseño de concesión, estructuras de cultivo y parámetros de cultivo de ostra japonesa, esto es: densidad de semilla estándar de 100 ind m<sup>-2</sup>, superficie o área de concesión test (prueba) de 10 ha (500 m \* 200 m), peso de semilla de 1,2 g, precio de semilla de 1.000 \$ kg<sup>-1</sup> ([www.cultimar.cl](http://www.cultimar.cl)), peso de cosecha de 90 g, mortalidad natural de 35 % año<sup>-1</sup>, precio venta de 2.500 \$ kg<sup>-1</sup>. El período de cultivo de la ostra japonesa varía dependiendo del tamaño de inicio y las condiciones bioceanográficas (temperatura, nutrientes, etc.) del sitio empleado, pudiendo ir desde 6 meses en aguas cálidas hasta 30 meses en aguas frías. Dado lo anterior, se usa un período estándar de 395 días de cultivo, precisamente para ver el efecto de las variables ambientales bioceanográficas en la producción del cultivo.

Adicionalmente se modela la capacidad de carga de ostra japonesa en un cultivo multitrofico (AMTI) junto al cultivo de Salmón atlántico en balsas jaulas para ver el efecto en la producción y en el ambiente de estos cultivos integrados. Para la modelación AMTI de ostra-salmón con FARM se usan como parámetros de

cultivo de peces una cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día) y el porcentaje de pérdida de alimento (%/día), que para el salmón atlántico alcanzan valores medios de 25 gr/salmón/día y una pérdida de alimento de 10%/día de acuerdo a Lall (2013) y basado en la maximización del crecimiento y uso de alimentos bajo diversas condiciones ambientales y de cultivo.

### 3.2.2.2.1. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 2

Para el Barrio 2 (Seno Reloncaví) y dentro de las áreas aptas para ostra japonesa estimadas en la etapa anterior, se selecciona un sitio apto para testear el modelo FARM el cual se localiza al norte del área en una zona sin cultivo de salmónes, no obstante que existen concesiones de salmónidos cercanas sin balsas-jaula ni producción (Figura 74). El sitio de cultivo de ostra tiene 10 ha y tiene la configuración detallada en la Tabla 32.



**Figura 74. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 2, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.**

**Tabla 32. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 2 (Seno Reloncaví).**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 2</b>	<b>Barrio 2 AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	10,5	12,3
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	575,8	633,9
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	28,8	31,7
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,18	3,24
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,14	4,49
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,18	3,28
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-49.081	-68.219
Reducción Detritus	0	0
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-7.635	-10.612
Detritus	0	0
Excreción	1.604	2.085
Heces	1.527	2.122
Mortalidad	204	224
Balance Masa	-4.300	-6.180
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	1.303	1.873
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Moderado	Moderado
Eutrofización ASSETS score outflow	Moderado	Moderado
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	2.206,5	2.432,5
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1.846,2	2.276,5
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	43,79	62,9
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	2.111,5	2.339,5 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

En la Tabla 32 se muestra las entradas y salidas de la capacidad de carga obtenidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) para el sitio apto evaluado en el Barrios 2 (Seno Reloncaví) y para dos escenarios: cultivo de ostra exclusivo y cultivo multitrófico ostra japonesa - salmón Atlántico.

Para el escenario de cultivo de ostra japonesa, el sitio del Barrio 2 muestra una considerable producción, con un Producto Físico Total (PFT) de 575,8 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio (PFM) de 28,8 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo. Los resultados de los modelos de simulación estándar de densidad de semillas sugieren que el sitio Seno de Reloncaví es un área prometedora para el cultivo de ostras, con un crecimiento rápido y un buen retorno de la inversión, como lo demuestra la PFM y por el ingreso económico previsto.

Salidas socio-económicas del análisis marginal para cada sitio de cultivo con una densidad de semillas estándar ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) se muestran en la Tabla 32. El sitio del Seno Reloncaví tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 2.206.500 US\$. A esta densidad el PFM = 28,8, lo que indica que la biomasa cosechable ha terminado 29x la biomasa de la semilla.

En la Tabla 32 se muestran los resultados del impacto ambiental (análisis de biodeposición y eutrofización) de la modelización con FARM para una densidad de semillas estándar para un centro de cultivo de ostra japonesa en el Barrio 2 (Seno Reloncavi). Los cultivos de ostras japonesas generan biodepósitos en el sedimento como un impacto ambiental negativo, aunque como impacto ambiental positivo los cultivos de extracción orgánica por definición reducen la concentración de partículas orgánicas en suspensión en la columna de agua, lo que lleva a una reducción neta de fitoplancton y detritus. Resultados de la biodeposición simulada por FARM se muestran en la Tabla 32 para las dos granjas de ostras japonesas potenciales. Áreas donde el cultivo de ostras tiene éxito se caracterizan por un suministro adecuado de alimento (fitoplancton y detritus). La sedimentación en el sitio del Seno Reloncaví a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,18 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,18 \text{ mm y}^{-1}$ . El modelo FARM no toma en cuenta la turbulencia vertical, la erosión de sedimentos o diagénesis, y por lo tanto proporciona una estimación precautoria de la biodeposición. La tasa efectiva de enriquecimiento orgánico del sedimento debido al cultivo es un valor bajo de aproximadamente 1,14%, teniendo en cuenta que no hay factores de mitigación. La Tabla 32 muestra el componente del Balance de Masa derivado de los biodepósitos producidos por la ostra japonesa, bajo el supuesto de que todos los depósitos alcanzan la capa bentónica. Como se ha mencionado anteriormente, los biodepósitos *per se* deben ser una entrada más pequeña que la

sedimentación orgánica generada en un área de población forestal, porque las partículas orgánicas están siendo eliminadas como fuente de alimento de las ostras.

Los resultados del modelo FARM muestran impactos ambientales positivos que se obtienen a partir de un balance de masa de carbono y nitrógeno, basado en el consumo de estos elementos a través de la ingestión de fitoplancton y materia orgánica detrítica por filtración de las ostras y el regreso de éstos elementos a través de la excreción y eliminación (Tabla 32). A densidades estándar el Barrio 2 mostró altos valores de reducción de C con  $49 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio en el Barrio 2 mostró mayores valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $4,3 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 1.303 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 32. El sitio del Barrio 2 mostró un ingreso total de (2.111,5 k US\$) de la venta de ostras (1.846,2 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (43,8 k US\$).

Los resultados de la aplicación del modelo ASSETS implementado en FARM proporcionan un indicador de la eutrofización a escala local, son evaluados para los sitios potenciales de cultivo de ostras (Tabla 32). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante moderado, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida, como se muestra en la Figura 77 no cambia el color de antes (amarillo) a después del cultivo (amarillo).

Para la simulación del escenario de cultivo integrado (AMTI) de ostra japonesa y salmón Atlántico, se considera que jaulas de peces son agregadas en las secciones del área de cultivo, incluyendo cinco jaulas con 1.000 peces en cada sección (Tabla 32, columna Barrio 2 AMTI). El material orgánico particulado descargado del cultivo de peces mejora los rendimientos o producto físico total en un 10% (633,9 t) y aumenta el producto físico medio PFT a 31,7. La combinación entre producción de peces (en este caso Salmón Atlántico) y aumento en el rendimiento de moluscos (en este caso ostra japonesa) ofrece una fuente complementaria de ingresos para el acuicultor, con un pequeño coste en términos de aumento biodeposición. En efecto, los efectos ambientales del cultivo de peces se traduce en un aumento de la sedimentación en el sitio del Seno Reloncaví a las densidades de stock simuladas lo que darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $3,24 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $2,63 \text{ mm y}^{-1}$ . Los moluscos como la ostra japonesa proporcionan, además, un servicio ambiental (Environmental Service) importante al filtrar una parte del alimento no consumido y de

los residuos sólidos descargados desde el cultivo de peces, que de otro modo potencialmente llevarían a un enriquecimiento orgánico del sedimento subyacente.

A modo de ejemplo de la aplicación metodológica de FARM, a continuación se muestra los diferentes módulos (entrada de datos, salidas del modelo y balance de masa) utilizando el Barrio 2 (Seno Reloncaví). En primer lugar, se deben ingresar los parámetros FARM (FARM drivers) o datos de entrada referentes a datos del centro de cultivo, tipo de cultivo, parámetros de cultivo, costos operacionales, especies (moluscos/peces) y datos ambientales (extraídos u obtenidos por sitio). FARM está diseñado para utilizar datos que son monitoreados de manera estándar en la mayoría de los centros de producción, y que están relacionados con las prácticas de cultivo y análisis de los factores ambientales. Para maximizar el potencial de FARM los parámetros debieran ser trimestrales (mínimo) o mensuales (ideal). En la Figura 75 se observan los parámetros de entrada de la interface FARM para el sitios del Seno Reloncaví, se considera un área o concesión de 200 m x 500 m, en sistema long-lines, con mareas semi-diurnas, magnitud de viento de  $0,242 \text{ m s}^{-1}$ , para ostra japonesa (modelo AquaShell), peso de semilla de 1,2 g, mortalidad de  $35\% \text{ y}^{-1}$ , período de cultivo de 395 días, peso individual de cosecha de 90 g TFW, costo de semilla de 1.000 \$/kg (1,39 €) y precio de venta de 2.500 \$/kg (3,47 €).

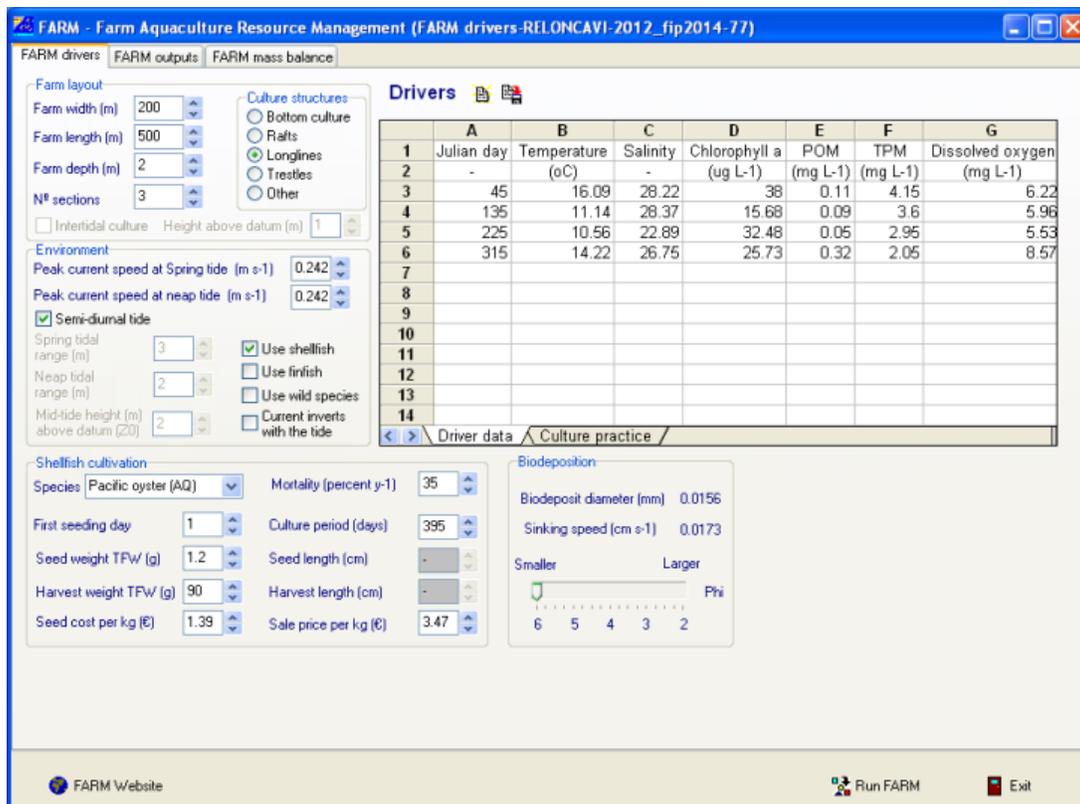


Figura 75. Interface del software FARM para ingreso de parámetros (drivers) de entrada del modelo.

La interface de resultados de FARM proporciona resultados operacionales sobre las especies (moluscos/peces) de cultivo, el ambiente y la rentabilidad de cultivo. En la Figura 76 se muestran las salidas para la modelación del sitio Seno Reloncaví en la interface donde se obtienen los resultados sobre biomasa cosechable, impacto ambiental, biodeposición y análisis de rentabilidad.

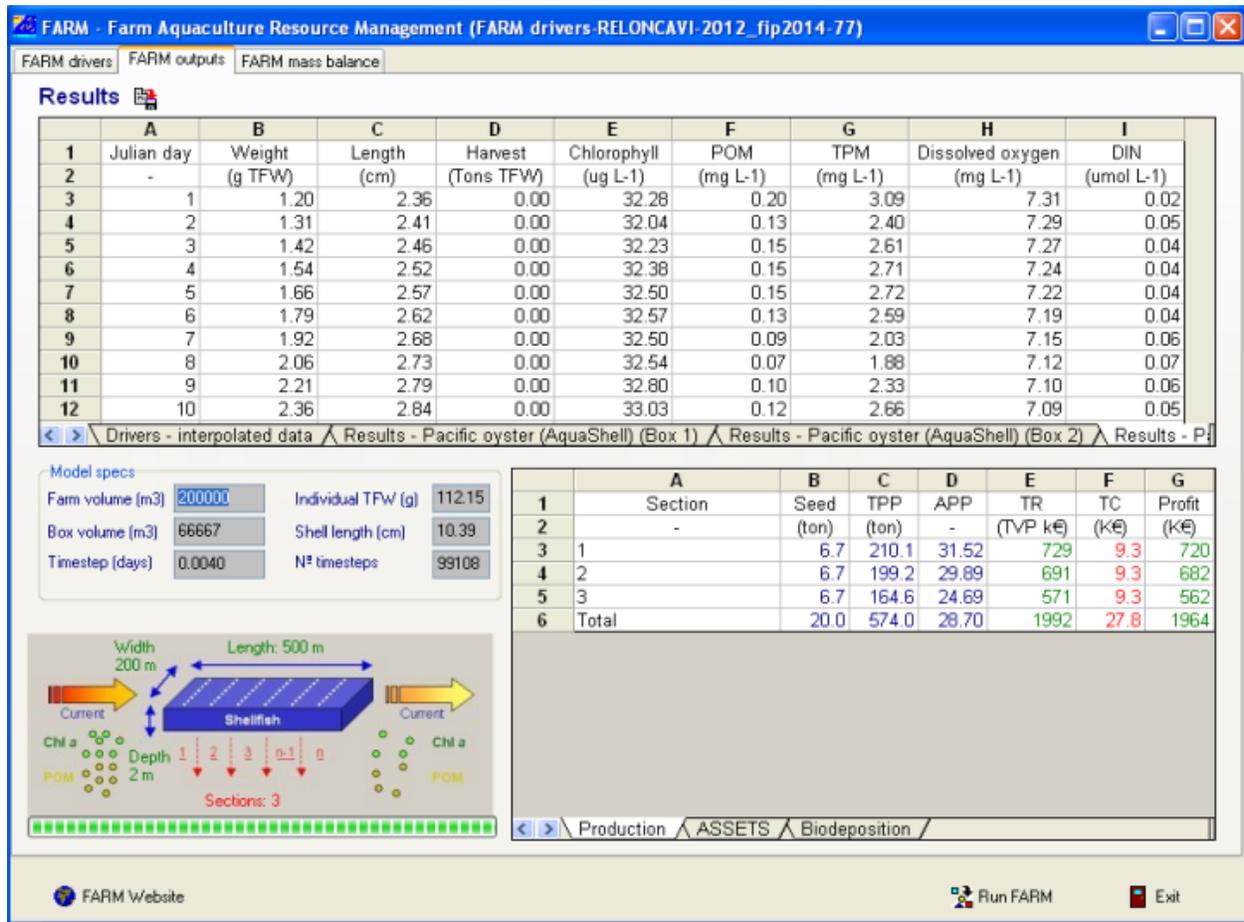


Figura 76. Interface del software FARM sobre los resultados y salidas del modelo.

Además, se obtiene el análisis de equilibrio o balance de masa donde mediante una salida gráfica se obtiene una síntesis de la calidad de agua, donde se obtienen resultados sobre la reducción de fitoplancton, reducción de detrito, reducción de nutrientes y valoración de la calidad de agua ASSETS.

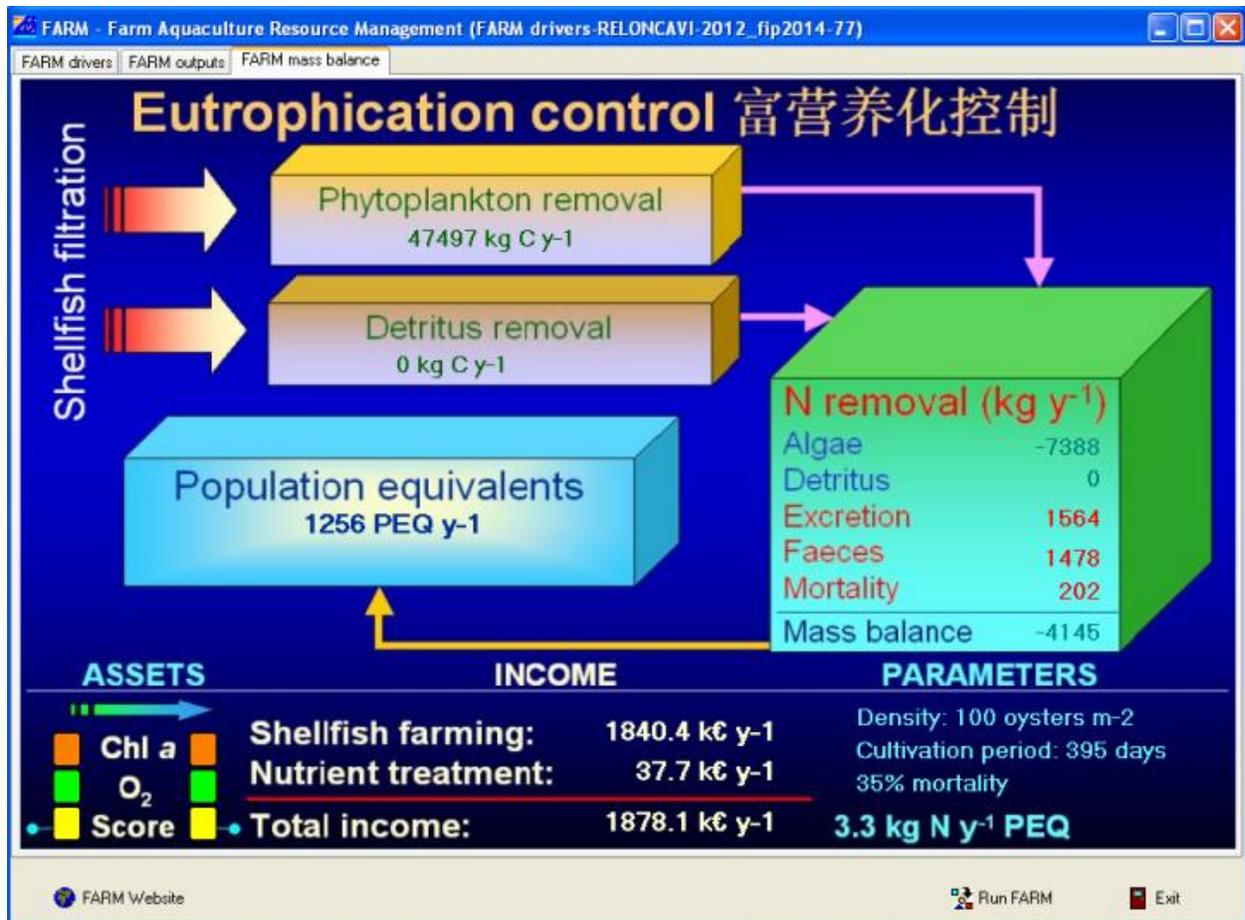
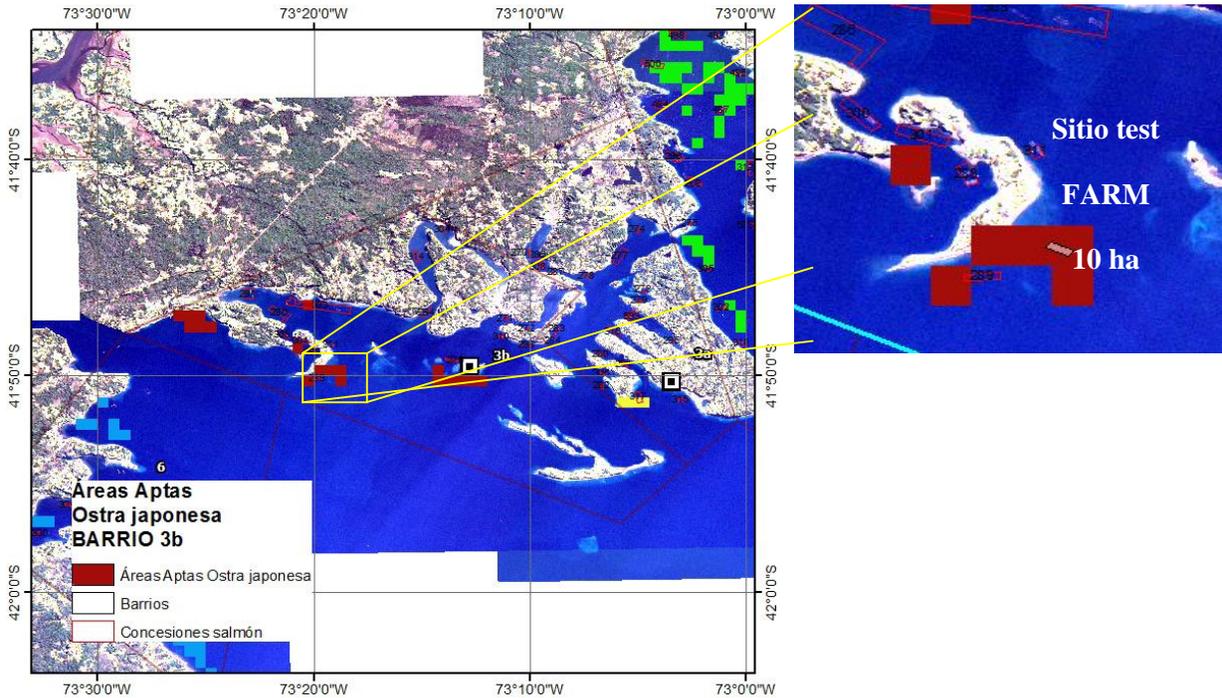


Figura 77. Interface del software FARM sobre los resultados del control de eutroficación y balance de masa.

