

INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL

ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR



Tesina de Licenciatura en Cartografía

Utilización de datos satelitales de color del mar para evaluar el posible impacto de la pesca comercial en el ecosistema de una zona vedada del Mar Argentino. Uso de polígonos de pesca de merluza

Alumno: Juan Carlos Garcia Ulibarri

Directora: Dra. Silvia Inés Romero

Noviembre 2021

Agradecimientos

A Silvia Romero, mucho más que una Directora, mi agradecimiento eterno por su apoyo y confianza en mis conocimientos, mis ideas y mi trabajo.

Gracias a mis colegas Noelia Delgadillo y Gabriel Álvarez, por su apoyo, ayuda y ojo crítico con esta tesina.

Y principalmente esta tesina no hubiera llegado a su fin sin el apoyo diario e insistencia de mis padres; mis hijos Frida, Gonzalo y Constanza; María Luján Rossi, cuyo acompañamiento diario es un regalo para mí, además de muchos familiares y amigos.

Índice

1. Contenido

1- Introducción.....	9
2- Marco geográfico.....	14
2.1 La Argentina y su espacio marítimo	14
2.2 Zona de estudio.....	16
3- Datos y métodos.....	19
3.1 Imágenes satelitales	19
3.1.1 Visualización.....	19
3.1.2 Procesamiento de datos.....	20
3.2 Paquetes de datos.....	20
3.3 Parámetros temporales.....	25
3.4 Tratamiento de imágenes satelitales y datos resultantes.....	26
3.5 Datos faltantes	31
3.6 Validación de la información satelital.....	33
4- Resultados y discusión	36
4.1 Datos carbono orgánico particulado (POC).....	36
4.1.1 Valor período 2002-2015	36
4.1.2 Valores anuales.....	36
4.1.3 Valores otoñales	37
4.1.4 Valores mes de abril	37
4.1.5 Valores mes de mayo.....	37
4.1.6 Valores período 8 días	38
4.1.7 Valores período anterior a la prospección	38
4.1.8 Valores prospección	38

4.1.9 Valores período posterior a la prospección	39
4.1.10 Discusión.....	39
4.2 Datos clorofila	41
4.2.1 Valor período 2002-2015	41
4.2.2 Valores anuales.....	41
4.2.3 Valores otoñales	42
4.2.4 Valores mes de abril	42
4.2.5 Valores mes de mayo.....	42
4.2.6 Valores período 8 días	43
4.2.7 Valores período anterior a la prospección.....	43
4.2.8 Valores prospección	43
4.2.9 Valores período posterior a la prospección	44
4.2.10 Discusión.....	44
4.3 Datos absorción de materia orgánica colorida y detritos (adg443)	46
4.3.1 Valor período 2002-2015	46
4.3.2 Valores anuales.....	46
4.3.3 Valores otoñales	47
4.3.4 Valores mes de abril	47
4.3.5 Valores mes de mayo.....	47
4.3.6 Valores período 8 días	48
4.3.7 Valores período anterior a la prospección	48
4.3.8 Valores prospección	48
4.3.9 Valores período posterior a la prospección	49
4.3.10 Discusión.....	49
4.4 Análisis conjunto de variables	51

5- Conclusiones	53
6- BIBLIOGRAFÍA WEB.....	56
7- BIBLIOGRAFÍA.....	58

Índice de figuras

Figura 1-1. Redes de pesca de arrastre.....	10
Figura 1-2. Descartes indiscriminados en una embarcación pesquera.....	14
Figura 2-1. Detalle de la delimitación de espacios marítimos.....	15
Figura 2-2. Plataforma continental de la República Argentina.....	16
Figura 2-3. Mapa de la zona de estudio.....	18
Figura 3-1. Galería de imágenes de OceanColor.....	27
Figura 3-2. Opciones de descarga de imágenes.....	27
Figura 3-3. Descarga de imagen SMI en formato .nc.....	28
Figura 3-4. Apertura de la imagen en la aplicación SeaDAS.....	29
Figura 3-5. Recorte geográfico del área de estudio.....	29
Figura 3-6. Imagen del polígono de estudio.....	30
Figura 3-7. Opción de datos estadísticos del área.....	30
Figura 3-8. Datos obtenidos en el área de estudio.....	31
Figura 3-9. Imágenes con datos faltantes	33
Figura 3-10. Validación in situ en SeaBASS.....	35

Índice de tablas

Tabla 1-1. Exportaciones de merluza en el período 2013 – 2018.....	13
Tabla 4-1. Datos POC. MODIS-Aqua, período 2002-2015.....	36
Tabla 4-2. Datos clorofila. MODIS-Aqua, período 2002-2015.....	41