### 3.2.2.2.2. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 3b



**Figura 78.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 3b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 3b se simula un PFT de 29,8 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 1,5 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 34). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 84.800 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,38 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,39 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 3b mostró altos valores de reducción de C con  $19,5 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $1,6 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 495 equivalentes de población humana por año ( $\text{PEQ y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 33. El sitio mostró un ingreso total de (123,8 k US\$) de la venta de ostras (107,1 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (16,6 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros

de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

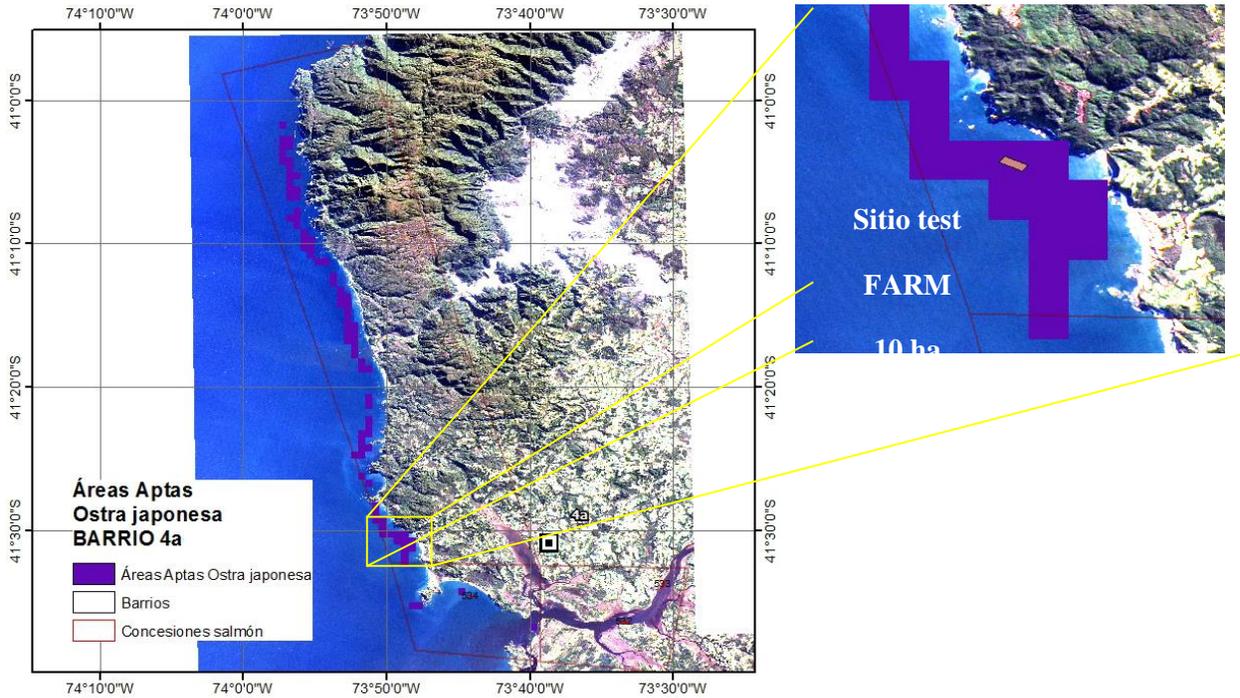
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 3b se simula un PFT de 145,8 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 7,3 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 33). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 535.400 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de 3,48 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de 3,52 mm y<sup>-1</sup>. A densidades estándar el Barrio 3b mostró altos valores de reducción de C con 24,9 t C y<sup>-1</sup>. A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de 2.1 t N y<sup>-1</sup> correspondiente a una entrada de nitrógeno de 638 equivalentes de población humana por año (PEQ y<sup>-1</sup>) y considerando una tasa de 3,3 kg N y<sup>-1</sup> por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 33. El sitio mostró un ingreso total de (544,9 k US\$) de la venta de ostras (523,5 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (21,4 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 33. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 3b.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 3b</b>	<b>Barrio 3b AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	7,6	8,3
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	29,8	145,8
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	1,5	7,3
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,38	3,48
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,29	4,68
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,39	3,52
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-19.520	-24.887
Reducción Detritus	0	88
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-3.036	-3.871
Detritus	0	-14
Excreción	701	877
Heces	607	781
Mortalidad	96	122
Balance Masa	-1.633	-2.104
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	495	638
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Good	Good
Eutrofización ASSETS score outflow	Good	Good
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	84,8	535,4
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	107,1	523,5
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	16,6	21,4
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	123,8	544,9

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.3. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 4a



**Figura 79.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 4a, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 4a se simula un PFT de 518,1 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 25,9 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 34). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 1.982.400 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,34 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,35 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 4a mostró altos valores de reducción de C con  $37,8 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $3,3 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 983 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 34. El sitio mostró un ingreso total de (1.893,7 k US\$) de la venta de ostras (1.860,7 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (33,0 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros

de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante moderado, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

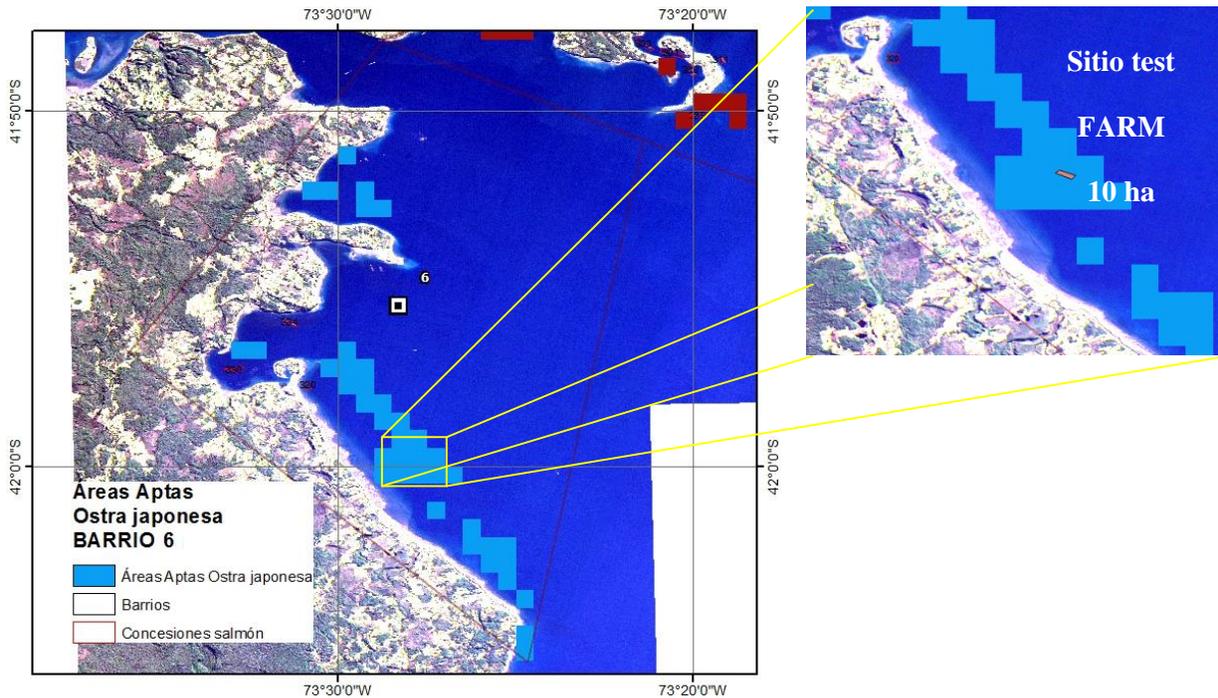
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 4a se simula un PFT de 594,4 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 29,7 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 34). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 2.278.800 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de 3,23 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de 3,27 mm y<sup>-1</sup>. A densidades estándar el Barrio 4a mostró altos valores de reducción de C con 43,7 t C y<sup>-1</sup>. A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de 3,8 t N y<sup>-1</sup> correspondiente a una entrada de nitrógeno de 1.153 equivalentes de población humana por año (PEQ y<sup>-1</sup>) y considerando una tasa de 3,3 kg N y<sup>-1</sup> por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 34. El sitio mostró un ingreso total de (2.173,3 k US\$) de la venta de ostras (2.134,5 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (38,8 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante moderado, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 34. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 4a.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 4a</b>	<b>Barrio 4a AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	9,5	10,0
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	518,1	594,4
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	25,9	29,7
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,34	3,23
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,26	4,49
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,35	3,27
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-37.772	-43.740
Reducción Detritus	0	-112
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-5.876	-6.804
Detritus	0	-17
Excreción	1.280	1.453
Heces	1.175	1.370
Mortalidad	176	195
Balance Masa	-3.245	-3.804
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	983	1.153
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Moderate	Moderate
Eutrofización ASSETS score outflow	Moderate	Moderate
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	1.982,4	2.278,8
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1.860,7	2.134,5
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	33,0	38,8
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1.893,7	2.173,3

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

#### 3.2.2.2.4. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 6



**Figura 80.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 6, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 6 se simula una producción nula o PFT de 0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 35). No obstante se alcanza una longitud de 6,1 cm al final del ciclo de cultivo. El sitio del tiene un beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 27.700 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,26 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,26 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 6 mostró altos valores de reducción de C con  $10,5 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $0,86 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 259 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 35. El sitio mostró un ingreso total de (8,85 k US\$) de la venta de ostras (0,11 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (8,74 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen

un estado de la calidad del agua entrante pobre, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

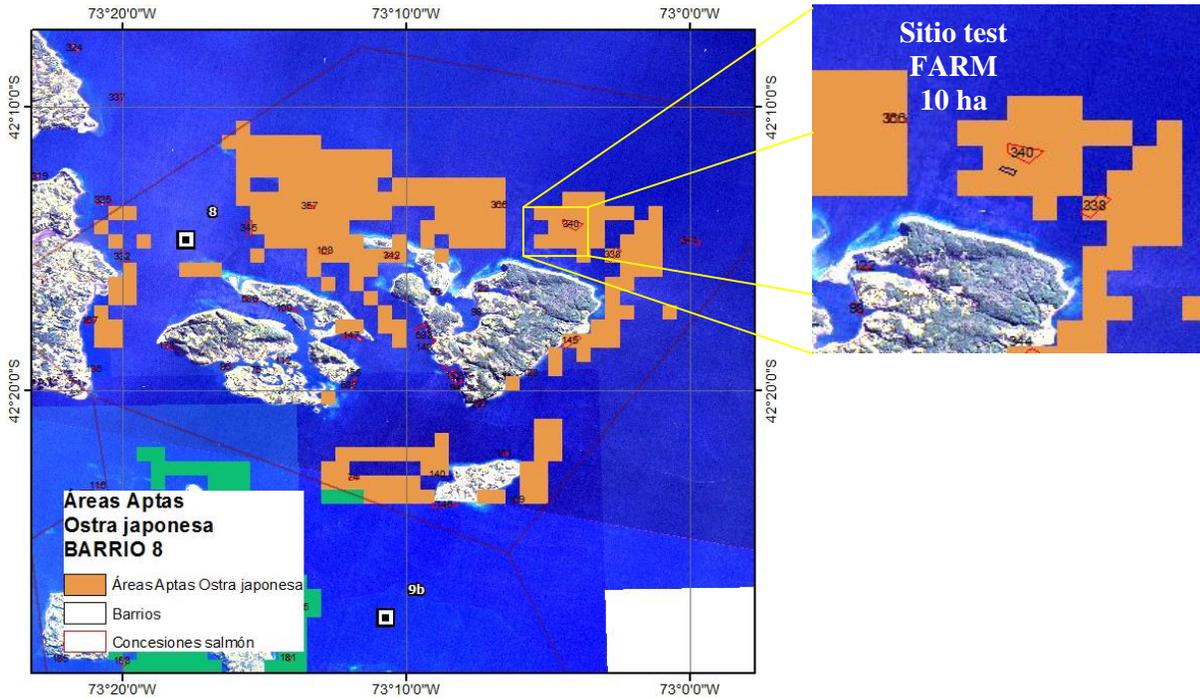
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 6 se simula un PFT de 25,8 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 1,3 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 35). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 69.200 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $3,42 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $3,46 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 6 mostró altos valores de reducción de C con  $20,3 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $1,7 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 516 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 35. El sitio mostró un ingreso total de (110,1 k US\$) de la venta de ostras (92,74 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (17,36 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante pobre, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 35. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 6.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 6</b>	<b>Barrio 6 AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	6,1	7,8
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	0	25,8
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	0	1,29
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,26	3,42
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,20	4,63
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,26	3,46
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-10.468	-20.302
Reducción Detritus	0	3
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-1.628	-3.158
Detritus	0	0
Excreción	396	726
Heces	326	632
Mortalidad	50	98
Balance Masa	-856	-1.703
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	259	516
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Poor	Poor
Eutrofización ASSETS score outflow	Poor	Poor
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	-27,7	69,2
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	0,11	92,74
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	8,74	17,36
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	8,85	110,1

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.5. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 8



**Figura 81. Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 8, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.**

Para el sitio del Barrio 8 se simula un PFT de 391,2 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 19,6 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 36). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 2.206.500 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,37 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,37 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 8 mostró altos valores de reducción de C con  $35,1 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $3,0 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 910 equivalentes de población humana por año ( $\text{PEQ y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 36. El sitio mostró un ingreso total de (1.435,3 k US\$) de la venta de ostras (1.404,7 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (30,6 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros

de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante moderado, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

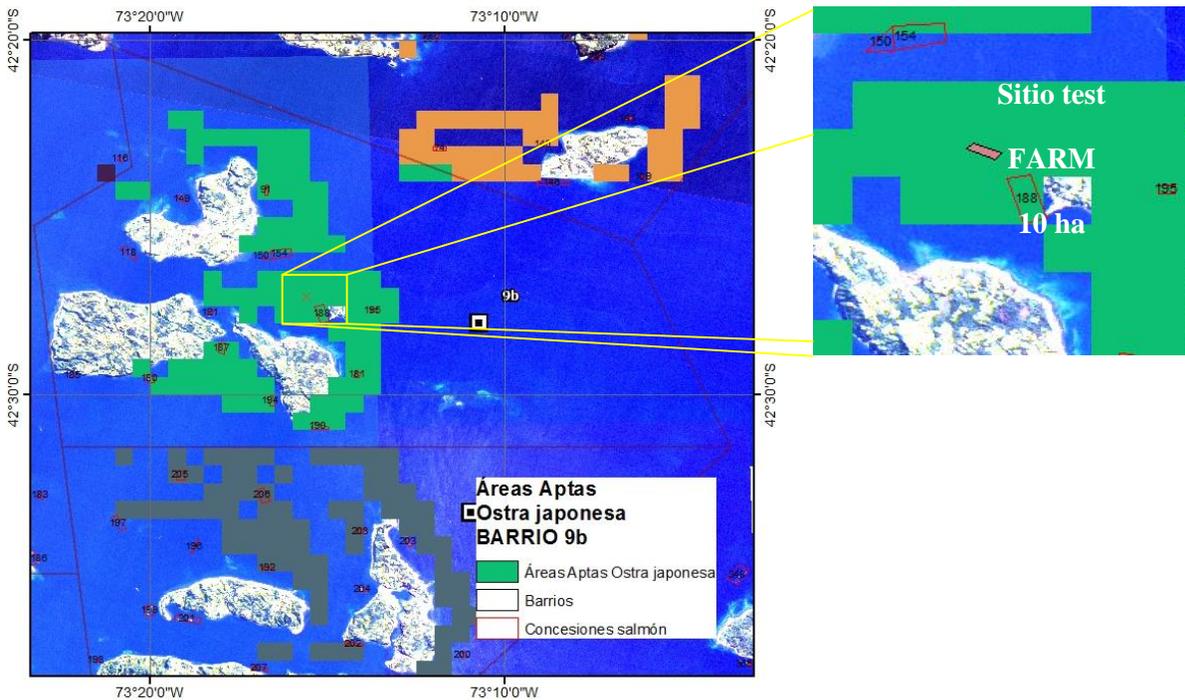
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 8 se simula un PFT de 627,6 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 31,4 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 36). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 2.408.100 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de 3,44 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de 3,48 mm y<sup>-1</sup>. A densidades estándar el Barrio 8 mostró altos valores de reducción de C con 49,4 t C y<sup>-1</sup>. A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de 4,4 t N y<sup>-1</sup> correspondiente a una entrada de nitrógeno de 1.317 equivalentes de población humana por año (PEQ y<sup>-1</sup>) y considerando una tasa de 3,3 kg N y<sup>-1</sup> por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 36. El sitio mostró un ingreso total de (2.298,2 k US\$) de la venta de ostras (2.254,0 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (44,2 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante moderado, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 36. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 8.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 8</b>	<b>Barrio 8 AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	9,3	10,8
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	391,2	627,6
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	19,6	31,4
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,37	3,44
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,28	4,65
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,37	3,48
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-35.122	-49.374
Reducción Detritus	0	0
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-5.463	-7.680
Detritus	0	0
Excreción	1.199	1.592
Heces	1.093	1.536
Mortalidad	170	205
Balance Masa	-3.002	-4.348
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	910	1.317
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Moderate	Moderate
Eutrofización ASSETS score outflow	Moderate	Moderate
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	1.489,0	2.408,1
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1.404,7	2.254,0
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	30,6	44,24
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1.435,3	2.298,2

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.6. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 9b