Tabla 4-3. Datos Absorción de materia orgánica colorida y detritos. MODIS-Aqua, período 2002-2015.....	46
--	----

Índice de gráficos

Gráfico 4-1. Valores anuales POC.....	36
Gráfico 4-2. Valores otoñales POC.....	37
Gráfico 4-3. Valores interanuales de POC del mes de abril.....	37
Gráfico 4-4. Valores interanuales de POC del mes de mayo.....	37
Gráfico 4-5. Valores período de 8 días POC.....	38
Gráfico 4-6. Valores anteriores a la prospección POC.....	38
Gráfico 4-7. Valores durante la prospección POC.....	38
Gráfico 4-8. Valores post-prospección POC.....	39
Gráfico 4-9. Valores anuales clorofila.....	41
Gráfico 4-10. Valores otoñales clorofila.....	42
Gráfico 4-11. Valores interanuales de clorofila del mes de abril.....	42
Gráfico 4-12. Valores interanuales de clorofila del mes de mayo.....	42
Gráfico 4-13. Valores período de 8 días clorofila.....	43
Gráfico 4-14. Valores anteriores a la prospección clorofila.....	43
Gráfico 4-15. Valores durante la prospección clorofila.....	43
Gráfico 4-16. Valores post-prospección clorofila.....	44
Gráfico 4-17. Valores anuales absorción.....	46
Gráfico 4-18. Valores otoñales absorción.....	47
Gráfico 4-19. Valores interanuales de absorción del mes de abril.....	47
Gráfico 4-20. Valores interanuales de absorción del mes de mayo.....	47
Gráfico 4-21. Valores período de 8 días absorción.....	48
Gráfico 4-22. Valores anteriores a la prospección absorción.....	48

Gráfico 4-23. Valores durante la prospección absorción.....	48
Gráfico 4-24. Valores post-prospección absorción.....	49
Gráfico 4-25. Valores de POC entre el 14 de marzo y el 9 de junio de 2015.....	51
Gráfico 4-26. Valores de clorofila entre el 14 de marzo y el 9 de junio de 2015.....	52
Gráfico 4-27. Valores de absorción entre el 14 de marzo y el 9 de junio de 2015.....	52

Resumen

Las actividades antrópicas son la causa principal que compromete la salud de los océanos. Una de las más importantes es la pesca comercial, debido a la presencia de hasta cientos de buques operando en pequeñas zonas de pesca. Las series temporales de observación satelital del color del mar son una excelente herramienta para el estudio de la variabilidad en los ecosistemas marinos y el posible impacto de las actividades comerciales que a ellos afecta. Las autoridades que regulan la pesca comercial disponen las áreas de pesca activas, las zonas de veda y la prospección de áreas cerradas para estudiar el recurso. Esta tesina de grado se enfoca en el análisis de información satelital de color del mar proporcionada por imágenes ópticas y su variación antes, durante y al finalizar la apertura de una zona vedada a la pesca comercial. Se utilizan diferentes resoluciones temporales y distintos datos estadísticos como el promedio y los desvíos estándar correspondientes tomados de la misión MODIS-Aqua en el período 2002-2015. Los resultados no son concluyentes debido a la ocurrencia de un largo periodo con nubes, sin embargo, se logró idear un protocolo para continuar con esta línea de investigación. Recomendaciones que surgieron de esta tesina. 1) elegir más de un área de veda, 2) elegir áreas con aperturas en fechas o estaciones del año en las que dichas áreas se encuentren en promedio más despejadas de nubes, 3) agregar a las series temporales el uso de animaciones de imágenes de color real que permitan observar la dinámica de las nubes 4) tomar la apertura de una zona de veda planificada hacia adelante y hacer uso de aplicaciones de seguimiento de embarcaciones en tiempo real complementadas con detección con imágenes de radar.

1- Introducción

Una de las actividades más antiguas del hombre para procurarse de alimento fue la pesca. Desde tiempos inmemoriales el hombre miró hacia el agua en busca de sus recursos, ya sea como alimento personal o con fines comerciales. Podemos decir que la pesca es el principal y más antiguo factor modificador de los ecosistemas marinos (Hidalgo García, 2018). Los impactos se deben a la actividad pesquera en sí misma, a la falta de selectividad de las artes de pesca que afecta a las especies que coexisten con las especies objetivo o a la pérdida o abandono del equipo de pesca. Se pueden verificar varios casos en los cuales se afectan especies coexistentes. Los grandes vertebrados marinos, como las tortugas marinas, los mamíferos y las aves marinas, tienen poco o ningún valor comercial, pero se ven afectados, enredados o enganchados accidentalmente por artes de pesca destinados a la captura de especies más valiosas (Lewison et al. 2004). Los tiburones azules se capturan comúnmente como captura incidental en palangres dirigidos a especies de pez espada y atún en el Atlántico nororiental (Queiroz et al. 2012). A lo largo del frente de la plataforma patagónica, los albatros viajeros o errantes (*Diomedea exulans*) se solapan con las pesquerías de palangre dirigidas al bacalao austral (*Dissostichus eleginoides*), lo que podría conducir a un aumento de la mortalidad incidental de estas aves vulnerables (Xavier et al. 2004). Los sistemas de captura del pescado utilizados en la antigüedad fueron fundamentalmente cuatro, dependiendo su uso de las necesidades propias de la pesca y de la configuración de la costa y del fondo, la naturaleza de las aguas y el peso de la pesca a capturar (Martínez Maganto, 1992). Estos métodos eran pesca con caña y anzuelo, pesca con nasa, pesca con útiles punzantes y pesca con redes. Los equipos que conforman las redes se componen de un peso en su parte inferior, que permite el sostenimiento en forma vertical de la red (Feugère, 1992). En la actualidad se utilizan mayormente cadenas de plomo o acero que van barriendo el fondo del mar, mientras que en la parte superior de la red se encuentran una serie de boyas flotantes, para las cuales permiten la flotación y apertura de su boca por la cual ingresa el cardumen tal como se muestra en la **Figura 1-1**.



Figura 1-1. Redes de pesca de arrastre.

Se puede apreciar el sistema de pesos y boyas utilizado en este tipo de redes que optimiza la apertura de la boca de la bolsa para abarcar la mayor captura del recurso.

A medida que el hombre y los avances en tecnología fueron evolucionando se fue pasando de la pesca de subsistencia a la pesca artesanal, logrando una captura más efectiva y haciendo más vertiginosa la extracción (Morán-Angulo, 2008). Si bien no hay un origen definido los primeros registros de pesca industrial corresponden a la época de los vikingos, con las pesquerías noruegas de bacalao, a las pesquerías costeras de arenque en Europa, que se efectuaban desde la época medieval y la pesca de ballenas en el hemisferio norte a partir del siglo XVII (Saetesdal, 1992). Los primeros registros de reducción de capturas aparecen a comienzos de la década de 1890 en el Mar del Norte, afectando principalmente al bacalao, al arenque y a la platija (Symes, 1996). Dicha reducción en las especies capturadas se debía a la sobrepesca del recurso en algunos casos, o bien a la llamada pesca incidental o acompañante. Un esfuerzo de captura superior a la capacidad de recuperación de las poblaciones reduce

la abundancia de las especies, su potencial de desove y posiblemente sus parámetros poblacionales, como la velocidad de crecimiento, la edad de maduración, estructura de edades y tamaños y variabilidad genética. La sobrepesca transforma un ecosistema originalmente estable, maduro y eficiente en otro diferente y bajo condiciones de estrés. Según un estudio de la FAO (acrónimo en inglés de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) los descartes en las pesquerías marinas en el período 1992-2001 eran aproximadamente del 36 por ciento de las capturas mundiales de especies demersales (Kelleher, 2008). El descarte no se limitaba a las especies acompañantes, sino que también abarcaba a las mismas especies comercializadas si estas no presentaban, según criterios de las compañías pesqueras, un tamaño adecuado para garantizar un rendimiento económico satisfactorio al momento de su comercialización.

Con los primeros registros de pesca nacen las ciencias pesqueras y las primeras ordenaciones de pesca (Saetesdal, op. cit), cuyo objetivo es la búsqueda del nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el rendimiento máximo en peso de la pesquería (Sparre et al., 1995). Por este motivo surgen un conjunto de organismos que se dedican al estudio y regulación de la pesca comercial. En nuestro país el organismo regulador de la actividad pesquera es el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDeP), creado mediante la Ley 21.673 del 21 de octubre de 1977 sobre la base del Instituto de Biología Marina, creado en 1960 por un grupo de investigadores y docentes de diferentes Universidades Nacionales. En la actualidad es un organismo descentralizado dependiente del Ministerio de Agroindustria. Entre sus funciones se encuentra el asesoramiento que realiza a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de la Nación (SSPyA), al Consejo Federal Pesquero (CFP) y a la Cancillería Argentina en el uso racional de los recursos sostenibles con el objetivo primordial de preservar el ecosistema marino para las generaciones futuras, por lo cual efectúa estudios sobre la dinámica de poblaciones de peces, crustáceos y moluscos de interés pesquero enfocándose en aspectos tales como reclutamiento, crecimiento, mortalidad natural y por pesca, además de formular, ejecutar y controlar los proyectos de investigación en prospección, evaluación y desarrollo de pesquerías (<https://www.argentina.gob.ar/inidep/>). Entre otras funciones, realiza investigaciones ambientales que incluyen aspectos físicos y químicos del mar, y efectúa el análisis y el diseño de las artes y métodos de captura, teniendo por objetivo hacer que estas sean más eficientes. También se tiene en cuenta los aspectos económicos y sociales de la actividad pesquera, para lo cual se realizan análisis económicos de pesquerías y estimación de los indicadores de productividad, eficiencia y eficacia de la flota e industria (https://www.inidep.edu.ar/wordpress/?page_id=377). Para poder cumplir con las tareas mencionadas