**Figura 82.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 9b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 9b se simula una producción nula o PFT de 0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 37). No obstante se alcanza una longitud de 4,5 cm al final del ciclo de cultivo. El sitio del tiene un beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 31.100 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,23 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,24 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 9b mostró altos valores de reducción de C con  $4,2 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $0,3 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 99 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 37. El sitio mostró un ingreso total de (3,4 k US\$) de la venta de ostras y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (3,4 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del

agua entrante pobre, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

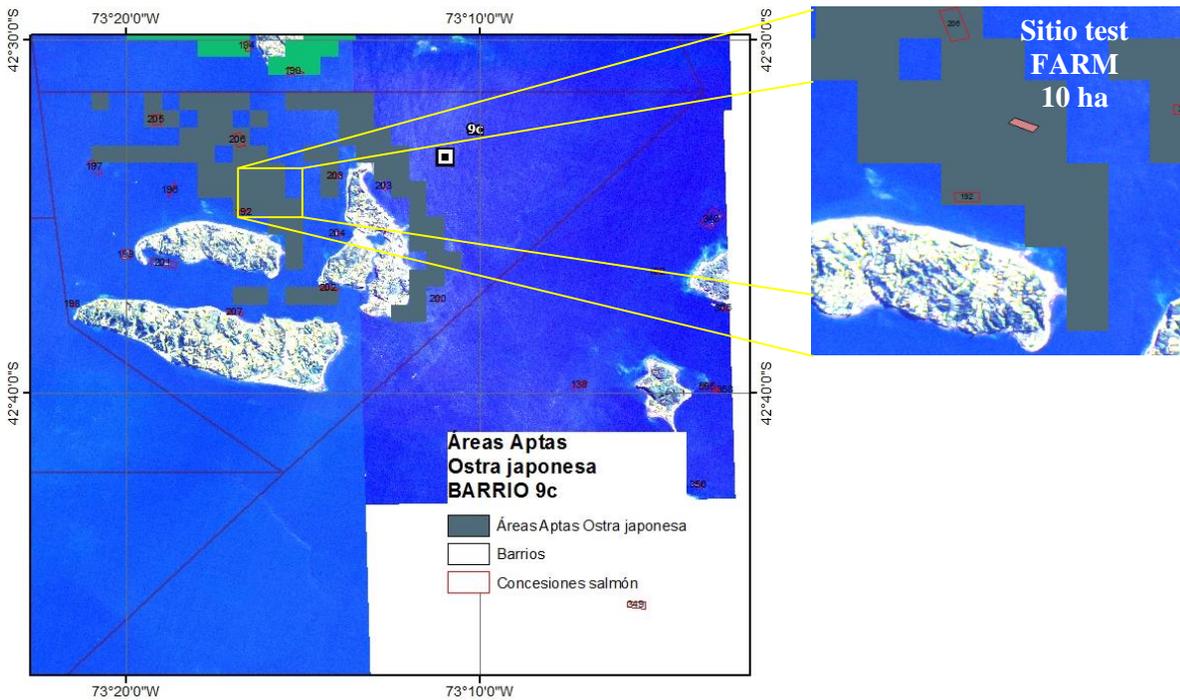
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 9b se simula un PFT de 0,4 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0,02 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 37). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 29.430 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $3,51 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $3,56 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 9b mostró altos valores de reducción de C con  $12,3 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $1,0 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 315 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 37. El sitio mostró un ingreso total de (12,2 k US\$) de la venta de ostras (1,6 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (10,5 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante pobre, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 37. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 9b.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 9b</b>	<b>Barrio 9b AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	4,5	6,6
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	0	0,4
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	0	0,02
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,23	3,51
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,18	4,70
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,24	3,56
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-4.145	-12.309
Reducción Detritus	0	185
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-645	-1.915
Detritus	0	-29
Excreción	168	450
Heces	129	397
Mortalidad	19	57
Balance Masa	-328	-1.039
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )		
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Poor	Poor
Eutrofización ASSETS score outflow	Poor	Poor
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	-31,1	-29,43
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	0	1,6
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	3,4	10,5
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	3,4	12,2

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.7. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 9c



**Figura 83.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 9c, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 9c se simula una producción nula o PFT de 0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 38). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 31.100 US\$. No obstante se alcanza una longitud de 3,6 cm al final del ciclo de cultivo La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,34 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,35 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 9c mostró altos valores de reducción de C con  $1,8 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $0,14 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 41 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 38. El sitio mostró un ingreso total de (1,3 k US\$) de la venta de ostras y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (1,3 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la

calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

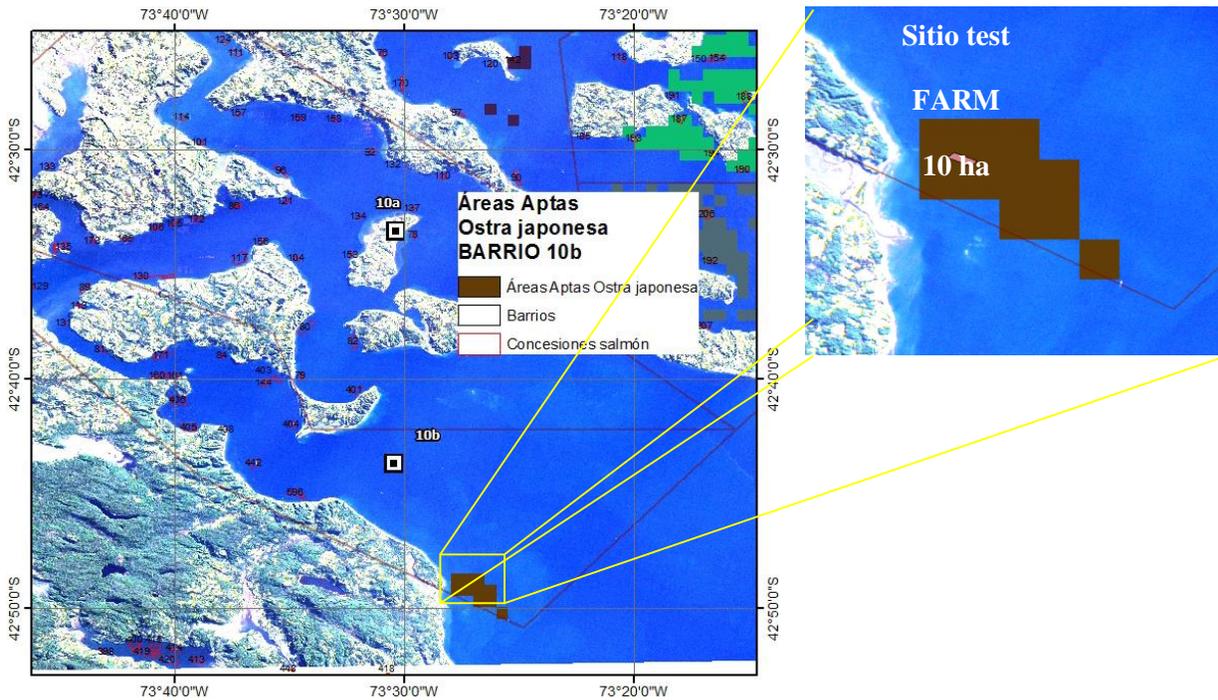
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 9c se simula una producción nula o PFT de 0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 38). El sitio tiene un beneficio de la cosecha de alrededor beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 31.100 US\$. No obstante se alcanza una longitud de 4,4 cm al final del ciclo de cultivo. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $3,62 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $3,67 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 9c mostró altos valores de reducción de C con  $3,0 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $0,3 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 89 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 38. El sitio mostró un ingreso total de (3,0 k US\$) de la venta de ostras y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (3,0 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 38. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 9c.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 9c</b>	<b>Barrio 9c AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	3,6	4,4
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	0	0
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	0	0
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,34	3,62
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,26	4,8
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,35	3,67
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-1.789	-2.979
Reducción Detritus	0	-800
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-278	-463
Detritus	0	-125
Excreción	79	127
Heces	56	155
Mortalidad	8	13
Balance Masa	-136	-293
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	41	89
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Good	Good
Eutrofización ASSETS score outflow	Good	Good
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	-31,1	-31,1
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	0	0
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1,3	3,0
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1,3	3,0

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.8. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 10b



**Figura 84.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 10b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 10b se simula una producción nula o PFT de 0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 39). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 31.100 US\$. No obstante se alcanza una longitud de 3,7 cm al final del ciclo de cultivo La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,21 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,22 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 10b mostró altos valores de reducción de C con  $2,3 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $0,18 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 53 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 39. El sitio mostró un ingreso total de (1,8 k US\$) de la venta de ostras y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (1,8 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la

calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

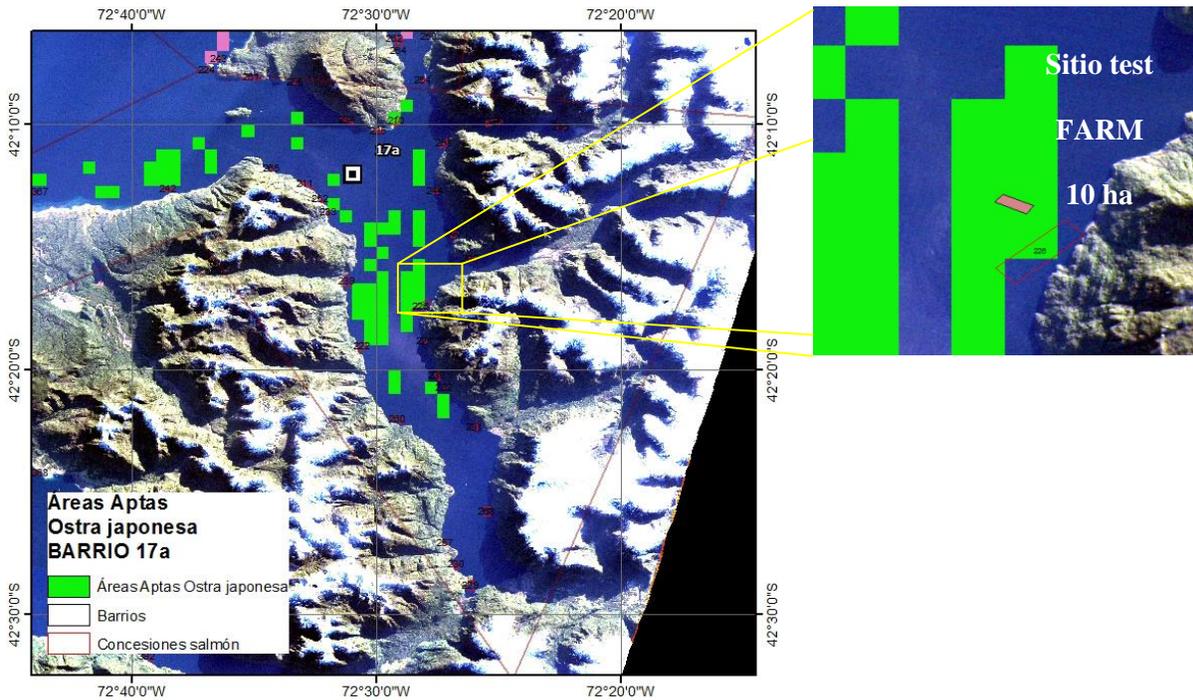
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 10b se simula una producción nula o PFT de 0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 39). El sitio tiene un beneficio de la cosecha de alrededor beneficio de la cosecha negativo o costo de alrededor de 31.100 US\$. No obstante se alcanza una longitud de 4,3 cm al final del ciclo de cultivo. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $3,6 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $3,7 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 10b mostró altos valores de reducción de C con  $3,6 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $0,4 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 115 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 39. El sitio mostró un ingreso total de (3,8 k US\$) de la venta de ostras y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (3,8 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 39. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 10b.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 10b</b>	<b>Barrio 10b AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	3,7	4,3
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	0	0
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	0	0
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,21	3,6
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,17	4,8
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,22	3,7
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-2.329	-3.609
Reducción Detritus	0	-1.359
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-362	-561
Detritus	0	-211
Excreción	102	156
Heces	72	218
Mortalidad	12	19
Balance Masa	-176	-379
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	53	115
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Good	Good
Eutrofización ASSETS score outflow	Good	Good
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	-31,1	-31,1
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	0	0
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1,8	3,8
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	1,8	3,8

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha), <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.9. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 17a



**Figura 85.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 17a, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 17a se simula un PFT de 111,0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 5,6 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 40). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 400.100 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,09 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,09 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 17a mostró altos valores de reducción de C con  $24,8 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $2,1 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 629 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 40. El sitio mostró un ingreso total de (419,7 k US\$) de la venta de ostras (398,5 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (21,2 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo ( $100 \text{ ind m}^{-2}$ ) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

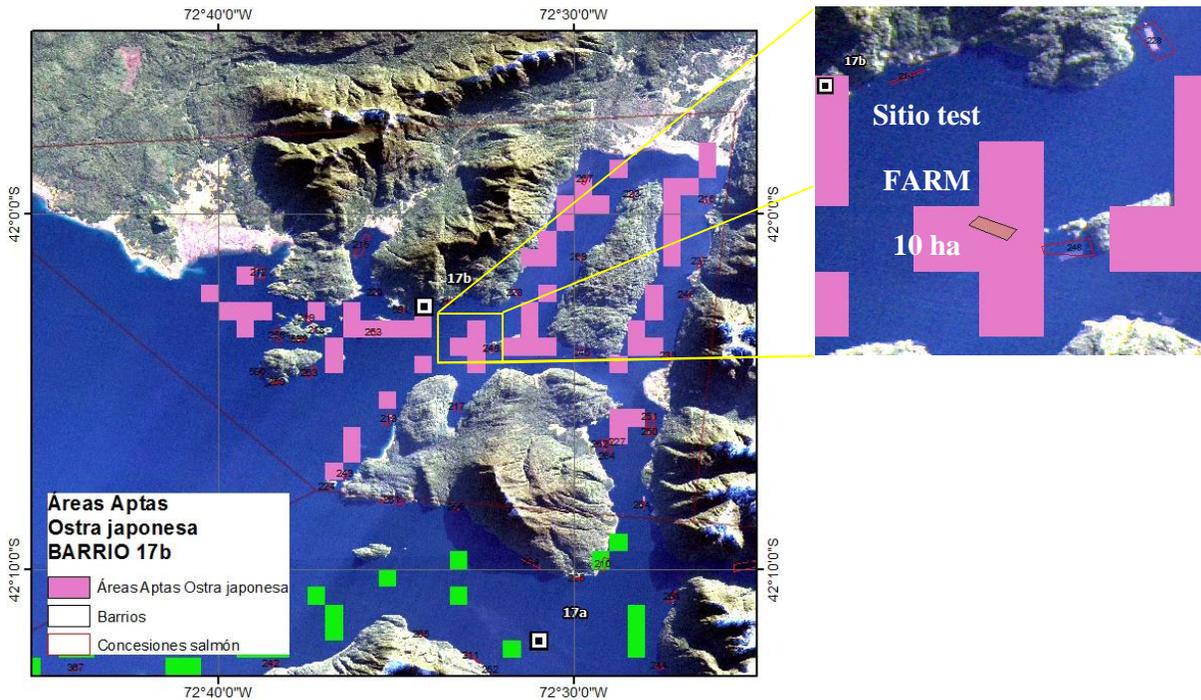
Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 17a se simula un PFT de 514,0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 25,7 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 40). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 1.966.400 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de 3,34 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de 3,38 mm y<sup>-1</sup>. A densidades estándar el Barrio 17a mostró altos valores de reducción de C con 35,6 t C y<sup>-1</sup>. A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de 3,1 t N y<sup>-1</sup> correspondiente a una entrada de nitrógeno de 928 equivalentes de población humana por año (PEQ y<sup>-1</sup>) y considerando una tasa de 3,3 kg N y<sup>-1</sup> por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 40. El sitio mostró un ingreso total de (1.877,0 k US\$) de la venta de ostras (1.845,9 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (31,1 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

**Tabla 40. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 17a.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 17a</b>	<b>Barrio 17a AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1.000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	8,2	9,7
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	111,0	514,0
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	5,6	25,7
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,09	3,34
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,07	4,57
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,09	3,38
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-24.771	-35.591
Reducción Detritus	0	0
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-3.853	-5.536
Detritus	0	0
Excreción	883	1.205
Heces	771	1.107
Mortalidad	125	163
Balance Masa	-2.075	-3.061
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	629	928
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Good	Good
Eutrofización ASSETS score outflow	Good	Good
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	400,1	1.966,4
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	398,5	1.845,9
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	21,2	31,1
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	419,7	1.877,0

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.10. Capacidad de carga en un sitio apto del BARRIO 17b



**Figura 86.** Áreas aptas para ostra japonesa estimadas en el Barrio 17b, se muestra el sitio test (10 ha = 500 m largo x 200 m ancho) donde se aplica el modelo FARM de capacidad de carga.

Para el sitio del Barrio 17b se simula un PFT de 6,3 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 0,3 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 41). El sitio del tiene un beneficio negativo o costo de la cosecha de alrededor de 6.700 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de  $0,07 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de  $0,07 \text{ mm y}^{-1}$ . A densidades estándar el Barrio 17b mostró altos valores de reducción de C con  $17,5 \text{ t C y}^{-1}$ . A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de  $1,5 \text{ t N y}^{-1}$  correspondiente a una entrada de nitrógeno de 441 equivalentes de población humana por año (PEQ  $\text{y}^{-1}$ ) y considerando una tasa de  $3,3 \text{ kg N y}^{-1}$  por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 41. El sitio mostró un ingreso total de (37,5 k US\$) de la venta de ostras (22,6 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (14,8 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros

de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

Para el escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa) en el sitio apto del Barrio 17b se simula un PFT de 112,0 t TFW (total fresh weight, peso fresco total) y un Producto Físico Medio PFM de 5,6 (entrada/salidas o PFM/ Densidad Semilla) después del período de cultivo (Tabla 41). El sitio del tiene un beneficio de la cosecha de alrededor de 404.100 US\$. La sedimentación en el sitio a las densidades de stock simuladas darían lugar a una deposición bruta de alrededor de 3,24 kg m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> de carbono orgánico particulado y una tasa de acumulación de sedimentos equivalente de 3,28 mm y<sup>-1</sup>. A densidades estándar el Barrio 17b mostró altos valores de reducción de C con 24,2 t C y<sup>-1</sup>. A densidades estándar, el sitio mostró valores de la reducción de nitrógeno neto desde el agua a través de la filtración de algas y detritus por las ostras, con una reducción neta anualizada de 2,1 t N y<sup>-1</sup> correspondiente a una entrada de nitrógeno de 621 equivalentes de población humana por año (PEQ y<sup>-1</sup>) y considerando una tasa de 3,3 kg N y<sup>-1</sup> por persona (PEQ). El impacto socio-económico positivo adicional obtenido en el ingreso agregado debido tanto a la venta de mariscos y como al valor de sustitución de la reducción de fertilizantes con base en tierra o el tratamiento de nutrientes se muestra en la Tabla 41. El sitio mostró un ingreso total de (423,0 k US\$) de la venta de ostras (402,2 k US\$) y el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes (20,8 k US\$). El valor del indicador de la eutrofización muestra que los centros de cultivo de ostras tienen un estado de la calidad del agua entrante buena, y a esa densidad de cultivo (100 ind m<sup>-2</sup>) no hay un efecto sobre la calidad del agua en el flujo de salida.

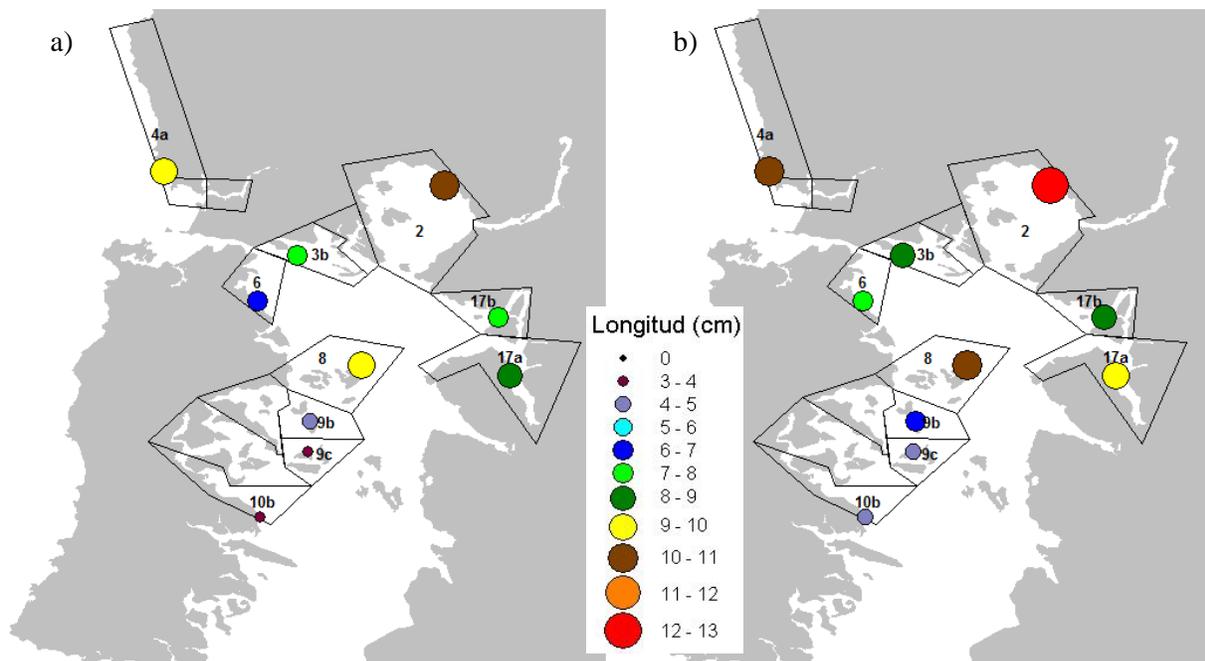
**Tabla 41. Entradas y salidas del modelo FARM para una densidad de semilla standard (100 ind m<sup>-2</sup>) y acuicultura multitrófica integrada (AMTI) con cultivo de salmón atlántico (1.000 peces por jaula como densidad de cultivo) para el sitio apto evaluado en el Barrios 17b.**

<b>Variable</b>	<b>Barrio 17b</b>	<b>Barrio 17b AMTI</b>
<b>Entradas del Modelo</b>		
<i>Cultivo ostra japonesa</i>		
Área de cultivo de la granja (m <sup>2</sup> )	100.000	100.000
Densidad de semillas de ostra (t)	20	20
Período de cultivo (días)	395	395
Peso semilla (g TFW) <sup>1</sup>	1,2	1,2
Peso ostra tamaño comercial (g TFW)	90	90
Mortalidad natural (y <sup>-1</sup> )	0,35	0,35
<i>Cultivo salmón atlántico</i>		
Cantidad de alimento por salmón por día (gr/pez/día)	0	25
Porcentaje de pérdida de alimento (%/día)	0	10
Número de jaulas	0	15
Peces por jaula	0	1000
<b>Salidas del Modelo</b>		
<u>Producción</u>		
Longitud alcanzada (cm)	7,4	8,4
Producto Físico Total (t TFW) - PFT	6,3	112,0
Producto Físico medio [salida/entrada] - PFM	0,3	5,6
<u>Impacto Ambiental</u>		
Deposición de Carbono Orgánico Particulado (kg C m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	0,07	3,24
Enriquecimiento Orgánico Sedimento (%POC y <sup>-1</sup> )	1,05	4,49
Tasa de acumulación sedimento (mm y <sup>-1</sup> )	0,07	3,28
<i>Reducción de Carbono (kg C y<sup>-1</sup>)</i>		
Reducción Fitoplancton	-17.476	-24.272
Reducción Detritus	0	1
<i>Reducción de Nitrógeno (kg N y<sup>-1</sup>)</i>		
Fitoplancton	-2.718	-3.776
Detritus	0	0
Excreción	635	857
Heces	544	755
Mortalidad	83	115
Balance Masa	-1.457	-2.049
Equivalentes de Población humana (PEQ y <sup>-1</sup> )	441	621
Estado Eutrofización ASSETS score inflow	Good	Good
Eutrofización ASSETS score outflow	Good	Good
<u>Ingresos Económicos<sup>2</sup></u>		
Beneficio Cosecha (k US\$)	-6,7	404,1
Cultivo ostra japonesa (k US\$ y <sup>-1</sup> )	22,6	402,2
Reducción Nitrógeno (k US\$ y <sup>-1</sup> )	14,8	20,8
Total (k US\$ y <sup>-1</sup> )	37,4	423,0

<sup>1</sup> TFW = total fresh weight = peso total fresco (con concha). <sup>2</sup>Precio de entrada (costo de semilla): 1,39 €/kg, precio de salida (venta): 5 €/kg. <sup>3</sup> No incluye ingresos del cultivo de salmón.

### 3.2.2.2.11. Análisis espacial de la capacidad de carga de los sitios aptos de los barrios

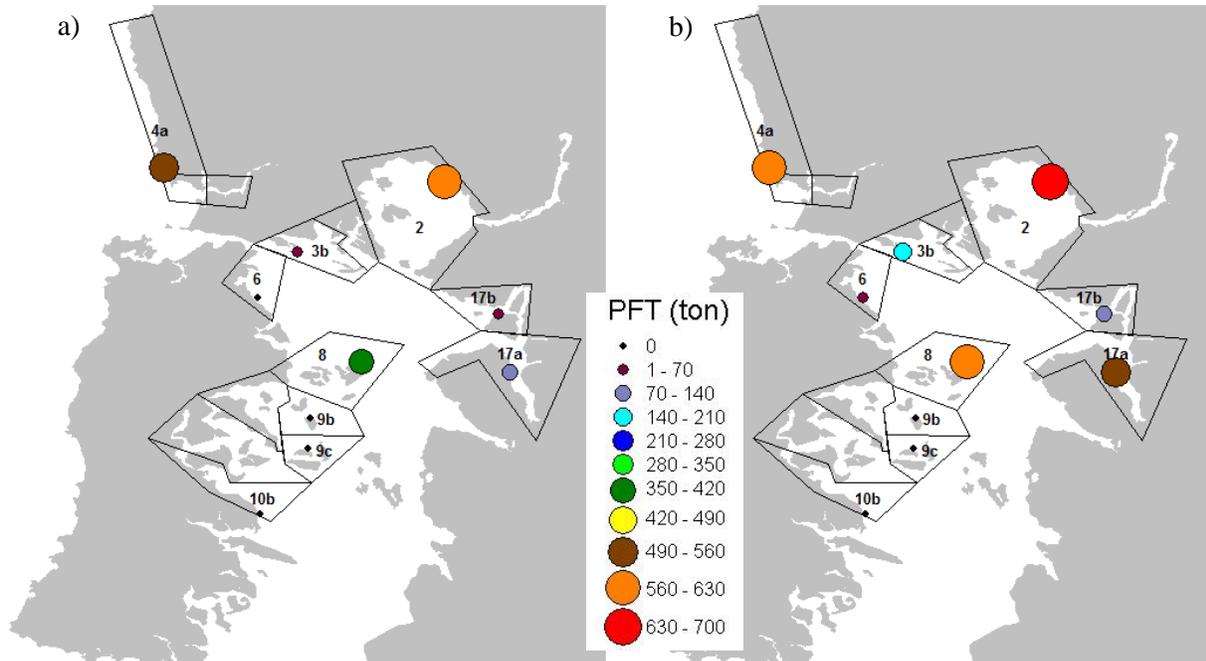
Se realiza un análisis espacial por barrio (sitio apto) para comparar las salidas del modelo de capacidad de carga FARM bajo escenario de cultivo monoespecífico (cultivo ostra japonesa) y escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa). En primer lugar se analiza la longitud (cm) alcanzada por las ostras al cabo de un período de cultivo para los distintos sitios aptos por barrio (Figura 87). Se observa una alta variabilidad espacial en el crecimiento alcanzado por las ostras, destacándose los altos valores (> 8 cm) alcanzados en los sitios aptos de los barrios 2, 4a, 8 y 17a, mientras que en los barrios 9c, 10b y 9b se simulan bajos tamaños individuales (< 5 cm) (Figura 87a). Bajo un escenario AMTI se observa un aumento y favorecimiento en el crecimiento de las ostras en todos los barrios debido al aporte de nutrientes orgánicos desde el cultivo de salmones, destacándose el alto crecimiento obtenido en el barrio 2 con 12,3 cm y por el contrario se simula un bajo tamaño en el barrio 9c con 3,6 cm de longitud alcanzada (Figura 87b).



**Figura 87. Longitud (cm) alcanzada por las ostras al cabo de un período de cultivo para los distintos sitios aptos por barrio simulados por el modelo de capacidad de carga FARM bajo a) escenario de cultivo monoespecífico (cultivo ostra japonesa) y b) escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa).**

Además, se analiza la producción o producto físico total (toneladas) obtenido en el cultivo de ostra japonesa al cabo de un período de cultivo para los distintos sitios aptos por barrio (Figura 88). Se observa una alta variabilidad espacial en la producción de los sitios aptos de cultivo de ostra por barrio, destacándose los altos valores (> 500 ton) alcanzados en los sitios aptos de los barrios 2 y 4a, mientras que en los barrios 9c,

10b y 9b y debido a que no se alcanza el tamaño de cosecha se simulan producciones nulas (Figura 88a). Bajo un escenario de acuicultura multitrófica (salmón atlántico + ostra japonesa) AMTI se observa un aumento y favorecimiento en la producción del cultivo de otras en todos los barrios debido al aporte de nutrientes orgánicos desde el cultivo de salmones, destacándose el alto crecimiento obtenido en el barrio 2 con 633,9 ton y por el contrario se simula una producción nula en los barrios 9c y 10b (Figura 88b).



**Figura 88. Producto físico total (PFT) en toneladas de peso fresco total obtenido en un período de cultivo para los distintos sitios aptos por barrio simulados por el modelo de capacidad de carga FARM bajo a) escenario de cultivo monoespecífico (cultivo ostra japonesa) y b) escenario AMTI (cultivo salmón atlántico + ostra japonesa).**

*3.3. Objetivo específico iii) Instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar la información proveniente de imágenes satelitales.*

De acuerdo a las bases técnicas y a la propuesta del proyecto, el curso de capacitación se debe diseñar y coordinar en conjunto con la Unidad de Ordenamiento Territorial de la División de Acuicultura de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Para tal, se realizaron dos reuniones, una de presentación y coordinación del proyecto y otra donde se presentó y consensuó el programa de capacitación (Ver Acta 1a y 2a Reunión en ANEXO 1. ACTAS DE ACUERDO REUNIONES). El nombre del curso es "MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II".

En la primera reunión se acordó que el curso de capacitación debe comenzar en el mes de junio (segunda quincena), a continuación del curso que actualmente se imparte en el marco del proyecto FIP2014-76, y de preferencia se debe realizar los días lunes o viernes y como alternativa el día miércoles. Se solicita que eventualmente se puedan realizar clases en jornada completa según la disponibilidad de tiempo de los profesionales a capacitar de Subpesca. Dicha solicitud queda sujeta a confirmación de disponibilidad de sala de la Universidad.

En la segunda reunión se entregó propuesta mejorada del programa y contenidos del curso de capacitación para Subpesca. En esta reunión se convino que la nueva propuesta de capacitación contendría 8 unidades temáticas repartidas en 13 semanas con clases los días lunes o miércoles o viernes en la mañana, según disponibilidad de salas en la Universidad. Además, se disminuyen de 7 a 4 el número de horas de capacitación en la Unidad Temática 4 "Programación de módulos en IDL para ENVI", se aumentan de 6 a 8 el número de horas de capacitación en la Unidad Temática 8 "Aplicaciones en acuicultura" y se aumentan de 7 a 8 el número de horas de capacitación en la Unidad Temática 3 " Imágenes satelitales de Resolución baja (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (TSM, clorofila, etc.)". Además, la evaluación comprende 2 controles cada 3 unidades y el porcentaje de asistencia mínima es de 83% (2 inasistencias), cualquier otra inasistencia se debe justificar. Se indicó que cualquier modificación a los días de capacitación se debe comunicar al jefe de proyecto mínimo con un mes de anticipación. El curso de capacitación se inició el viernes 12 de junio y finalizó el viernes 11 de septiembre. Cabe señalar, que hubo que extender el curso hasta el 11 de septiembre debido a la clase del 3 de julio se tuvo que suspender por motivos de fuerza mayor.

### 3.3.1. Programa y calendario definitivo del curso de capacitación



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE  
VALPARAISO**  
**ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**  
**"Manejo e interpretación de imágenes satelitales  
aplicadas a la gestión territorial de la acuicultura Fase II"**  
**FIP 2014-77**



## **PROGRAMA DE CURSO**

### **1. IDENTIFICACIÓN DEL CURSO**

NOMBRE

**"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"**

NUMERO DE ALUMNOS : 10

HORAS PRESENCIALES : 50

NIVEL DEL CURSO : Medio - Avanzado.

MATERIALES : Manual con los contenidos (entregado por los oferentes) y talleres prácticos

LUGAR : Sala multimedial de la Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Av. Altamirano 1.480, Valpo.

### **2. DESCRIPCIÓN DEL CURSO**

Curso teórico práctico que busca desarrollar, en los profesionales de la División de Acuicultura de la Subsecretaría de Pesca, la capacidad de emplear información ambiental (cuerpos de agua, territorial) obtenida a través de sensores remotos satelitales, aplicar herramientas computacionales como sistemas de información geográfica (SIG) y software de tratamiento de imágenes para poder abordar el procesamiento y la explotación de imágenes aplicadas a labores de exploración del borde costero y cuerpos de agua donde se desarrolle la acuicultura. Se utilizarán las principales herramientas de procesamiento de imágenes de satélite disponibles en el software ENVI.

### 3. OBJETIVOS TERMINALES

Objetivo general: Conocer, aplicar y evaluar procedimientos y tecnologías de información específicas de la teledetección y SIG aplicados a la oceanografía, acuicultura y manejo del borde costero con los fines de planificación, gestión y monitoreo ambiental.

Objetivos específicos:

- Conocer los fundamentos de la tecnología de la teledetección y SIG aplicados al monitoreo del borde costero, recursos acuícolas y cuerpos de agua.
- Reconocer los sensores y programas disponibles en el presente, a los fines de escoger apropiadamente, en el momento necesario, la información más relevante para diferentes tipos de estudios oceanográficos, pesqueros, acuícolas y ambientales.
- Comprender y aplicar las **técnicas de procesamiento de datos satelitales** (interpretación visual y procesamiento digital), resolviendo casos de estudio particulares sobre ordenamiento territorial del borde costero, selección de sitios y monitoreo ambiental de la acuicultura.

### 4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA Y REQUISITOS DE APROBACIÓN

La enseñanza del curso se basará en:

- Clases Expositivas (**CE**), durante las cuales se entregarán los elementos centrales del tema propuesto para la unidad.
- Laboratorios orientados a tratamiento de información (**LAB**),

Las clases expositivas se efectuarán en forma paralela a las clases prácticas y los trabajos dirigidos.

La aprobación del estudiante requerirá que cumpla con la rendición de evaluaciones escritas y trabajos dirigidos efectuados en los laboratorios computacionales.

### 5. EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

- ◆ Tipo de evaluación: el aprendizaje se evaluará por medio de trabajos en laboratorio y evaluaciones cada cuatro clases.
- ◆ Ponderación de la evaluación:

Evaluaciones escritas	40%
Trabajos dirigidos de laboratorio	60%

## **6. UNIDADES TEMÁTICAS**

### **PRIMERA UNIDAD (CE): Estado de Arte en los tipos de satélites ambientales. (3 horas)**

#### Contenidos:

1. El proceso de adquisición de información sobre el territorio: adquisición de datos, procesamiento y presentación de resultados.
2. Sensores pasivos. Sensores electro-ópticos: tipos, características de las imágenes captadas, sistemas operacionales: Worldview-2 y Worldview-3, Landsat 8, Spot6, NOAA, Meteosat, Ikonos (BAJA PRECIOS), SeaWiFS, Aster, MERIS (del satélite ENVISAT), ADEOS, MODIS (del satélite AQUA y TERRA), VIIRS (satélite NPP).
3. Sensores activos. Radar: características generales, naturaleza de la respuesta recibida por el sensor, sistemas operacionales (ERS, RADARSAT-2. ASAT del satélite ENVISAT). Altimetro, dispersómetro, LIDAR batimétrico y LIDAR fluorométrico.
4. Imágenes hiperespectrales. Sensores satelitales: Hyperion (satélite EO-1) and CHRIS (satélite Proba-1), Sensores en aviones: CASI, AVIRIS.

### **SEGUNDA UNIDAD (CE y LAB): Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8. (11 horas)**

#### Contenidos:

1. Adquisición de imágenes satelitales multispectrales
2. Objetivos del procesamiento digital de imágenes.
3. Clasificación de las operaciones de P.D.I.
4. Visualización, estadísticas de imagen y mejora del contraste.
5. Correcciones geométricas: Métodos de georreferenciación y re-proyección en ENVI.
6. Calibración radiométrica: Conceptos. Conversión a parámetros físicos. Corrección atmosférica. Calibración de bandas a radianza absoluta, conversión de radianza a reflectancia. Conceptos. Métodos de substracción de objetos oscuros o "pixel oscuro", modelos físicos de transferencia radiativa.
7. Procesos para la clasificación de una imagen. Clasificación supervisada y no supervisada. Rasterización y vectorización. Cálculo de estadísticas.
8. Álgebra de bandas. Concepto. Cálculo de Índices de agua. Generación de máscaras binarias. Generación de productos de imágenes satelitales y mapas temáticos.

**TERCERA UNIDAD (CE y LAB): Imágenes satelitales de Resolución baja (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (TSM, clorofila, etc.). (8 horas)**

Contenidos:

1. Adquisición de imágenes satelitales multiespectrales (MODIS, VIIRS)
2. Procedimiento para descargar imágenes
3. Procesamiento de las imágenes
4. Procesamiento con ArcGIS 10
5. Algoritmos satelitales para la detección de grupos fitoplanctónicos usando información satelital de color del océano (CZCS, OCTS, SeaWiFS y MODIS).
6. Uso de herramientas de Spatial Analyst de ArcGIS 10 para la comparación de información satelital y de estaciones de muestreo: extracción de datos. Casos prácticos sobre detección de grupos fitoplanctónicos usando información satelital de color del océano.

**CUARTA UNIDAD (CE Y LAB) Programación de módulos en IDL para ENVI. (4 horas)**

Contenidos:

1. Introducción a IDL
2. Comandos IDL
3. Bloque grupo de comandos.
4. Subrutina y Función
5. Modo Batch

**QUINTA UNIDAD (CE y LAB) Introducción a imágenes Radar. Procesamiento y análisis básico de imágenes RADAR. (4 horas)**

Contenidos:

1. Introducción al uso del menú de radar en ENVI
2. Adquisición de imágenes de RADAR.
3. Uso de imágenes RADAR: ejemplo de uso de estas imágenes.
4. Procesamiento y análisis de imágenes RADAR
5. Procesamiento SAR: aplicación con RADARSAT 1
6. Aplicación de la Raíz Cuadrada que reduce el contraste.
7. Eliminación de ruido usando filtros adaptativos.
8. Uso de la herramienta Density Slice.

## **SEXTA UNIDAD (CE y LAB) Fusión de Imágenes LANDSAT y de Radar de Apertura Sintética (SAR) (4 horas)**

### Contenidos:

1. Adquisición de imágenes RADAR.
2. Utilización de puntos de control para el registro de imagen a imagen.
3. Preparación requerida para fusionar los conjuntos de datos de imagen en ENVI y cómo realizar la fusión de datos.
4. Preparación de imágenes: correspondencia en georreferenciación, área geográfica, tamaño de píxel, tamaño de imagen y orientación.
- 5.- Transformación HSI de datos. Técnica para generar un pansharpenning de las imágenes fusionadas.
- 6.- Comparación de resultados, esto permite comparar visualmente la utilización de la fusión de imágenes.

## **SEPTIMA UNIDAD (CE y LAB) Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales (4 horas)**

### Contenidos:

1. Introducción a los sensores activos. Interacción energía y objetos. Tipos de sensores activos: i) Radio detection and ranging (RADAR) y ii) Light Detection and Ranging (LIDAR).
2. Manipulación de Datos LIDAR. Reconocimiento interfaz ENVI-LIDAR. Visualización de datos espaciales LIDAR: i) Apertura de Ficheros de datos, ii) Mejoras de visualización, iii) Cálculos rápidos y iv) Generación de información temática. Integración LIDAR ArcMap 10.x.
3. Introducción al uso de datos hiperespectrales AVIRIS (500 filas x 350 columnas x 56 bandas). Extraer firmas de reflectancia para el agua, la vegetación, las zonas urbanas, y los minerales, utilizando imagen AVIRIS.