este instituto posee tres buques de investigación pesquera (Capitán Cánepa, Dr. Eduardo L. Holmberg y Capitán Oca Balda) equipados para la exploración de extensas áreas marinas y costeras. En octubre de 2020 finalizó la construcción de un cuarto buque de investigación con tres laboratorios a bordo (Mar Argentino), el cual se encuentra realizando las pruebas de equipos en el mar y recorriendo los distintos dispositivos e instalaciones como paso previo a la entrega formal del buque (<http://argentina.gob.ar/noticias/el-buque-mar-argentino-se-incorpora-la-flota-del-inidep>).

Una de las resoluciones más comunes destinada a la protección del recurso es el cierre de una zona específica de pesca por una cierta cantidad de tiempo o la creación y regulación de una zona de veda permanente de captura. Antes de la apertura de una zona vedada el organismo determina la realización de una prospección, exploración del sector para descubrir la existencia del recurso, de la cual se analizan los datos de captura obtenidos para proponer la apertura o no apertura de dicha zona. Además, este organismo establece, mediante disposiciones de cierres, prospecciones y aperturas, en que zonas y en qué tiempos se puede realizar la actividad pesquera de recursos en peligro y regula las operaciones pesqueras de diversas formas, como limitando cupos o proponiendo zonas de prohibición de pesca por medio del marco legal correspondiente. Esto nace del estudio de los informes de las capturas a bordo, los cuales, al ser analizados determinan el camino a seguir. En el año 1986 el INIDeP comienza con el plan de observadores a bordo de la flota comercial, cuyo objetivo general es realizar el seguimiento de la actividad de los buques pesqueros con el objeto de obtener información de buena calidad, indispensable para la evaluación y administración del sistema ecológico en explotación que permita desarrollar una pesca responsable. Entre otras, es tarea de los observadores a bordo obtener y registrar datos sobre la operación pesquera, relevamiento que incluye procesos a bordo, información de latitud y longitud de los sitios de lance y captura, método de pesca utilizado teniendo en cuenta la efectividad de los dispositivos de selectividad, tiempo de arrastre, profundidad y, sobre todo, cantidad de captura por lance y producción diaria, edad, peso, talla y sexo de las especies capturadas, además de registrar la pesca acompañante y el descarte de especies no deseadas, realizando un muestreo biológico de capturas y desembarques. Dicha información tiene como objetivo el análisis de la operación de los buques de pesca y de las características de la captura obtenida en el área estudiada (Norbis, et al., 2003).

La pesca es desde hace muchos años una de las principales actividades económicas de la Argentina, teniendo en cuenta la gran cantidad de recursos económicos y laborales que genera. Predominantemente la especie que se captura es la merluza. Le siguen en importancia los moluscos (principalmente calamar)

y crustáceos (mayormente langostino), además de productos elaborados a partir de estas materias primas, como harinas y huevas de pescado. En la siguiente tabla podemos ver los valores exportados en el período 2013-2018.

Exportaciones complejo pesquero						
Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018
(Millones de dólares)	1.515	1.584	1.466	1.701	1.980	2.155
Variación año anterior (%)	-	4,55	-7,45	16,03	16,40	8,84

Tabla 1-1. Exportaciones de merluza en el período 2013 – 2018.

Se puede observar el crecimiento sostenidos de los valores en millones de dólares de las exportaciones de la industria pesquera en este período (Fuente INDEC).