## **OCTAVA UNIDAD (CE y LAB): Aplicaciones en Acuicultura. (6 horas)**

### Contenidos:

- Caso 1. Generación de línea y máscara de costa, localización de estructuras (balsas jaulas, línea de cultivo, pontones, muelles, etc.) de acuicultura con imágenes pancromáticas y multiespectrales Landsat 8.
- Caso 2. Generación de imágenes satelitales de resolución baja (sensores MODIS, VIIRS): temperatura superficial del mar, concentración de clorofila, materia orgánica particulada y materia inorgánica particulada.
- Caso 3. Modelación de sitios aptos para acuicultura (modelo de Silva *et al.*, 2011 y Silva *et al.*, 2012) capacidad de carga, impactos ambientales y estrategias de biorremediación con el uso de imágenes satelitales, SIG y el modelo FARM (Ferreira *et al.*, 2007).

## **7. BIBLIOGRAFÍA CURSO**

- CHUVIECO SALINERO, EMILIO (1996). Fundamentos de Teledetección. Ediciones Rialp, S.A. 568 páginas. Madrid, España. (4ª Reimpresión corregida en febrero 2000).
- OTERO PASTOR, ISABEL (1999). Paisaje, Teledetección y SIG. Conceptos y Aplicaciones. Fundación Conde del Valle de Salazar. 417 páginas. España.
- PINILLA, CARLOS (1995). Elementos de Teledetección. Ediciones RA-MA. 313 páginas. Madrid, España.
- CAMPBELL, J. B. (1996). Introduction to Remote Sensing. New York, The Guilford Press, 2nd Edition.
- CONWAY, E (1997). An Introduction to Satellite Image Interpretation. Maryland, Johns Hopkins Univ Pr.
- CURRAN, P. J. (1985). Principles of Remote Sensing. London, Longman.
- GIRARD, M.C. y GIRARD, C.M. (1989). Télétection Appliquée. Zones tempérées et intertropicales. Paris, Masson.
- HARRIS, R. (1987). Satellite Remote Sensing. An Introduction. London, Routledge and Kegan Paul.
- HOOPS, R.J. y MOONEY, H.A. (Eds.) (1990): Remote Sensing of Biosphere Functioning. New York, Springer Verlag.
- JENSEN, J.R. (1996). Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective, 2ª Edición, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- LILLESAND, T.M. y KIEFER, R.W. (1994). Remote Sensing and Image Interpretation, 3ª Ed., New York, John Wiley and Sons (1 Edición de 1979).
- MATHER, P. (1999). Computer Processing of Remotely Sensed Data. London, John Wiley and Sons, 2nd. Ed.
- RICHARDS, J.A. (1993). Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. 2nd Ed., Berlin, Springer-Verlag.
- SABINS, F.F. (1996). Remote Sensing: Principles and Interpretation, 3th Ed. San Francisco, Freeman.
- SCHOWENGERDT, R.A. (1997). Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, 2nd Ed., New York, Academic Press.
- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING. Fundamentals of Remote Sensing. [http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php)
- DIGITALGLOBE, 2010. WorldView-2 Imagery Products and Product Guide. Digital Globe, Inc., Boulder, Colorado, 31 pp.
- GEOIMAGE, 2010. See the World as Never Before: WorldView-2 Satellite Imager in 8 Bands. Geoimage Inc., Sydney, Australia. 12 pp. <http://www.geoimage.com.au>.

AGUILAR-MANJARREZ, J., J.M. KAPETSKY & D. SOTO. 2010. The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. FAO/Rome. Expert Workshop. 19–21 November 2008, Rome, Italy. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. No.17. Rome, FAO. 176p.

DOUVERE, F. 2008. The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management. *Mar. Policy*, 32(5): 762–771.

FERRARO, G., BASCHEK, B., DE MONTEPELLIER, G., NJOTEN, O., PERKOVIC, M. AND VESPE, M., 2010. On the SAR derived alert in the detection of oil spills according to the analysis of the EGEMP. *Marine Pollution Bulletin*, 60 (1):91-102.

KIM, D. J., MOON, W. M. AND KIM, Y. S., 2010. Application of TerraSAR-X Data for Emergent Oil-Spill Monitoring. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48 (2):852-863.

CHOI, J., OH, H., KOO, B.J., LEE, S., RYU, J.H., 2011. Macrobenthos habitat mapping in a tidal flat using remotely sensed data and a GIS-based probabilistic model. *Marine Pollution Bulletin* 62, 564–572.

PHINN, S., ROELFSEMA, C., BRANDO, V., ANSTEE, J., 2008. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment* 112, 3413–3425.

STUMPF, R. P., HOLDERIED, K., SINCLAIR, M., 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography* 48 (1), 547-556.

FERREIRA, J.G., A.J.S. HAWKINS & S.B. BRICKER. 2007. Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture – the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture*, 264: 160-174.

SILVA, C., J.G. FERREIRA, S.B. BRICKER, T.A. DELVALLS, L. MARTÍN-DÍAZ & E. YÁÑEZ. 2011. Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture*, 318: 444-457.

SILVA, C., YÁÑEZ, E., MARTÍN-DÍAZ, L., DELVALLS, T.A., 2012A. Assessing a bioremediation strategy in a shallow coastal system affected by a fish farm culture - Application of GIS and shellfish dynamic models in the Rio San Pedro, SW Spain. *Mar. Poll. Bull.* 64(4), 751-765.

SILVA, C., M.A. BARBIERI, E. YÁÑEZ, J.C. GUTIÉRREZ-ESTRADA, AND T.A. DELVALLS. 2012. Using indicators and models for an ecosystem approach to fisheries and aquaculture management: anchovy fishery and pacific oyster culture- cases studies in Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 40 (4): 955-969.

COMMERCIAL      VERSION      OF      FARM      AQUACULTURE      MODELLING  
<http://www.longline.co.uk/site/products/aquaculture/farm/>

## **REVISTAS INTERNACIONALES ESPECIALIZADAS:**

REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. An Interdisciplinary Journal. Ed. Elsevier. Elsevier Science Publishing Company Inc., 52. Vanderbilt Avenue, New York, NY 10017, USA.

(<http://www.elsevier.com/inca/publications/store/5/0/5/7/3/3/index.htm>).

INTERNATIONAL JOURNAL REMOTE SENSING. An official journal of the Remote Sensing Society. Ed. Taylor & Francis. Ltd., Rankine Road, Basingstoke, Hampshire RG24 0PR, Reino Unido.

(<http://www.bmpub.com/JNLS/gis.htm>).

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 345 E. 47th Street, New York, NY, 10017 USA.

([http://www.ieee.org/pub\\_preview/grs\\_toc.html](http://www.ieee.org/pub_preview/grs_toc.html)).

International Journal of Geographical Information Science, Taylor and Francis Ltd., Rankine Road, Basingstoke, Hampshire RG24 0PR, Reino Unido. (<http://www.bmpub.com/JNLS/gis.htm>).

Geocarto International, Geocarto International Centre, GPO Box 4122, Hong Kong. (<http://www.geocarto.com>).

Revista Española de Teledetección, Pinar 25, 28006 Madrid. (<http://telenet.uva.es/revistas/aet/aet.html>)

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. <http://www.journals.elsevier.com/isprs-journal-of-photogrammetry-and-remote-sensing/>

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. <http://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-applied-earth-observation-and-geoinformation/>

	1º SEMANA	2º SEMANA	3º SEMANA
	12-jun	19-jun	26-jun
	1º-2º UNIDAD	2º UNIDAD	2º UNIDAD
<b>1º HORA</b> 9:00-10:00	Estado de Arte en los tipos de satélites ambientales	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8
<b>2º HORA</b> 10:00-11:00	Estado de Arte en los tipos de satélites ambientales	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8
<b>3º HORA</b> 11:30-12:30	Estado de Arte en los tipos de satélites ambientales	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8
<b>4º HORA</b> 12:30-13:30	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8	Procesamiento digital de imágenes (P.D.I.). Visualización, correcciones, realce, transformación y clasificación en Landsat 8
<b>TOTAL HRS</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>

Clases teóricas
Laboratorios
Evaluaciones

4º SEMANA	5º SEMANA	6º SEMANA	7º SEMANA
03-jul	10-jul	17-jul	24-jul
	3º UNIDAD	1-3º UNIDAD	3º-4º UNIDAD
CLASE SUSPENDIDA	Imágenes satelitales de Resolución media (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (tsm, clorofila, etc).	EVALUACION UNIDAD 1:	Imágenes satelitales de Resolución media (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (tsm, clorofila, etc).
	Imágenes satelitales de Resolución media (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (tsm, clorofila, etc).	EVALUACION UNIDAD 1:	Imágenes satelitales de Resolución media (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (tsm, clorofila, etc).
	Imágenes satelitales de Resolución media (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (tsm, clorofila, etc).	EVALUACION UNIDAD 1:	Programación de módulos en IDL para Envi
	Imágenes satelitales de Resolución media (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (tsm, clorofila, etc).	EVALUACION UNIDAD 1:	Programación de módulos en IDL para Envi
<b>16</b>	<b>20</b>	<b>32</b>	<b>24</b>

Clases teóricas
Laboratorios
Evaluaciones

8º SEMANA	9º SEMANA	10º SEMANA
31-jul	07-ago	14-ago
4º UNIDAD	5º-6º UNIDAD	4º-5º UNIDAD
Programación de módulos en IDL para Envi	Introducción a ESRI ONLINE	EVALUACION UNIDAD 2:
Programación de módulos en IDL para Envi	Introducción a imágenes Radar. Procesamiento y análisis básico de imágenes RADAR	EVALUACION UNIDAD 2:
Programación de módulos en IDL para Envi	Introducción a imágenes Radar. Procesamiento y análisis básico de imágenes RADAR	EVALUACION UNIDAD 2:
Programación de módulos en IDL para Envi	Introducción a imágenes Radar. Procesamiento y análisis básico de imágenes RADAR	EVALUACION UNIDAD 2:
<b>28</b>	<b>36</b>	<b>40</b>

Clases teóricas
Laboratorios
Evaluaciones

11ª SEMANA	12ª SEMANA	13ª SEMANA	13ª SEMANA
21-ago	28-ago	04-sep	11-sep
6ª - 7ª UNIDAD	7ª UNIDAD	8ª UNIDAD	
Fusión de Imágenes LANDSAT y de Radar de Apertura Sintética (SAR)	Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales	Aplicaciones en Acuicultura	EVALUACION UNIDAD 3:
Fusión de Imágenes LANDSAT y de Radar de Apertura Sintética (SAR)	Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales	Aplicaciones en Acuicultura	EVALUACION UNIDAD 3:
Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales	Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales	Aplicaciones en Acuicultura	EVALUACION UNIDAD 3:
Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales	Introducción a imágenes Lidar e hiperespectrales	Aplicaciones en Acuicultura	EVALUACION UNIDAD 3:
44	48		50

Clases teóricas
Laboratorios
Evaluaciones

### 3.3.2. Aula Virtual

El curso es apoyado con el Aula Virtual de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (<http://fc.aulavirtualpucv.cl/>) para potenciar las prácticas educativas y los procesos de enseñanza y aprendizaje con el uso de tecnologías TICs con el objetivo de incorporar espacios virtuales como apoyo al curso de capacitación y como una garantía de soporte por 3 meses después de terminado el proyecto.

A continuación un detalle del Aula Virtual del curso. Al inicio tiene una página de información General donde está el logo/fotografía del curso con título y logos institucionales, junto a un archivo Excel donde se han publicado el programa y calendario actualizado del curso el cual por lo general se va adaptando a los tiempos reales (Figura 89). El programa y calendario del curso se actualizan prácticamente cada semana y estas actualizaciones se publican vía noticias donde se les envía un correo en forma automática a todos los

participantes. En esta página de información General también se publicarán los Resultados de las Notas de las Evaluaciones y páginas web de interés.

The screenshot displays the virtual classroom interface. At the top, there is a header with the text 'Formación continua Aula Virtual' and 'Un nuevo espacio para el aprendizaje', along with the logo of the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Below the header, a breadcrumb trail shows the path: 'Página Principal > Mis cursos > 2015 > AEAC > OCE > MANEJO E INTERPRETACION DE IMAGENES SATELITALES AP...'. A navigation bar contains tabs for 'General', 'Módulo 1' through 'Módulo 7', and 'Módulo 8'. The main content area features a large banner with the course title and a satellite image. Below the banner, there are sections for 'Novedades' (News) and 'Material Complementario' (Complementary Material). On the left side, there is a 'Navegación' (Navigation) menu with options like 'Página Principal', 'Área personal', 'Páginas del sitio', 'Mi perfil', and 'Curso actual'. At the bottom left, there is an 'Administración' (Administration) menu with options like 'Administración del curso', 'Activar edición', 'Editar ajustes', and 'Usuarios'. On the right side, there are three widgets: 'Sitio Web' (Website), 'Últimas noticias' (Latest news), and 'Eventos próximos' (Upcoming events).

**Figura 89. Página de información general del Aula virtual del curso de capacitación.**

El aula virtual tiene un menú a la izquierda de navegación donde en todo momento se puede acceder a la página personal de cada participante, perfil y módulos del curso. Además cuenta con un menú de Administración donde se pueda gestionar la Edición (para poder subir archivos, enviar mensajes, etc.), editar ajustes, usuarios, filtros e informes.

En las páginas de los 8 módulos, se podrá encontrar el material de apoyo al curso como clases expositivas, guías de laboratorio y archivos de ejercicios laboratorios (imágenes satelitales, archivos vectoriales shapefile, planillas Excel, entre otros) y artículos de bibliografía. El material de apoyo se va subiendo

semana a medida que se imparten las clases. En la Figura 90 se muestra las páginas de los módulos 1, 2 y 3 del aula virtual del curso y archivos anexos de las clases presentadas los días viernes 12 y 19 de junio.

The figure displays three sequential screenshots of the virtual classroom interface, showing the progression through modules 1, 2, and 3. Each screenshot includes a navigation menu on the left, a central content area, and a sidebar on the right.

- Module 1:** Titled "Estado de Arte en los tipos de Satélites Ambientales". It lists four attachments: "Modulo 1\_PresentacionCurso-Aplicacion-ImagSatelitales-FIP2014-76", "Modulo 1\_Teoría-Introducción\_LIDAR-HIPERESPECTRALES", "Modulo 1\_ImagSatelitales-MODIS-LANDSAT", and "Modulo 1\_ImagSatelitales-WORLDVIEW2-RADAR".
- Module 2:** Titled "Procesamiento digital de Imágenes (P.D.I.). Visualización, Correcciones Realce, Transformación y Clasificación en Landsat 8". It lists four attachments: "Laboratorio 1 Unidad 2", "Laboratorio 2 Unidad 2", "Laboratorio 3 Unidad 2", and "Laboratorio 4 Unidad 2".
- Module 3:** Titled "Imágenes Satelitales de Resolución Media (sensores MODIS, VIIRS) y Aplicación de Variables Ambientales (tsm, clorofila, etc.)". It lists one attachment: "Laboratorio 5\_Unidad 3".

The interface also features a top navigation bar with the course title "MANEJO E INTERPRETACION DE IMAGENES SATELITALES AP..." and a sidebar with sections for "Personas", "Navegación", "Últimas noticias", and "Eventos próximos".

Figura 90. Página del módulo 1 del aula virtual del curso y archivos anexos de las clases presentadas hasta el día viernes 3 de julio.

### 3.3.3. Certificación del curso

El curso fue debidamente inscrito como Actividad de Extensión Académica (AEA) de la PUCV para obtener la certificación y ya fueron ingresados los resultados de la evaluación y asistencia, siendo 6 alumnos aprobados y 3 reprobados. A continuación se detallan la descripción de la AEA, los resultados de calificación y aprobación del curso, junto con las copias de la solicitud de autorización AEA, Libro de Clases y resolución N°118/2015 que autoriza a la Escuela de Ciencias del Mar a impartir el curso "MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II". En el ANEXO 4 se muestran los Controles de Asistencia del curso.



- ▼ OPCIONES
- ▶ ACTIVIDADES
- ▶ ESTUDIANTE
- ▶ RELATOR
- ▶ REPORTES
- ◀ SALIR

#### DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD

CONSULTAR ACTIVIDAD		NUEVA DICTACION
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD		
<b>NOMBRE ACTIVIDAD</b>	MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II	
<b>ENTIDAD</b>	Escuela de Ciencias del Mar	
<b>TIPO ACTIVIDAD</b>	Curso	
<b>NÚMERO DE HORAS</b>	50	
<b>TIPO HORA</b>	cronológicas	
<b>REALIZACIÓN CONJUNTA</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>CARÁCTER</b>
<b>MODALIDAD DE ENSEÑANZA</b>	Presencial	
<b>CÓDIGO SENCE</b>		
<b>OBSERVACIONES</b>	Curso teórico práctico que busca desarrollar, en los profesionales de la División de Acuicultura de la Subsecretaría de Pesca, la capacidad de emplear información ambiental (cuerpos de agua, territorial) obtenida a través de sensores remotos satelitales,	

#### DICTACIONES

N°	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO	RESPONSABLE	N° RESO	SEDE	ESTADO	OPCIÓN
1	12/06/2015	04/09/2015	YAÑEZ ELEUTERIO	118/2015	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO	ACEPTADA	[Ver]

## DESCRIPCIÓN DICTACIÓN

[NUEVA ACTIVIDAD](#)

[CONSULTAR ACTIVIDAD](#)

[NUEVA DICTACIÓN](#)

DESCRIPCIÓN DE DICTACIÓN	
CÓDIGO	2328
NOMBRE ACTIVIDAD	MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II
FECHA DE INICIO	12/06/2015
FECHA DE TÉRMINO	04/09/2015
ESTADO DICTACIÓN	ACEPTADA
CODIGO RESOLUCIÓN	<a href="#">118/2015</a>
ACADÉMICO RESPONSABLE	YAÑEZ RODRIGUEZ ELEUTERIO
TIPO EVALUACIÓN	APROBACIÓN
TIPO DE CALIFICACIÓN	1,0 - 7,0
NOTA MÍNIMA	4,0
CUPO	10
ASISTENCIA MÍNIMA	83%
COBERTURA	CERRADA
VALOR DE INSCRIPCIÓN TOTAL	10000000 Pesos
DICTADA A LA INSTITUCIÓN	SUBSECRETARÍA DE PESCA
SEDE DE DICTACIÓN	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
COMUNA SEDE	Valparaíso
LOCALIDAD SEDE	VALPARAÍSO
DIRECCIÓN SEDE	Avenida Altamirano 1480
TELÉFONO	32-2274250
FAX	32-2274208
MAIL	claudio.silva@ucv.cl

	IDENTIFICADOR	NOMBRE DE RELATOR	OPCIÓN
RELADORES	10283907-2	AGUILERA FRITIS JAIME PATRICIO	<a href="#">[Ver]</a>
	20898396-2	Lastra Muñoz José Antonio	<a href="#">[Ver]</a>
	8390045-8	SILVA GALLINATO CLAUDIO	<a href="#">[Ver]</a>
	15720591-9	VARGAS SANDOVAL VIVIANA ALEJANDRA	<a href="#">[Ver]</a>

### OPCIONES

Acciones [Resultados](#) [Archivo](#) [Horario](#) [Solicitud](#)

Reportes [Estadísticas](#)

Imprimir [Autorización AEA](#) [Resolución](#)

Listado

[IR A ACTIVIDAD](#)