La captura de la merluza siempre fue considerada la columna vertebral del sector pesquero argentino. La actividad se realizaba principalmente por medio de embarques desde la ciudad de Mar del Plata hasta fines de la década del '80. A partir de la década del '90 los embarques se fueron diversificando hacia los puertos patagónicos (Cañete, 2005). Además, el esfuerzo pesquero se verifica en la relación de la cantidad de recurso capturado por embarcaciones fresqueras y por buques congeladores. En el año 1987 los buques fresqueros desembarcaron el 70% de la merluza y los buques congeladores algo más del 20%, mientras que una década más tarde los fresqueros desembarcaron un 35% y los congeladores aproximadamente un 53%. En ese momento empezaron a hacerse evidentes las diferencias entre lo capturado en el mar y los desembarques en los puertos debido a la falta de una administración pesquera efectiva, a los descartes masivos del recurso y de las especies acompañantes (**Figura 1-10**), la subdeclaración y la corrupción en los controles pesqueros (Cañete, op.cit.). Esto ha redundado en una mayor mortandad debido a la pesca, lo que permite determinar que las biomásas reproductivas han decrecido.



Figura 1-2. Descartes indiscriminados en una embarcación pesquera.

El problema que nos proponemos estudiar es el del impacto (positivo o negativo) del manejo de la presión pesquera sobre un ecosistema. Para ello apuntamos a áreas especiales de manejo, como lo son las áreas de veda. El caso de estudio propuesto se basa en el Plan de prospección científica del recurso merluza en los polígonos de pesca 4159, 4262, 4261 y 4260 correspondientes al área de veda permanente Patagónica. La hipótesis de trabajo es que el color del mar medido satelitalmente mostrará cambios temporales en estas regiones que estarán asociados a los períodos de veda o de no veda. El objetivo general es el de testear la existencia de anomalías en el color del mar que pudieran atribuirse al esfuerzo pesquero.

2- Marco geográfico

2.1 La Argentina y su espacio marítimo

La Argentina tiene una superficie total de 3.761.274 km², de los cuales 2.791.810 km² corresponden al sector Continental y 969.464 km² corresponden al sector Antártico y a las Islas del Atlántico Sur. La longitud de sus costas es de 16.352 Km. de los cuales 5.117 Km. son continentales y 11.235 Km. son antárticos e insulares (<http://www.ign.gob.ar>). Su plataforma continental es de gran extensión, condición propicia para las especies demersales, aunque también tiene concentraciones importantes de peces pelágicos, siendo los recursos pesqueros de gran accesibilidad. Las aguas que cubren la plataforma son de origen subantártico, entrantes por el talud, las que se mezclan con aguas de descarga continental presentes a lo largo de la costa (FAO, 2005). El mar territorial argentino se extiende hasta una distancia

de 12 millas marinas a partir de las líneas de base que se establecen en la Ley N° 23.968. La Nación Argentina posee y ejerce soberanía plena sobre el mar territorial, así como sobre el espacio aéreo, el lecho y el subsuelo de dicho mar. Por su parte la zona contigua argentina se extiende más allá del límite exterior del mar territorial, hasta una distancia de 24 millas marinas medidas a partir de las líneas de base. En esta zona se ejercen los poderes fiscales y jurisdiccionales, preventivos y represivos en materia impositiva, aduanera, sanitaria, cambiaria e inmigratoria. La Zona Económica Exclusiva (ZEE) Argentina se extiende más allá del límite exterior del mar territorial, hasta una distancia de 200 millas marinas a partir de las líneas de base (**Figura 2-1**). En esta zona la Argentina ejerce derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales, de las aguas suprayacentes al lecho del mar y con respecto a otras actividades económicas tal como la producción de energía derivada de agua, de las corrientes y de los vientos. En la **Figura 2-2**, se puede observar la plataforma continental sobre la cual ejerce la soberanía nuestro país. Comprende el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial, y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio, hasta el borde exterior del margen continental (Proyecto Pampa Azul, 2015).