### INSCRIPCIÓN DE ESTUDIANTE A DICTACIÓN

TIPO DE IDENTIFICADOR    
 RUT/PASAPORTE

Cantidad de inscritos: 9

IDENTIFICADOR	NOMBRE DE ESTUDIANTE	OPCIÓN
16484124-3	BUJES VERA DANIEL ANTONIO	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
16724240-5	CASTILLO PEREZ JONATHAN ANDRES	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
15331856-5	LAGUNAS LÓPEZ CAMILA CONSTANZA	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
17432105-1	NARANJO CASTRO JORGE FERNANDO	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
13995531-5	PINTO CONTRERAS CÉSAR LUIS	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
16007841-3	RODRÍGUEZ LILLO FABIOLA ANDREA	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
16354342-7	SABATHIER DURÁN MARÍA JOSÉ	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
15077524-8	VALENZUELA GARCÍA VICENTE MARCELO	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>
7170711-3	ZABALA VALLEJO ÁLVARO MATEO	<a href="#">[Ver]</a> <a href="#">[Quitar]</a>

## INGRESO DE RESULTADOS

NUEVA ACTIVIDAD

CONSULTAR ACTIVIDAD

LISTA DE ESTUDIANTES INSCRITOS				
IDENTIFICADOR	NOMBRE DE ESTUDIANTE	CALIFICACIÓN	ASISTENCIA	ESTADO
16484124-3	BUJES VERA DANIEL ANTONIO	6.7	83%	Aprobado
16724240-5	CASTILLO PEREZ JONATHAN ANDRES	6.7	100%	Aprobado
15331856-5	LAGUNAS LÓPEZ CAMILA CONSTANZA	5.1	83%	Aprobado
17432105-1	NARANJO CASTRO JORGE FERNANDO	6.6	92%	Aprobado
13995531-5	PINTO CONTRERAS CÉSAR LUIS	1.0	23%	Reprobado
16007841-3	RODRÍGUEZ LILLO FABIOLA ANDREA	6.6	84%	Aprobado
16354342-7	SABATHIER DURÁN MARÍA JOSÉ	6.7	100%	Aprobado
15077524-8	VALENZUELA GARCÍA VICENTE MARCELO	1.0	31%	Reprobado
7170711-3	ZABALA VALLEJO ÁLVARO MATEO	1.0	46%	Reprobado

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO**  
FUNDACIÓN ISABEL CACES DE BROWN  
Avenida Brasil 2950, Valparaíso, Chile  
Teléfono (56-33) 273530 - Fax (56-33) 273437  
Casilla 4059 - <http://www.ucv.cl/web/cooptec>



## **UNIDAD DE COOPERACIÓN TÉCNICA**

### **SOLICITUD AUTORIZACIÓN AEA**

**NOMBRE:** MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II

**TIPO:** CURSO

**MODALIDAD DE ENSEÑANZA:** PRESENCIAL

**NÚMERO DE HORAS:** 50 cronológicas

**COBERTURA:** CERRADA

**TIPO DE EVALUACIÓN:** APROBACIÓN

**TIPO DE CALIFICACIÓN:** 1,0 - 7,0

**REQUISITOS DE APROBACIÓN:** Asistencia : 83% y Nota mínima : 4.0

**PROFESOR (A) (ES), RELADORES SR.(A) (ES):**

10283907-2 AGUILERA FRITIS JAIME PATRICIO

20898396-2 Lastra Muñoz José Antonio

8390045-8 SILVA GALLINATO CLAUDIO

15720591-9 VARGAS SANDOVAL VIVIANA ALEJANDRA

**COORDINADOR O RESPONSABLE:** YAÑEZ RODRIGUEZ ELEUTERIO

**FECHA DE DICTACIÓN:** desde 12/06/2015 hasta 04/09/2015

**SEDE DE DICTACIÓN:** PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

**DICTADA A LA INSTITUCIÓN:** SUBSECRETARÍA DE PESCA

**CUPO:** 10

**COSTO:**

**Total:** \$10000000

**LOCALIDAD SEDE:** VALPARAÍSO

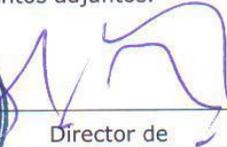
**DIRECCIÓN SEDE :** Avenida Altamirano 1480

**TELÉFONO:** 32-2274250

**FAX:** 32-2274208

**CORREO ELECTRÓNICO:** claudio.silva@ucv.cl

La autoridad abajo firmante otorga el Patrocinio de la actividad descrita y ha revisado y verificado la información contenida en este documento y en los documentos adjuntos.

  
Director de  
Escuela de Ciencias del Mar



04 de junio de 2015

**DIRECCIÓN GENERAL DE VINCULACIÓN CON EL MEDIO****ACTIVIDAD DE EXTENSIÓN ACADÉMICA****RESOLUCIÓN N° 118/2015**

**REF.: Autoriza actividad de extensión académica que indica.**

**Valparaíso, 29 de mayo de 2015**

**VISTOS:**

1°. *La proposición formulada por la Dirección la Escuela de Ciencias del Mar para impartir en calidad de Actividad de Extensión Académica el Curso denominado: MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II*

2°. *La recomendación fundada de autorización entregada por la Dirección de Cooperación Técnica, según consta en su Oficio N° 118/2015.*

3°. *La circunstancia que la actividad individualizada en el visto 1° precedente fue calificada como Actividad de Extensión Académica por la antes mencionada Unidad y,*

4°. *Lo establecido en el Decreto de Rectoría Académico N° 228/2004 y N° 63/2010.*

**RESUELVO:**

1. *Autorízase a la Escuela de Ciencias del Mar, para impartir el Curso "MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II" en calidad de Actividad de Extensión Académica.*

2. *Podrán participar de este Curso los interesados designados por: SUBSECRETARÍA DE PESCA.*

3. *Dicho Curso tendrá un costo total de \$10.000.000, que se destinará a solventar los gastos que demande la realización del mismo.*

4. *El Curso se desarrollará en Valparaíso, entre el 12 de junio y el 4 de septiembre de 2015, no otorgará créditos, tendrá una duración de 50 hrs. cronológicas, será coordinado por Eleuterio Yañez Rodríguez e impartido por Jaime Aguilera Fritis , José Lastra Muñoz , Claudio Silva Gallinato y Viviana Vargas Sandoval.*

5. *La Dirección de Cooperación Técnica extenderá los correspondientes certificados de APROBACIÓN, a aquellos participantes que concurran al 83% de las sesiones del Curso a que se refiere la presente resolución y obtengan una calificación superior a 4,0 en la escala 1,0 - 7,0. Extenderá también, el*

*certificado de participación a los relatores de la actividad.*

*6. El costo del certificado tendrá un valor de \$5.000.*

*7. Facúltase al Director de la DIRECCIÓN DE COOPERACIÓN TÉCNICA para suscribir los certificados que da cuenta la presente resolución.*

*Regístrese y archívese.*

**JUAN TORREJON CROVETTO**  
*Director General de Vinculación con el Medio*  
*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*

*Distribución*

- Dirección de Cooperación Técnica PUCV*
- Secretaría General PUCV*
- Contraloría PUCV*
- Escuela de Ciencias del Mar PUCV*

 UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD ACTIVIDADES DE EXTENSION ACADÉMICA <b>RE011 LIBRO DE CLASES</b>	Versión 00 Aprobado el 2/5/2015 Página 1 de 7
	Elaborado por Sandra González Encargada de Calidad AEA	Revisado y Aprobado por: Mabel Keller Directora de Cooperación Técnica

#### LIBRO DE CONTROL DE CLASES

**NOMBRE ACTIVIDAD DE EXTENSION ACADÉMICA** : MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA. FASE II

**FECHA DE EJECUCION** : FECHA INICIO: 6/12/2015 FECHA TERMINO: 9/4/2015

**LUGAR DE EJECUCIÓN** : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO, Avenida Altamirano 1480

**HORARIO** : 9:00 - 13:00

**NOMBRE RELATOR (A)** : JAIME AGUILERA FRITIS, José Lastra Muñoz, CLAUDIO SILVA GALLINATO y VIVIANA VARGAS SANDOVAL

**DIRIGIDO A** :

*Este libro de clases debe reflejar fielmente las acciones realizadas en cada sesión y no debe ser pasado en limpio y debe completarse de acuerdo a las instrucciones de la página 2. Los estudiantes deben firmar solo en la página 3.*

Este documento una vez impreso deja de ser un documento controlado  
 Dirección de Cooperación Técnica - Dirección General de Vinculación con el Medio - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
 Av. Brasil 2950, Valparaíso, Chile. Teléfono / Fax (56) (32) 2273437 - E-mail: octil@ucv.cl - http://www.oct.ucv.cl

#### INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR EL LIBRO DE CLASES

Sres. Profesores para poder cumplir cabalmente con el proceso de certificación de los participantes, es de suma importancia que se cumplan las siguientes instrucciones al momento de registrar la asistencia, el programa y las calificaciones.

**1. AL INICIO DE LA ACTIVIDAD, LOS PARTICIPANTES DEBEN FIRMAR SU INSCRIPCIÓN ACREDITANDO CON ELLO: 1) LO REGISTRADO EN LA LISTA DE "ANTECEDENTES DE LOS PARTICIPANTES", 2) LA RECEPCIÓN DE LAS CONDICIONES DEL SERVICIO, 3) EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DEL CURSO Y/O SER PARTE DEL PÚBLICO OBJETIVO DE ESTA ACTIVIDAD.**

**2. EL O LOS RELATORES DEBEN PASAR LA LISTA AL INICIO DE CADA CLASE.**

LA NOMENCLATURA A UTILIZAR DEBE CORRESPONDER A LA SIGUIENTE:

/ = PRESENTE  
 X = AUSENTE  
 XA = ATRASADO  
 J = CON CERTIFICADO MÉDICO O JUSTIFICACIÓN COMPROBADA

**NOTA:** -LOS ESPACIOS EN BLANCO SERÁN COMPLETADOS POR LA UNIDAD DE COOPERACIÓN TÉCNICA CON UNA X Y EL PARTICIPANTE QUEDARÁ AUTOMÁTICAMENTE AUSENTE.  
 -LAS INASISTENCIAS CON JUSTIFICACIÓN COMPROBADA, SERÁN CONSIDERADAS COMO PRESENTES SÓLO EN EL CASO QUE EL PARTICIPANTE NO CUMPLA CON EL MÍNIMO DE ASISTENCIA DE 83%. PARA APROBAR EL CURSO.

**3. EL O LOS RELATORES DEBEN COMPLETAR LOS CONTENIDOS, FECHA Y HORAS DE DICTACIÓN Y FIRMAR AL TÉRMINO DE CADA CLASE.**

**4. EL O LOS RELATORES DEBEN REGISTRAR LAS CALIFICACIONES PARCIALES, SI LAS HUBIERA, Y LA CALIFICACIÓN FINAL DE CADA PARTICIPANTE. LOS PARTICIPANTES DEBEN FIRMAR SU CONFORMIDAD CON LA NOTA FINAL. SI LA NOTA Y LA ASISTENCIA FINAL SE ENVÍAN POR CORREO ELECTRÓNICO SE DEBE PEDIR LA CONFORMIDAD A CADA ESTUDIANTE Y ENVIAR A LA DCT LA PLANILLA CON LAS NOTAS.**

**5. EL ACADÉMICO RESPONSABLE DEBE VERIFICAR QUE TODA LA INFORMACIÓN SOLICITADA ESTÉ COMPLETA. EN ESTE LIBRO O EN EL FORMATO QUE HAYA SIDO REGISTRADA Y DEBE ENTREGAR A LA DIRECCIÓN DE COOPERACIÓN TÉCNICA EL ORIGINAL O COPIA, A MÁS TARDAR 10 DÍAS DESPUÉS DE LA FECHA DE TÉRMINO.**

*“Mejorando nuestro servicio para satisfacer los requerimientos del cliente”*

2

**ANTECEDENTES PARTICIPANTES**

Nº	APELLIDOS POR FAVOR ESCRIBA LOS DOS APELLIDOS	NOMBRES POR FAVOR ESCRIBA TODOS LOS NOMBRES	RUT	INSTITUCION	CARGO QUE DESEMPEÑA	FIRMA DE CONFORMIDAD
						¿LEYÓ LAS CONDICIONES DEL SERVICIO Y EL PROGRAMA DEL CURSO, REVISÓ SUS ANTECEDENTES, CUMPLE CON LOS REQUISITOS Y PERTENECE AL PUBLICO OBJETIVO?
1.	CASTILLO PEREZ	JONATHAN ANDRES	16.724.240-5	Subpesca.	UOT	
2.	LAGUNAS LOPEZ	CAMILA CONSTANZA	15.331.856-5	Subpesca	Geógrafo	
3.	NARANJO CASTRO	JORGE FERNANDO	17.432.105-1	Subpesca	Geógrafo	
4.	PINTO CONTRERAS	CESAR LUIS	13.995.531-5	Subpesca	Mag. Profesor Geografía	
5.	RODRIGUEZ LILLO	FABIOLA ANDREA	16.007.841-3	Subpesca	Geógrafo	
6.	SABATHIER DURÁN	MARIA JOSE	16.354.342-7	Subpesca	Geógrafo	
7.	VALENZUELA GARCIA	VICENTE MARCELO	15.077.524-8	Subpesca	Ing. Civil	
8.	ZABALA VALLEJO	ALVARO MATEO	7.170.711-3	Subpesca	UOT	
9.	BUSTOS VERA	DANIEL ANTONIO	16.484.124-3	Subpesca	UOT	
10.						

**CONTROL DE ASISTENCIA DE PARTICIPANTES LEER INSTRUCCIONES EN LA PAGINA 2**

REPETIR ESTA HOJA LAS VECES QUE SEA NECESARIO. EN LA PRIMERA FILA DE LAS COLUMNAS DE ASISTENCIA SE DEBE ESCRIBIR LA FECHA.

MES: JUNIO A SEPTIEMBRE AÑO: 2015

Nº	NOMBRE	12/6	19/6	26/6	3/7	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	28/8	4/9	11/9
1.	CASTILLO PEREZ JONATHAN ANDRES	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2.	LAGUNAS LOPEZ CAMILA CONSTANZA	/	/	/	/	/	/	/	JC	/	/	X	/	JC	JC
3.	NARANJO CASTRO JORGE FERNANDO	/	/	/	/	/	/	/	X	/	/	/	/	/	/
4.	PINTO CONTRERAS CESAR LUIS	/	/	/	X	X	/	X	X	X	X	X	X	X	X
5.	RODRIGUEZ LILLO FABIOLA ANDREA	J	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	/	/
6.	SABATHIER DURÁN MARIA JOSE	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
7.	VALENZUELA GARCIA VICENTE MARCELO	/	/	/	/	X	/	X	X	X	X	X	X	X	X
8.	ZABALA VALLEJO ALVARO MATEO	/	/	/	/	/	/	JC	X	X	X	X	X	X	X
9.	BUSTOS VERA DANIEL ANTONIO	J	/	/	/	/	/	JC	/	X	/	/	/	/	/
10.															

**CONTENIDOS DE ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN**

FECHA	TEMAS	ACTIVIDADES	HORA	HORA	FIRMA RELATOR (A)
			INICIO	TÉRMINO	
12/06	Estado del arte en los tipos de Satélites. Unidad 1	Clases teóricas, Introducción tipos de Satélites	9:00	13:00	
19/06	Procesamiento Imágenes Landsat 8	Clases Prácticas: - Visualización, Recortes, Filtros, Calibración y correcciones.	9:00	13:00	
26/6	Procesamiento digital imágenes Landsat 8	Corrección Atmósfera, Transformación Radiométrica, corrección bandas térmicas, Filtros en Imágenes	9:00	13:00	
3/7	Procesamiento digital imágenes Landsat 8 Procesamiento digital imágenes MODIS/Viirs	Corrección imágenes NDVI y temperatura superficial, normalización imágenes MODIS, Viirs, Sentinel	9:00	13:00	
10/7	Procesamiento imágenes MODIS/Viirs Análisis Espacial	- Comparación SEADAS, ARCGIS, ENVI e IDL - Procesamiento imágenes satelitales - Eliminación Nubes	9:00	13:00	
17/7	SUSPENDIDA	SUSPENDIDA			
24/7	Evaluación 1	Evaluación 1	9:00	13:00	
31/7	Programación en IDL para ENVI 5.1	Programar función en IDL para extracción de bandas, Comparar resultados con radiométrica Calibración Programa para obtención radiancias.	9:00	13:00	
7/8	ESRI Online Imágenes RADARSAT	- Herramienta ArcGIS online, Creación Mapas - Visualización procesamiento, calibración, Georreferenciación imágenes RADARSAT	9:00	13:00	

**CONTENIDOS DE ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN**

FECHA	TEMAS	ACTIVIDADES	HORA	HORA	FIRMA RELATOR (A)
			INICIO	TÉRMINO	
14/8	EVALUACION 2	EVALUACION 2	9:00	13:00	[Firma]
21/8	Fusión LANDSAT-LIDAR Imágenes Hiperspectrales	1) Corrección radiométrica (ATAC, Co-registrar, normalización con HSI) 2) Preparación imagen. Reducción según las ACP 3) Caracterización radiométrica, multibanda, imágenes	9:00	13:00	[Firma]
28/8	Imágenes Hiperspectrales Datos LIDAR	Algoritmos básicos, Ficheros LIDAR, de cobertura y operaciones básicas, programas para generar productos	9:00	13:00	[Firma]
4/9	Imágenes LIDAR Fusión datos SENTINEL-1/LANDSAT	Fusión LANDSAT- SENTINEL-1	9:00	13:00	[Firma]
11/9	EVALUACION 3	EVALUACION 3	9:00	13:00	[Firma]

**EVALUACIONES**

Nº	APELLIDOS, NOMBRE	FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:	NOTA FINAL	FIRMA DE CONFORMIDAD PARTICIPANTE
1.	CASTILLO PEREZ JONATHAN ANDRES						
2.	LAGUNAS LOPEZ CAMILA CONSTANZA						
3.	NARANJO CASTRO JORGE FERNANDO						
4.	PINTO CONTRERAS CESAR LUIS						
5.	RODRIGUEZ LILLO FABIOLA ANDREA						
6.	SABATHIER DURAN MARIA JOSE						
7.	VALENZUELA GARCIA VICENTE MARCELO						
8.	ZABALA VALLEJO ALVARO MATEO						
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

### 3.3.4. Manual del curso de capacitación

Se elaboró el Manual de Capacitación del curso el cual se entrega adjunto (en formato PDF) al presente Informe Final. A continuación se muestra la Tapa y Tabla de Contenido.





Manejo e interpretación de imágenes satelitales de alta  
resolución aplicadas a las labores de exploración del borde  
costero y cuerpos de agua donde se desarrolle la actividad de  
acuicultura - Fase II  
Proyecto FIP N°2014-77



## Contenidos

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>GUIA DE LABORATORIO 1</b> .....	
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8: VISUALIZACIÓN, REALCES, FILTROS, CALIBRACION Y CORRECCIONES .....	2
<b>GUIA DE LABORATORIO 2</b> .....	
CALIBRACIÓN Y CORRECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES .....	30
<b>GUIA DE LABORATORIO 3</b> .....	
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES: FUSIÓN DE IMÁGENES SATELITALES .....	52
<b>GUIA DE LABORATORIO 4</b> .....	69
PRODUCTOS SATELITALES: CORRECCIÓN DE IMÁGENES, NDVI Y TEMPERATURA SUPERFICIAL .....	69
<b>GUIA DE LABORATORIO 5</b> .....	
PROCESO, VISUALIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN IMÁGENESSATELITALES MODIS Y VIIRS CON SEADAS 7.1, ARCGIS, ENVI E IDL8.3 .....	91
<b>GUIA DE LABORATORIO 6</b> .....	108
PROCESO, VISUALIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN IMÁGENESSATELITALES MODIS Y VIIRS CON SEADAS 7.1, ARCGIS, ENVI E IDL8.3 .....	108
<b>GUIA DE LABORATORIO 7</b> .....	
ANÁLISIS CON IMÁGENES SATELITALES .....	122
<b>GUIA DE LABORATORIO 8</b> .....	
PROGRAMACIÓN DE MODULOS EN IDL PARA ENVI .....	143
<b>GUIA DE LABORATORIO 9</b> .....	
INTRODUCCIÓN A ARCGIS ONLINE.....	156
<b>GUIA DE LABORATORIO 10</b> .....	166
INTRODUCCIÓN A LAS IMÁGENES RADAR: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS BÁSICO DE IMÁGENES RADAR .....	166
<b>GUIA DE LABORATORIO 11</b> .....	
FUSIÓN DE IMÁGENES LANDSAT Y DE RADARSENTINEL .....	186
<b>GUIA DE LABORATORIO 12</b> .....	
ANÁLISIS HIPERESPECTRAL APLICADO A LA VEGETACIÓN .....	199
<b>GUIA DE LABORATORIO 13</b> .....	
LIDAR: APERTURA Y VISUALIZACIÓN DE DATOS LIDAR UTILIZANDO ENVI-LIDAR .....	210

## **4. CONCLUSIONES**

El presente proyecto tiene como producto final principal el caracterizar el borde costero acotado a las Áreas Apropriadas para el ejercicio de la Acuicultura utilizando imágenes satelitales, que permitan identificar estructuras de cultivo de salmones y determinar parámetros ambientales. Adicionalmente, se identificaron sitios aptos para la acuicultura mono-específica (cultivo de ostra japonesa) y multitrófica (cultivo de salmón atlántico + ostra japonesa) con un modelo multicriterio en ArcGIS, en estos sitios se modeló con el software FARM la capacidad de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales y de otras fuentes de información. El objetivo general y objetivos específicos de este proyecto fueron cumplidos.