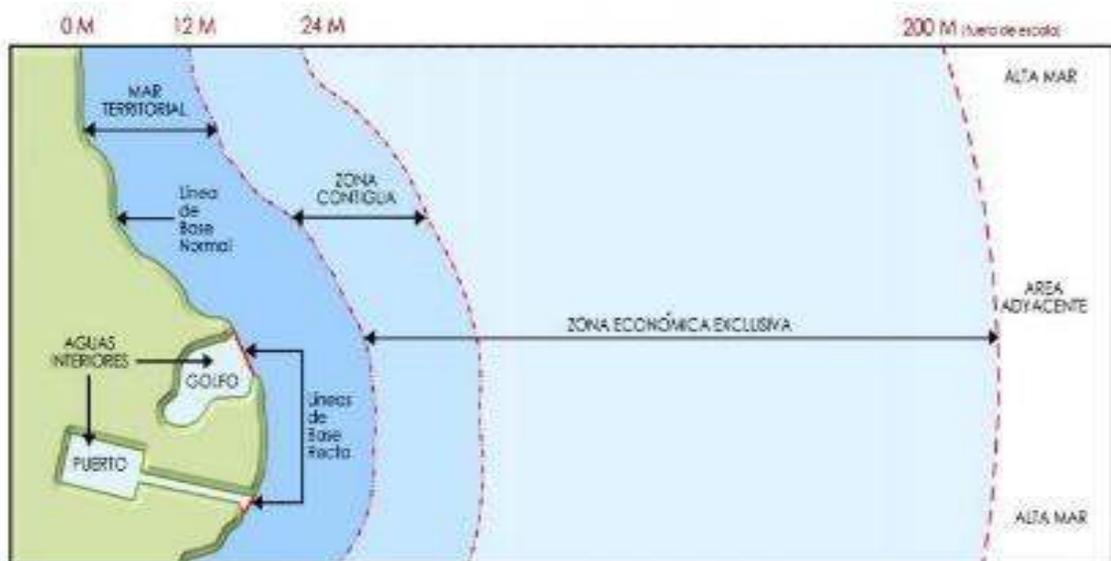


Figura 2-1. Detalle de la delimitación de espacios marítimos.

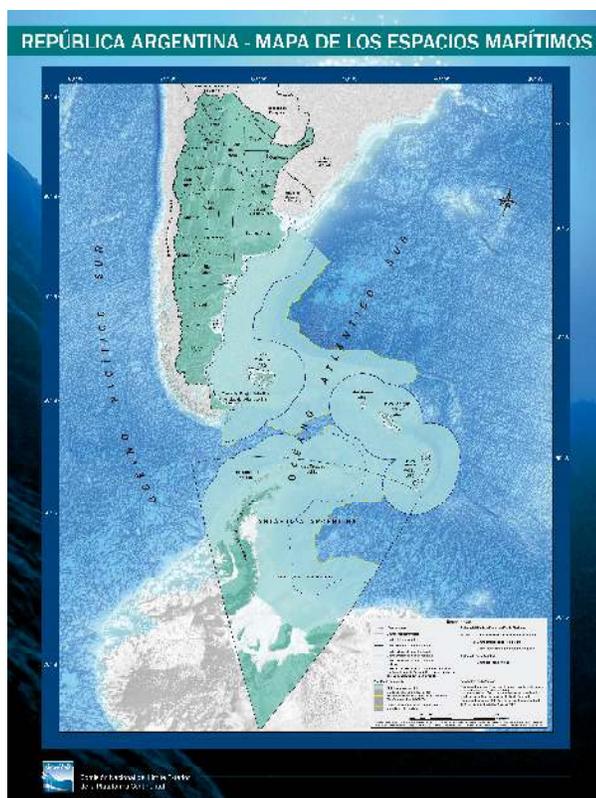


Figura 2-2. Plataforma continental de la República Argentina.

Límites exteriores marítimos. Sistema de Proyección: Proyección Acimutal equivalente de Lambert. Sistema Geodésico de Referencia: WGS84. Fuente: Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental (COPLA) <http://www.plataformaargentina.gov.ar/es/mapaPlataforma>

2.2 Zona de estudio

El Consejo Federal Pesquero en su acta N°11/2015 firmada el día 9 de abril de 2015, establece la prospección científica del recurso merluza común al norte del paralelo 43° de latitud Sur, según nota INIDEP DNI N° 48/2015 de la misma fecha remitiendo a la realización de un “Plan de prospección científica del recurso merluza (*Merluccius hubbsi*) en los rectángulos estadísticos 4159, 4262, 4261 y 4260 (**Figura 2-3**) correspondientes al área de veda permanente Patagónica”.

(<http://www.cfp.gob.ar/actas/ACTA%20CFP%2011-2015.pdf>).

Las condiciones establecidas para la realización de dicha prospección fueron las siguientes:

- Presentaciones hasta el día 15 de abril a las 16:00 en la DNCP (Dirección Nacional de Contrataciones Públicas).
- Una marea por buque.
- Cantidad de buques: de cinco (5) a ocho (8) buques.
- Fecha de inicio 20 de abril de 2015.
- Fecha de finalización 9 de mayo.

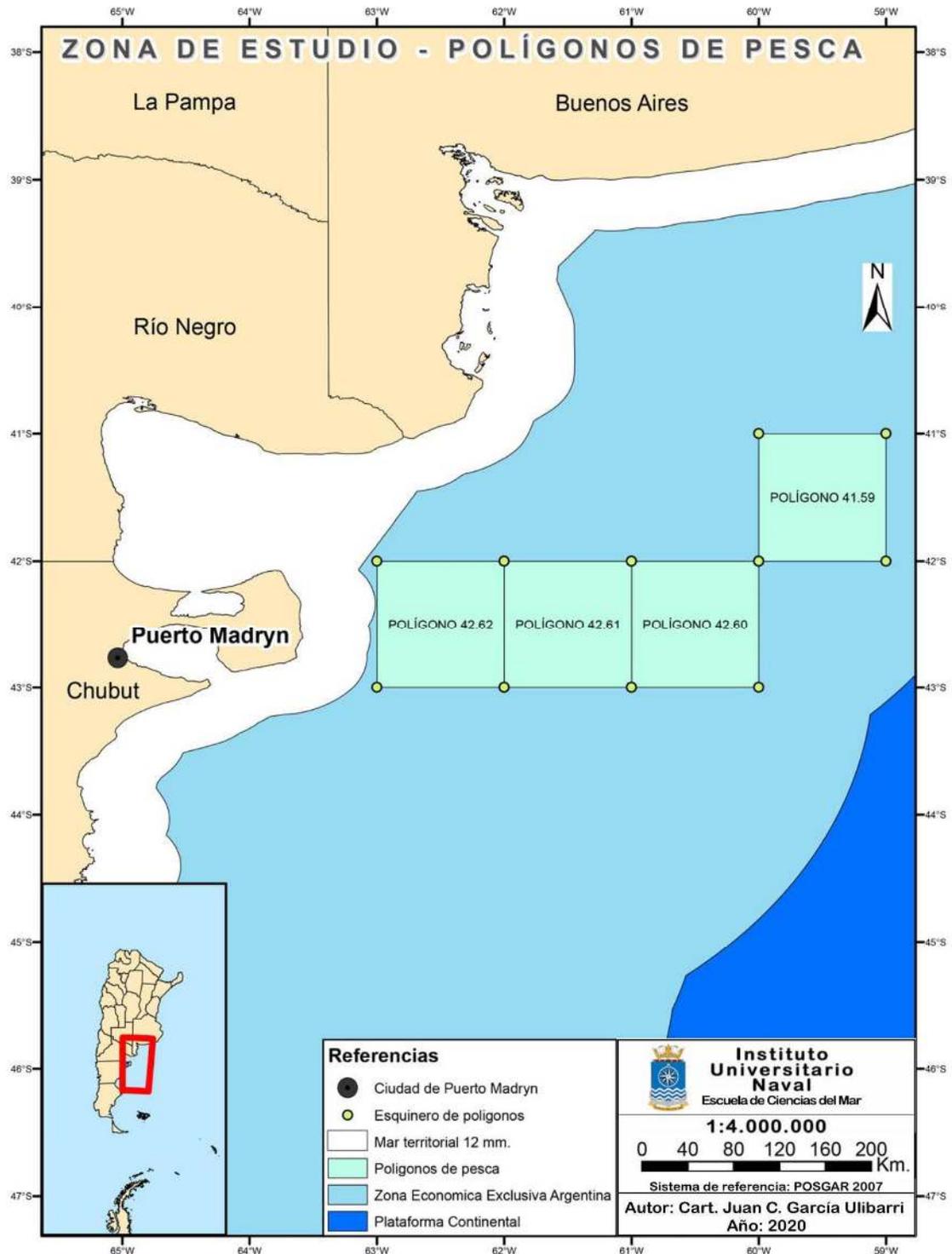


Figura 2-3. Mapa de la zona de estudio.

Confeccionado por el autor de esta tesina en el cual se marcan los polígonos de pesca habilitados para la realización de la prospección establecida por el Consejo Federal Pesquero.

3- Datos y métodos

El autor de este trabajo pasó casi 10 años trabajando en una empresa pesquera con asiento en el sur de la República Argentina. La característica de trabajo de estas compañías es obtener un mayor beneficio aún al extremo de minimizar los costos operativos al máximo, esto puede ser apreciado por cualquier persona que se acerque a alguno de los puertos argentinos. Allí se puede observar que el estado general de mantenimiento de la flota de barcos que poseen es la mínima imprescindible para mantener la flotabilidad segura y sólo se realizan las mejoras necesarias cada 5 años, que es cuando tienen por ley la obligación de hacerlo. Cuando se abren zonas amplias de prospección envían los barcos pesqueros lo más cerca posible de algún puerto para bajar el valor del gasto de combustible. Esto obedece a que la rentabilidad de la pesca en zonas vedadas es una incógnita por no tener asegurada la captura que llegue a cubrir los gastos que genera enviar un buque pesquero a una prospección. Por este motivo se toma para su estudio el cuadrante 42.62, el cual está comprendido dentro de los puntos geográficos 42° S 62° O, 42° S 63° O, 43° S 63° O y 43° S 62° O y es el que está más cercano a la línea de costa. Además, es el cuadrante de pesca más cercano al puerto comercial de la ciudad de Puerto Madryn, tal cual se puede ver resaltado en el mapa adjunto de las zonas de prospección (**Figura 2-3**). El puerto de esta ciudad presenta un gran movimiento de entrada, salida y amarra de buques de empresas pesqueras y es, junto con el puerto de la ciudad de Comodoro Rivadavia, uno de los dos más importantes de la provincia de Chubut.