Se asesoró en forma efectiva a los profesionales de la Unidad de Ordenamiento Territorial (UOT) sobre la selección de imágenes satelitales de resolución alta y media para diversas aplicaciones en el ámbito de la acuicultura. Se seleccionaron, adquirieron y procesaron imágenes Landsat 8 OLI/TIRS con una resolución espacial de 30 m (multiespectral) que abarcan los Barrios de interés entregados por SUBPESCA y que fueron captadas el 18 de junio de 2014 y 21 enero de 2015. Con las imágenes se generaron los siguientes productos de imágenes satelitales de acuerdo a necesidades existentes en la División de Acuicultura:

- Se desarrolló un producto que demostró ser útil y efectivo para la identificación de estructuras de acuicultura (balsas jaulas, línea de cultivo, pontones, muelles, etc.) basado en la transformación de las imágenes con una fusión o pan-sharpening entre las bandas multiespectrales y pancromáticas aplicando el modelo Gram-Schmidt Spectral Sharpening y el método "Average of Low Resolution Multispectral File" con un remuestreo (resampling) del tipo Bilineal. Se generaron archivos del producto como composición Color Natural por Barrio de interés con extensión \*.tif, los cuales fueron entregados a SUBPESCA en un DVD junto al primer informe de avance del proyecto. Se entregan los aspectos metodológicos para el desarrollo del producto.
- Se desarrolló un producto de información (Tablas de datos) basado en el análisis visual detallado de la superposición de los polígonos de concesiones sobre las imágenes multiespectrales pan-sharp. El producto de información es basado en una síntesis tabulada de los datos por barrio con los siguientes campos extraídos en el análisis:

número barrio, número (FID del shape de concesiones) de la concesión, número de estructuras de cultivo, dimensiones (m\*m) del área de estructura, tipo de estructura (balsa jaula cuadrada, balsa jaula circular y balsa casa), tamaño de jaula (m\*m-cuadrada o m diámetro-circular), configuración (número de jaulas\* número de jaulas), estructura posicionada dentro o fuera de concesión y observaciones. Se concluye que en la zona de estudio se sitúan 222 estructuras de cultivo en los 16 barrios (2, 3a, 3b, 4a, 6, 8, 9a, 9b, 9c, 10a, 10b, 17a, 17b, 25a, 25b y 27), de las cuales 218 son balsas jaulas cuadradas, 21 circulares y 3 balsas casas flotantes. De las estructuras identificadas 148 están dentro de la concesión, 40 están con un % (10 a 90%) del área de la estructura de cultivo fuera de la concesión, 16 están a diversas distancias (10 a 9000 m) fuera de las concesiones y 16 no tienen concesión cercana.

- Se desarrollaron productos de parámetros ambientales derivados de las imágenes Landsat 8 OLI/TIRS usando el software ENVI, para ello se desarrolló y aplicó un enfoque metodológico con las siguientes etapas de procesamiento: calibración de niveles digitales a radianza espectral; corrección atmosférica y cálculo de reflectancia espectral con el módulo FLAASH de ENVI; generación de batimetría calibrada con datos de profundidad obtenidos de la batimetría satelital GEBCO08; estimación de la temperatura superficial del mar (TSM) de brillo y absoluta calibrada con información de TSM del sensor satelital MODIS; y estimación de la concentración de clorofila *a* (Clo *a*) calibrada con información de Clo *a* del sensor satelital VIIRS. Se entregan los procedimientos metodológicos y flujos de trabajo para el desarrollo de los productos.

Adicionalmente, se asesoró en forma efectiva a los profesionales de la UOT sobre la selección de imágenes satelitales de resolución baja. Se seleccionaron, adquirieron y procesaron datos satelitales diarios proveniente de los sensores MODIS, VIIRS y MERIS, durante el año 2012 con una resolución espacial de 1 km. En total se adquieren y procesan 148 imágenes diarias MODIS y 165 VIIRS. Con estas imágenes diarias se hacen composiciones mensuales y luego promedios estacionales (verano, otoño, invierno y primavera). Con la información MODIS y VIIRS se desarrollan los siguientes productos de imágenes satelitales:

- Imágenes de TSM con los datos del sensor MODIS.

- Imágenes de Clo *a*, carbono orgánico particulado (COP) y carbono inorgánico particulado (CIP) con los datos de sensores MODIS/VIIRS.
- Imágenes de materia total particulada (MPT) obtenida del sensor MERIS.
- Validación de la información satelital MODIS/VIIRS de clorofila y datos de clorofila *in situ* mediante un ajuste lineal en un gráfico de dispersión, obteniéndose como resultado que la mejor relación es entre la clorofila satelital y la clorofila a 0-10 m ( $R^2 = 0.79$ ,  $n = 66$ ).

Se demostró la utilidad del enfoque desarrollado y aplicado para la selección de sitios aptos para acuicultura (cultivo de ostra japonesa y cultivo multitrófico ostra + salmón atlántico), modelación de la capacidad de carga e impactos ambientales con el uso de imágenes satelitales y de otras fuentes de información. Se demostró como los modelos SIG (es decir MCE) pueden ser usados en conjunto con otras herramientas, como imágenes satelitales y modelo de capacidad de carga, para asistir a los administradores pesqueros y tomadores de decisiones en la aplicación práctica de un enfoque ecosistémico para la acuicultura (EEA) propuesto por FAO (Soto et al., 2008; Aguilar-Manjarrez et al. 2010). La modelación de sitios aptos permitió generar los siguientes productos de información:

- **Base de datos espacio-temporal** en ArcGIS de indicadores ecosistémicos que se compone de factores de aptitud acuícola obtenidos de imágenes satelitales ambientales (TSM, Clo *a*, COP, CIP, MPT, topografía, batimetría) de sensores remotos como Landsat8 OLI/TIRS, MODIS, VIIRS y MERIS y que se complementan con los datos de batimetría GEBCO08, salinidad del modelo hidrodinámico HYCOM, oxígeno disuelto de World Ocean Atlas, magnitud de la corriente del modelo HYCOM. La base de datos espacio-temporal también está compuesta por imágenes de restricciones legales como las áreas aptas de acuicultura por ley (AAA) y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB).
- **Sitios aptos en ArcGIS.** Mediante procesos de superposición en el SIG se aplicó un enfoque de evaluación multicriterios (MCE) considerando los valores de rangos de aptitud por factor (RAF) para obtener los sitios aptos aplicando la ecuación de aptitud calculada como la media geométrica de todos los factores, modificada por su RAF que convierte los datos originales a valores estandarizados de aptitud acuícola y posteriormente limitada por las restricciones. Se obtiene que las áreas aptas cubren parte de los siguientes 10 barrios: 2 (Seno Reloncaví), 3b (Estero Huito,

Isla Puluqui), 4a (Río Maullín), 6 (Bahía Manao y Bahía Hueihue), 8 (Islas Chauques), 9b (Isla Meulín, Isla Querac, Isla Caguache), 9c (Isla Alao, Isla Apiao, Isla Chaulinec), 10b (Canal Lemuy), 17a (Estero Comau) y 17b (Isla Pelada, Isla Llancahue). Para un total de 8 factores y 2 restricciones, el resultado final del análisis de aptitud de multicriterios indica que 1.889 km<sup>2</sup> (2,8%) de la región muestreada son aptos para el cultivo de ostra japonesa.

- **Capacidad de carga con el modelo FARM bajo escenarios monoespecífico (ostra) y multitrófico (ostra + salmón).** En los sitios aptos determinados en la evaluación MCE se desarrolló un análisis detallado de la producción, salidas socio-económicas y efectos ambientales aplicando el modelo de capacidad de carga FARM, observándose una alta variabilidad espacial en el crecimiento alcanzado por las ostras, destacándose los altos valores (> 8 cm) alcanzados en los sitios aptos de los barrios 2, 4a, 8 y 17a, mientras que en los barrios 9c, 10b y 9b se simulan bajos tamaños individuales (< 5 cm). Bajo un escenario AMTI se observa un aumento y favorecimiento en el crecimiento de las ostras en todos los barrios debido al aporte de nutrientes orgánicos desde el cultivo de salmones, destacándose el alto crecimiento obtenido en el barrio 2 con una longitud alcanzada de 12,3 cm y por el contrario se simula un bajo tamaño en el barrio 9c con 3,6 cm. Los barrios con alto crecimiento son áreas más prometedoras para el cultivo de ostras y multitrófico salmón-ostras con un crecimiento rápido y un buen retorno de la inversión, como lo demuestran los PFM y por el ingreso económico previsto, además de mostrar beneficios ambientales con una mayor reducción de nitrógeno y carbono neto más alto aumentando el costo de sustitución del tratamiento de nutrientes. La aplicación del enfoque metodológico para la evaluación de acuicultura multitrófica integrada AMTI en el presente proyecto y zonas de estudio cuantifica la rentabilidad directa y ventajas ambientales de la biorremediación que las granjas AMTI peces-moluscos pueden tener en relación a los cultivos de peces monoespecífico.

Como producto final y de transferencia tecnológica del proyecto se realizó de forma exitosa el curso de capacitación "**MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II**", el cual permitió el desarrollo y fortalecimiento de capacidades profesionales en los funcionarios de la UOT de SUBPESCA. El curso tuvo una duración de 50 horas presenciales (viernes entre el 12 de junio al 11 de septiembre), 9 alumnos y 8 unidades temáticas expositivas ( y de laboratorios computacionales. El curso es apoyado con el Aula Virtual de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (<http://fc.aulavirtualpucv.cl/>), potenciando las prácticas educativas y los procesos de enseñanza y aprendizaje con el uso de

tecnologías TICs con el objetivo de incorporar espacios virtuales como apoyo al curso de capacitación y como una garantía de soporte por 3 meses después de terminado el proyecto.

Como producto de transferencia tecnológica y difusión se elaboró el Manual de Capacitación (226 páginas, adjunto al presente Pre-Informe Final) del curso el cual contiene las clases prácticas y guías de laboratorio de las unidades temáticas con el paso a paso para la resolución de ejercicios con ENVI, ArcGIS y otros software.

Respecto al objetivo de aplicar imágenes satelitales para identificar estructuras de cultivo y estimación de parámetros ambientales y a la luz de los resultados obtenidos se definen las siguientes recomendaciones para los responsables de administrar la actividad de la acuicultura:

- Establecer un programa de adquisición de imágenes satelitales Landsat 8 que considere la actualización de las imágenes anual o bianualmente.
- Desarrollar un programa de investigación que considere la exploración de nuevas zonas o Barrios de interés (por ejemplo: regiones de Aysén y Magallanes), uso de imágenes Radar como SENTINEL-1 que permiten obtener imágenes aunque esté nublado, aplicar fusión de imágenes SENTINEL-1 y Landsat 8.
- Incorporar la aplicación de estas potentes herramienta de información para el ordenamiento territorial, control y fiscalización de concesiones y monitoreo ambiental en áreas de acuicultura.

Respecto al objetivo de identificar sitios aptos para cultivo, capacidad de carga e impactos ambientales con el uso de datos provenientes de imágenes satelitales y de otras fuentes de información y a la luz de los resultados obtenidos se definen las siguientes recomendaciones para los responsables de administrar la actividad de la acuicultura:

- Desarrollar un programa de investigación que considere la selección de sitios en nuevas zonas o Barrios de interés (por ejemplo: regiones de Aysén y Magallanes) y evaluando otras especies como chorito, chorito araucano, salmones.

- Complementar y validar la información (entrada del modelo) proveniente de satélites y modelos con datos obtenidos de muestreos *in situ* de variables ambientales como carbono orgánico particulado (detritus), materia total particulada, clorofila, entre otros. Estos muestreos pueden ser incorporados a Programas de Monitoreo de Calidad de Agua ya existen en la zona y que presentan una amplia cobertura espacial como es el Programa de Monitoreo de Marea Roja que ejecuta el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).
- Incorporar este enfoque tipo screening para apoyar el proceso de licenciamiento o solicitud de concesiones de acuicultura, asistir con el financiamiento del cultivo, y ayudar a los administradores y gerentes a decidir sobre las compensaciones ambientales (Economía verde o Green economy) aceptables de una configuración IMTA molusco- peces.
- Mejorar en la calidad de los datos de entrada para así mejorar la confianza en las salidas de la modelación.
- El enfoque integrador para la evaluación de escenarios IMTA se puede aplicar en países con escasez de datos y con un sectores de acuicultura de alto crecimiento, como es el caso de Chile, para mejorar la gestión del medio ambiente y promover el cultivo sostenible de moluscos en conjunto con el cultivo de especies acuícolas alimentados artificialmente como salmones para crear así un sistema equilibrado (Chopin, 2006 ; Nobre et al, 2010) para la sostenibilidad del medio ambiente (biomitigación), la estabilidad económica (diversificación de productos y reducción de riesgos) y aceptabilidad social (mejores prácticas de gestión).

Respecto al objetivo de instalar las capacidades técnicas en los profesionales de la UOT encargados de administrar y procesar la información espacial y a la luz de los resultados obtenidos se definen las siguientes recomendaciones para los responsables de administrar la actividad de la acuicultura:

- Incorporación a los cursos de profesionales de otras Unidades Técnicas de SUBPESCA con otras problemáticas, como por ejemplo U. Asuntos Ambiente, U. Recursos Bentónicos, U. Asuntos Sanitarios y Plagas.

- Generar productos cartográficos interactivos y de acceso intra-unidades (geoportal interno).
- Profundizar en la utilización de imágenes de alta resolución, ya sea de pago o gratuitas para productos cartográficos.
- Implementación y capacitación en extensiones de ArcGIS acordes a necesidades de las unidades técnicas responsables de administrar y procesar información espacial, por ejemplo ArcGis for Maritime

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Manjarrez, J., J.M. Kapetsky & D. Soto. 2010. The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. FAO/Rome. Expert Workshop. 19–21 November 2008, Rome, Italy. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. No.17. Rome, FAO. 176p.
- Antunes, P., Gil, O., 2004. PCB and DDT contamination in cultivated and wild sea bass from Ria de Aveiro, Portugal. *Chemosphere* 54(10): 1503-1507.
- Arnold, W.S., White, M.W., Norris, H.A., Berrigan, M.E., 2000. Hard clam (*Mercenaria* spp.) aquaculture in Florida, USA: geographic information system applications to lease site selection. *Aquacultural Engineering* 23, 203–231.
- Barillé, L., Prou, J., Héral, M., Razet, D., 1997. Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 212 (2), 149-172.
- Bleck, R., 2002. An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic–Cartesian coordinates. *Ocean Modelling* 4, 55–58.
- BODC, 2010. The GEBCO 08 Grid, version 20100927.
- Bricker, S.B., Ferreira, J.G., Simas, T., 2003. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling* 169 (1), 39–60.
- Brigolin, D., Dal Maschio, G., Ramapazzo, F., Giani, M., Pastres, R., 2009. An individualbased population dynamic model for estimating biomass yield and nutrient fluxes through an off-shore *Mytilus galloprovincialis* farm. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 82, 365–376.
- Cabello, F.C. 2006. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology* 8(7): 1137-1144.
- Deng, Z., Jin J., Ji F., Zhang F., Jiang X., Wang W., Kang L. 2013. Estimating the Isonutral Slope and Tracer Diffusion from Argo Observations. *Marine Geodesy* 36(1): 109–122.
- Doerffer, R., Schiller, H. 2007. The MERIS Case 2 water algorithm. *International Journal of Remote Sensing* 28 (3-4). doi:10.1080/01431160600821127
- Exelis Visual Information Solutions, 2009. Atmospheric Correction Module ENVI Version 4.7: QUAC and FLAASH User’s Guide. Colorado: Exelis Visual Information Solutions. 43 p.
- ESA, 2011. Envisat-1 Products Specifications - Volume 11 – MERIS Products Specifications Issue 6. ESA – SERCO - VEGA
- ESRI 2013. ArcGIS Desktop: Release 10.2. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2006. State of world aquaculture 2006. FAO Fisheries Technical Paper No. 500. Rome, FAO. 145 p. [<http://www.fao.org/docrep/009/a0874e/a0874e00.htm>].

- Ferreira, J.G., A.J.S. Hawkins & S.B. Bricker. 2007. Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture – the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture*, 264: 160-174.
- Ferreira, J.G., Sequeira, A., Hawkins, A.J.S., Newton, A., Nickell, T., Pastres, R., Forte, J., Bodoy, A., Bricker, S.B., 2009. Analysis of coastal and offshore aquaculture: application of the FARM model to multiple systems and shellfish species. *Aquaculture* 289, 32–41.
- Gangnery, A., Chabirand, J.M., Lagarde, F., Le Gall, P., Oheix, J., Bacher, C., Buestel, D., 2003. Growth model of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, cultured in Thau Lagoon (Mediterranee, France). *Aquaculture* 215, 267–290.
- Garcia, H. E., R. A. Locarnini, T. P. Boyer, J. I. Antonov, O.K. Baranova, M.M. Zweng, J.R. Reagan, D.R. Johnson, 2014. World Ocean Atlas 2013, Volume 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Oxygen Saturation. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 75, 27 pp.
- Gyanesh Chander , Brian L. Markham, Dennis L. Helder. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*. Volume 113, Issue 5, 15 May 2009, Pages 893–903.
- Hoffmann, E.E., Powell, E.N., Klinck, J.M., Saunders, G., 1995. Modelling diseased oyster populations I. Modelling *Perkinsus marinus* infections in oysters. *Journal of Shellfish Research* 14 (1), 121–151.
- Holmer, M., Wildish, D., Hargrave, B.T. 2005. Organic enrichment from marine finfish aquaculture and effects on sediment biogeochemical processes, in: Hargrave, B.T. (Ed.), *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture*. Springer, Berlin, pp. 181–206.
- Inglis, G.J., Hayden, B.J., Ross, A.H., 2000. An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. NIWA Client report CHC00/69. 690 Christchurch, New Zealand. 31 pp.
- Kobayashi, M., Hoffmann, E.E., Powell, E.N., Klinck, J.M., 1997. A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture* 149, 285–321.
- Lall, S.P. 2013. Species profile: Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus, 1758). In *Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System* ([www.fao.org/fishery/affris/en/](http://www.fao.org/fishery/affris/en/)). Rome, FAO. E-mail: santosh.lall@nrc-cnrc.gc.ca
- Longdill, P.C., Healy, T.R., Black, K.P., Mead, S.T., 2007. Integrated sediment habitat mapping for aquaculture zoning. *Journal of Coastal Research* 50, 173–9.
- Mann, R., Burreson, E.M., Baker, P.K., 1991. The decline of the Virginia oyster fishery in Chesapeake Bay: considerations for introduction of a non-endemic species, *Crassostrea gigas* (THUNBERG, 1793). *Journal Shellfish Resource* 10, 379-388.
- McKindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T., Silvert, W., 2006. Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture* 261 (2), 451–462.

MINECON (Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción), 1995. Reglamento Sobre las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos, Decreto Supremo MINECON N° 355/1995, Santiago, Chile, Junio, 16 pp.

MINECON (Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción), 2007. R EX 3614-07 Propone Modificación de Áreas Apropriadas para el Ejercicio de la Acuicultura en la XI Región. Decreto Supremo MINECON N° 3614-07, Santiago, Chile, 10 pp.

MINECON (Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción), 2008. R. EX. N° 1904-08 Propone Modificación de Áreas Apropriadas para el Ejercicio de la Acuicultura en la X Región. Decreto Supremo MINECON N° 1904-08, Santiago, Chile, Junio, 5 pp.

NASA, 2015. NASA Ocean Biology (OB), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Ocean Color Data, Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. Maintained by NASA Ocean Biology Distributed Active Archive Center (OB.DAAC), Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

Qihao Weng. 2011. Advances in environmental remote sensing: sensors, algorithms, and applications. 545 pp.

Ren, J.S., Ross, A.H., 2001. A dynamic energy budget model of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Ecological Modelling 142, 105–120.

Roland, W., Brown, J., 1990. Production Model for Suspended Culture of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*. Aquaculture 87, 35-52.

Sapkota, A., Sapkota, A.R., Kucharski, M., Burke, J., McKenzie, S., Walker, P., Lawrence, R. 2008. Aquaculture practices and potential human health risks: Current knowledge and future priorities. Environment International 34: 1215-1226.

Sandwell, D. T., and W. H. F. Smith, Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge Segmentation versus spreading rate, J. Geophys. Res., 114, B01411, doi:10.1029/2008JB006008, 2009.

Sarp, G. 2014. Spectral and spatial quality analysis of pan-sharpening algorithms: A case study in Istanbul. European Journal of Remote Sensing 47: 19-28. doi: 10.5721/EuJRS20144702

SERNAPESCA (1991–2013). Anuarios estadísticos de pesca. Servicio Nacional de Pesca, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Gobierno de Chile.

Silva, C., J.G. Ferreira, S.B. Bricker, T.A. DelValls, L. Martín-Díaz & E. Yáñez. 2011. Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. Aquaculture, 318: 444-457.

Silva, C., Yáñez, E., Martín-Díaz, L., DelValls, T.A., 2012a. Assessing a bioremediation strategy in a shallow coastal system affected by a fish farm culture - Application of GIS and shellfish dynamic models in the Rio San Pedro, SW Spain. Marine Pollution Bulletin 64(4), 751-765.

SUBPESCA (Subsecretaría de Pesca), 2009. Geographic distribution of Management and Exploitation Areas for Benthic Resources. Chilean Undersecretariat for Fisheries. Available in <http://www.subpesca.cl/>

SUBPESCA (Subsecretaría de Pesca), 2010. Information and applications to obtain an aquaculture license. Chilean Undersecretariat for Fisheries. Available in <http://www.subpesca.cl/>.

SUBPESCA, 2014. Especies hidrobiológicas de Chile, Ostra Japonesa. Acceso el 30 de octubre 2014, <http://www.subpesca.cl/institucional/602/w3-article-846.html>.

Soto, D., J. Aguilar-Manjarrez, C. Brugère, D. Angel, C. Bailey, K. Black, P. Edwards, B. Costa-Pierce, T. Chopin, S. Deudero, S. Freeman, J. Hambrey, N. Hishamunda, D. Knowler, W. Silvert, N. Marba, S. Mathe, R. Norambuena, F. Simard, P. Tett, M. Troell & A. Wainberg. 2008. Applying an ecosystem based approach to aquaculture: principles, scales and some management measures. In: D. Soto, J. Aguilar-Manjarrez & N. Hishamunda (eds.). Building an Ecosystem Approach to Aquaculture. FAO/Universitat de les Illes Balears Expert Workshop. 7–11 May 2007, Palma de Mallorca, Spain. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings, No. 14. FAO, Rome, pp. 15–35.

Stumpf, R.P., K. Holderied, 2003, Determination of Water Depth with High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types, *Limnology and Oceanography*, 48(1):547-556.

Van der Veer, H.W., Cardoso, J.F.M.F., Van der Meer, J., 2006. The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research* 56, 107–124.

Vaquer-Sunyer, R., Duarte, C.M., 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 15452–15457.

Vezzulli, L., Moreno, M., Marin, V., Pezzati, E., Bartoli, M., Fabiano, M. 2008. Organic waste impact of captured-based Atlantic bluefin tuna aquaculture at an exposed site in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78: 369-384.

Vincenzi, S., Caramori, G., Rossi, R., De Leo, G.A., 2006. A GIS-based habitat suitability model for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a Mediterranean coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy). *Ecological Modelling* 193, 90–104.

Yáñez, E., Silva, C., Vargas, V. Lastra, J., Aguilera, J. 2014. “Asesoría en manejo e interpretación de imágenes satelitales de alta resolución aplicadas a labores de exploración del borde costero y cuerpos de agua donde se desarrolle la acuicultura”. Investigador Proyecto Id n°4728-114-lp13, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

## **ANEXO 1. ACTAS DE ACUERDO REUNIONES**



## Acta 1ª Reunión de Presentación y Coordinación

Proyecto FIP-2014-76 “Modelo e Implementación de un Sistema de Seguimiento y Vigilancia de Marea Roja al Sistema de Información Geográfica de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura”

**Fecha:** 6 de febrero de 2015.

**Hora:** 11:00 – 12:00 horas.

**Lugar:** Piso 19º Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Valparaíso.

**Asisten:** Álvaro Zabala (Subpesca), Claudio Silva (Jefe de Proyecto PUCV) y Malu Zavando (FIP)

Se contemplaron los siguientes puntos:

1.- Presentación general del Proyecto: Objetivos y Metodología

### Acuerdos

- La coordinación del proyecto por parte de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso estará a cargo de Claudio Silva y por parte de Subpesca de Álvaro Zabala.
- Se debe coordinar con Alvaro Zabala la entrega de los Barrios de interés en formato shape (\*.shp) o \*.KMZ.
- El curso de capacitación debe comenzar en el mes de junio (segunda quincena), a continuación del curso que actualmente se imparte en el marco del proyecto FIP2014-76, y de preferencia se debe realizar los días lunes o viernes y como alternativa el día miércoles. Se solicita que eventualmente se puedan realizar clases en jornada completa según la disponibilidad de tiempo de los profesionales a capacitar de Subpesca. Dicha solicitud queda sujeta a confirmación de disponibilidad de sala de la Universidad.
- Se fija para los primeros días de marzo la 2a reunión de Coordinación donde se presentarán las imágenes satelitales a utilizar en el Proyecto y la validación por el mandante, y se presentarán los

contenidos y programación del curso de capacitación "MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II".



## Acta 2ª Reunión de Coordinación

Proyecto FIP-2014-76 “Modelo e Implementación de un Sistema de Seguimiento y Vigilancia de Marea Roja al Sistema de Información Geográfica de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura”

**Fecha:** 11 de marzo de 2015.

**Hora:** 11:00 – 12:30 horas.

**Lugar:** Piso 19º Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Valparaíso.

**Asisten:** David Escobar (Jefe de UOT Subpesca), Álvaro Zabala (Subpesca), Claudio Silva (Jefe de Proyecto PUCV), y Felipe Sánchez (PUCV).

Se contemplaron los siguientes puntos:

- 1.- Presentación de las imágenes satelitales a utilizar en el Proyecto y validación por el mandante.
- 2.- Presentación contenidos y programación del curso de capacitación "MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II".

## Acuerdos

- A petición del mandante se hace un cambio en las horas de capacitación, acordándose lo siguiente:
  - Se disminuyen de 7 a 4 el número de horas de capacitación en la Unidad Temática 4 "Programación de módulos en IDL para ENVI".
  - Se aumentan de 6 a 8 el número de horas de capacitación en la Unidad Temática 8 "Aplicaciones en acuicultura".
  - Se aumentan de 7 a 8 el número de horas de capacitación en la Unidad Temática 3 "Imágenes satelitales de Resolución baja (sensores MODIS, VIIRS) y aplicación de variables ambientales (TSM, clorofila, etc.)".
- El mandante recomienda justificar en los informes porque se usa cierto tipo de imágenes en el proyecto.

- Realizar curso de capacitación de este proyecto FIP2014-77 una vez terminado el curso del proyecto FIP2014-76, debiendo empezar aproximadamente el 5 de Junio.
- Ver disponibilidad de horario de sala multimedia para el segundo semestre, sin embargo esta información no estará disponible hasta junio 2015.
- Se deben adquirir las licencias ENVI 5.1.
- Tratar de reservar día lunes para el horario del próximo curso, aunque dependerá de la disponibilidad de horario de la sala multimedia.
- Queda la posibilidad de adelantar clases, esto es hacer en una semana doble jornada.
- El mandante recomienda revisar la nomenclatura de las imágenes que se entregarán como bases de datos generadas en el proyecto.
- En reunión posterior, a realizarse en mayo del presente año, se revisarán y definirán las unidades programáticas del curso de capacitación con el objeto de enfocarse en aquellos contenidos y herramientas de más utilidad según los objetivos del proyecto.

**ANEXO 2. CARTA TIMBRADA Y RECEPCIONADA DE  
ENTREGA DE IMÁGENES SATELITALES**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
**CATOLICA**  
DE VALPARAISO

**ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

Valparaíso, 26 de Marzo de 2015

Señor

**LUIS CARROZA**

Director

Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura

**PRESENTE**

De mi consideración:

Tengo el agrado de hacer llegar a Ud. el Informe de Avance N°1, en 3 ejemplares impresos, correspondiente al proyecto **“Manejo e Interpretación de Imágenes Satelitales de Alta Resolución Aplicadas a las Labores de Exploración del Borde Costero y Cuerpos de Agua donde se Desarrolle la Actividad de Acuicultura (Fase II)”** (FIP N° 2014-77).

Cabe destacar, que de acuerdo a las bases y plan de trabajo se entregan 4 DVD que contienen: informe de avance N°1 en Ms Word y las imágenes Landsat 8 en bruto, con proceso pansharpening y cortadas por Barrio de interés.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

  
**Claudio Silva Gallinato**  
Jefe de Proyecto

cc.: archivo

**JENNIFER PACHECO**  
16.106.929 - 3  
SUBPESCA / FIP

**ANEXO 3. FACTURA DE ADQUISICIÓN 2 LICENCIAS ENVI Y  
CARTA DE ENTREGA DEL DVD CON EL SOFTWARE ENVI  
5.2 Y TIMBRE DE RECEPCIONADA POR SUBPESCA/FIP.**

**ESRI Chile S.A.**

COMERCIALIZACIÓN, COMPRA VENTA, IMPORTACIÓN, EXPORTACIÓN  
Y COMERCIO EN GENERAL, MANTENCIÓN DE EQUIPOS DE COMPUTACIÓN,  
ASISTENCIA TÉCNICA, SOFTWARE Y CAPACITACIÓN.

Marchant Pereira 201, Piso 9 y 10, Providencia, Santiago.  
Fono: (56-2) 4819000 - Fax.: (56-2) 4819099  
Email: info@esri-chile.com - Web: www.esri-chile.com



R.U.T. 76.504.980-6  
FACTURA ELECTRONICA

N° 2747

S.I.I. - SANTIAGO ORIENTE

Nombre: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO Fecha: 17/04/2015  
Dirección: Avda. Brasil N° 2950, Piso 2 R.U.T.: 81.669.200-8  
Comuna: Valparaíso Giro: Educación Superior  
Teléfono: 32-2273067 Vendedor: Francisca Estay  
C. de Venta: 30 DIAS  
Descripción: O/C. N° 17401 Corr.129

Por lo siguiente: a: ESRI CHILE S. A. DEBE

Cantidad	Descripción	P.Unit	Desccto.	Valor Total
2	Licencia Software ENVI Single Node. Incluye: Media KIT Envi 5.2  Observ.: Según Orden de Compra N° 17401 del 14.Abr.2015 y Ech/0415/2015 Cliente Final: Subpesca.  Atención: Sr.Claudio Silva	4,632,400		9,264,800
				Valor Total: 9,264,800

Son:  
ONCE MILLONES VEINTICINCO MIL CIENTO DOCE

Neto	9,264,800
Exento	
Desccto.	0.00 %
IVA (19%)	1,760,312
<b>Total</b>	<b>11,025,112</b>

PERSONA QUE RECIBE	
Nombre:	CLAUDIO SILVA
RUT:	8.790.045-8
Fecha:	17/04/2015
Recinto:	POU
Firma:	

El acuse de recibo que se declara en este acto, de acuerdo a los dispuesto en las letras b) del artículo 4° la letra c) del artículo 5° de la ley 19.983 acredita que la entrega de mercadería(s) o servicio(s) prestado(s) ha(n) sido recibido(s).

Timbre Electrónico SII



Res.N° 124 de 2010 Verifique documento en [www.sii.cl](http://www.sii.cl)

COBRO EJECUTIVO CEDIBLE



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
**CATOLICA**  
**DE VALPARAISO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**

**Valparaíso, 21 Abril de 2015.-**

**Señores**  
**Subsecretaría de Pesca**  
**Presente**

De mi consideración:

De acuerdo a las Bases Administrativas del proyecto FIP N° 2014-77 denominado "Manejo e Interpretación de Imágenes Satelitales de Alta Resolución Aplicadas a las Labores de Exploración del Borde Costero y Cuerpos de Agua donde se Desarrolle la Actividad de Acuicultura (Fase II)", tengo a bien a entregar a usted el DVD del software ENVI 5.2 adquirido en el marco del proyecto.

Sin otro particular, se despide atentamente

**Claudio Silva**  
**Jefe Proyecto**  
**PUCV**

Incl. Lo que indica  
c.c. Archivo

**JENNIFER PACHECO**  
**16.106.929 - 3**  
**SUBPESCA / FIP**

## **ANEXO 4. CONTROL DE ASISTENCIA CURSO**



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Claudio Silva/Viviana Vargas/José Lastra/Jaime Aguilera  
Fecha: 12 de junio de 2015  
Unidades: Unidad 1-26

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9			
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: José Lastra/Viviana Vargas  
Fecha: 19 de junio de 2015  
Unidades: Unidad 2

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10	Alon Brito Delgado		

Firma profesor



Manejo e interpretación de imágenes satelitales de alta resolución aplicadas a las labores de exploración del borde costero y cuerpos de agua donde se desarrolle la actividad de acuicultura -



Fase II - Proyecto FIP N°2014-77

CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jose Lastra y Viviana Vargas

Fecha: 26 de junio de 2015

Unidades: Unidad 2

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Daniel Bujes	16.484.124-3	
2	María José Sabathier	16.354.342-7	
3	David Escobar	12.640.269-4	
4	Jorge Naranjo	17.432.105-1	
5	Álvaro Zabala	7.170.711-3	
6	Camila Lagunas	15.331.856-5	
7	Vicente Valenzuela	15.077.524-8	
8	Fabiola Rodríguez	16.007.841-3	
9	<i>Prison Pinto Contreras</i>	<i>13.995.531-5</i>	

10 Jonathan Castillo.

16.724.240-5

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jaime Aguilera/Claudio Silva

Fecha: 3 de julio de 2015

Unidades: Unidad 3

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jaime Aguilera/Claudio Silva  
Fecha: 10 de julio de 2015  
Unidades: Unidad 3

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Viviana Vargas/Claudio Silva  
Fecha: 24 de julio de 2015  
Unidades: Unidad 3

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	—
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	JC
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	JC
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jaime Aguilera  
Fecha: 31 de julio de 2015  
Unidades: Unidad 4

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	—
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	—
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	—
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jaime Aguilera/Claudio Silva  
Fecha: 7 de agosto de 2015  
Unidades: Unidades 4 y 5

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	—
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	—
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	—
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jaime Aguilera/Claudio Silva

Fecha: 14 de agosto de 2015

Unidades: Unidades 4 y 5

ALUMNOS

Nº	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	—
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	—
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	—
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR: Jaime Aguilera/Claudio Silva/José Lastra

Fecha: 21 de agosto de 2015

Unidades: Unidades 6 y 7

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR José Lastra/Viviana Vargas  
Fecha: 28 de agosto de 2015  
Unidades: Unidad 7

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR José Lastra/Viviana Vargas  
Fecha: 4 de septiembre de 2015  
Unidades: Unidad 7

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor



MANEJO E INTERPRETACION DE IMÁGENES SATELITALES  
DE ALTA RESOLUCION APLICADAS A LA ACUICULTURA  
FIP 2014-77



CONTROL DE ASISTENCIA

CURSO

"MANEJO E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES APLICADAS A  
LA GESTIÓN TERRITORIAL DE LA ACUICULTURA FASE II"

PROFESOR Claudio Silva/Jaime Aguilera/José Lastra/Viviana Vargas

Fecha: 11 de septiembre de 2015

Unidades: Unidades 7 y 8

ALUMNOS

N°	NOMBRE COMPLETO	RUT	FIRMA
1	Castillo Perez Jonathan Andres	16.724.240-5	
2	Lagunas Lopez Camila Constanza	15.331.856-5	
3	Naranjo Castro Jorge Fernando	17.432.105-1	
4	Pinto Contreras Cesar Luis	13.995.531-5	
5	Rodriguez Lillo Fabiola Andrea	16.007.841-3	
6	Sabathier Durán Maria Jose	16.354.342-7	
7	Valenzuela Garcia Vicente Marcelo	15.077.524-8	
8	Zabala Vallejo Alvaro Mateo	7.170.711-3	
9	Bujes Vera Daniel Antonio	16.484.124-3	
10			

Firma profesor

## **ANEXO 5. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD**

Nombre	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Claudio Silva - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	15	15	15	15	15	15			10	10
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN	10	10	10	10	10	10				
	C. RECOPIACION DE DATOS	10	10	10	10	10	10				
	D. RECOPIACIÓN MATERIAL VISUAL										
	E. PROCESAMIENTO DATOS	5	5	5	5	5	5	5	5		
	F. ANÁLISIS INFORMACION	8	8	8	8	8	8	12	12	12	12
	G. ELABORACION INFORMES			10			10		10		10
		48	48	58	48	48	58	17	27	22	32

Nombre	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Eleuterio Yáñez - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN										
	C. RECOPIACION DE DATOS	4	4	4	4	4	4				
	D. RECOPIACIÓN MATERIAL VISUAL										
	E. PROCESAMIENTO DATOS										
	F. ANÁLISIS INFORMACION	7	7	7	7	7	7	7	7		
	G. ELABORACION INFORMES										
		16	16	16	16	16	16	12	12	5	5

Nombre	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Viviana Vargas - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN										
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN										
	C. RECOPIACION DE DATOS				5	5	5	5			
	D. RECOPIACIÓN MATERIAL VISUAL										
	E. PROCESAMIENTO DATOS				10	10	10	10	10		
	F. ANÁLISIS INFORMACION				6	6	6	6	6		
	G. ELABORACION INFORMES								10		10
		0	0	0	21	21	21	21	26	0	10

Nombre	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Jaime Aguilera - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	2	2	2	2	2	2	2	2		
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN										
	C. RECOPIACION DE DATOS	12	12	12	12	12	12				
	D. RECOPIACIÓN MATERIAL VISUAL										
	E. PROCESAMIENTO DATOS	14	14	14	14	14	14	14	14		
	F. ANÁLISIS INFORMACION	14	14	14	14	14	14	12	12	5	5
	G. ELABORACION INFORMES	6	6	6	6	6	6		10		8
		48	48	48	48	48	48	28	38	5	13

Nombre	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
José Lastra - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN										
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN										
	C. RECOPIACION DE DATOS				5	5	5	5			
	D. RECOPIACIÓN MATERIAL VISUAL										
	E. PROCESAMIENTO DATOS				10	10	10	10	10		
	F. ANÁLISIS INFORMACION				6	6	6	6	6	10	10
	G. ELABORACION INFORMES								10		15
		0	0	0	21	21	21	21	26	10	25

Nombre	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Felipe Sánchez - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN										
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN										
	C. RECOPIACION DE DATOS	12	12	12	5	5	5	5	5		
	D. RECOPIACIÓN MATERIAL VISUAL										
	E. PROCESAMIENTO DATOS	13	13	13	7	7	7	7	7		
	F. ANÁLISIS INFORMACION				6	6	6	6	6	5	
	G. ELABORACION INFORMES								10		10
		25	25	25	18	18	18	18	28	5	10