3.1 Imágenes satelitales

En este estudio se analizan los datos obtenidos por medio del paquete integral de análisis para el procesamiento, visualización, y control de calidad de los datos de color del océano llamado SeaDAS. La última versión, denominada SeaDAS 7.5.3 se descarga a través del archivo ejecutable en el sitio <https://seadas.gsfc.nasa.gov/downloads/>. Presenta versiones para Linux, Mac 32 y 64 bits y Windows 32 y 64 bits.

El programa permite:

3.1.1 Visualización

- Rápida visualización y navegación de imágenes, incluso de imágenes giga-pixel.

- La gestión avanzada de capas permite agregar y manipular nuevas superposiciones, como imágenes de otras bandas, imágenes de servidores WMS o archivos de forma ESRI.
- Definiciones de región de interés para estadísticas y diversas funciones de trazado.
- Definición fácil de máscara de bits y superposición.
- Aritmética de bandas flexible usando expresiones matemáticas.
- Reproyección y ortorectificación de precisión para proyecciones de mapas comunes.
- Geocodificación y rectificación usando puntos de control de tierra.
- Enmascaramiento de tierra / agua.
- Almacenamiento y restauración de la sesión actual, incluidos todos los archivos, vistas y capas abiertos.

3.1.2 Procesamiento de datos

SeaDAS ofrece a los usuarios la capacidad de procesar datos satelitales de una serie de misiones de color oceánico (tanto estadounidenses como internacionales) a través de varios niveles de procesamiento. En esta tesis las capacidades del SeaDAS no fueron utilizadas al máximo, sin embargo se resumen para conocimiento general.

3.2 Paquetes de datos.

En este estudio se va a utilizar el nivel de procesamiento de datos denominado L3.

Los paquetes de datos que se analizarán son los siguientes:

- Absorción a 443nm de materia disuelta colorida y detritos del sensor Aqua MODIS (Aqua MODIS Absorption due to gelbstoff and detrital material al 443 nm, GIOP model, gelbstoff), variable medida en unidades de m^{-1} . Con este producto que no permite distinguir entre ambos componentes (absorción de material orgánico particulado no fitoplanctónico, es decir detritos más absorción de materia orgánica disuelta colorida, CDOM Coloured Dissolved Organic Matter) se pretende también detectar cambios en el dominio de estudio que resultarían del impacto

provocado por el descarte. La materia orgánica disuelta colorida (que por lo tanto absorbe energía visible y ultravioleta) es parte importante de la materia orgánica disuelta total que interactúa en forma directa o indirecta sobre los ciclos biogeoquímicos, incluidos aquellos que están relacionados con el clima. Es la parte ópticamente activa de la materia orgánica disuelta (DOM, dissolved organic matter). En general las mediciones de las concentraciones de DOM y CDOM se correlacionan (Tranvik, 1990). El CDOM aparece de forma natural principalmente en entornos acuáticos como resultado de la descomposición de materia orgánica particulada denominada detritos. El CDOM es un factor importante en la regulación de la penetración de la luz en el océano. Por un lado, este protege a los organismos acuáticos de una foto-degradación potencial, aunque por otra parte esta energía se pierde y deja de estar disponible para la fotosíntesis (Lehmann et al, 2004). Además, el CDOM puede disminuir las estimaciones de clorofila realizadas a partir de las imágenes por satélite (Nelson - Siegel, 2012), particularmente en las zonas cercanas a la costa, ya que se trata de aguas ópticamente complejas en las que es difícil separar la contribución de los distintos componentes a la absorción total de la radiación. Además de los aportes continentales, las principales fuentes de CDOM en el medio marino son diferentes, y se originan por diferentes procesos físicos y biológicos tales como: foto-blanqueamiento, foto-humificación o bio-generación que actúan como sumideros o fuentes de CDOM. El algoritmo utilizado devuelve entre otras varias variables la absorción marina espectral para los componentes de la columna de agua (p. Ej., Material orgánico disuelto colorido (CDOM) en m^{-1} calculados utilizando la configuración global predeterminada del modelo generalizado GIOP de las propiedades ópticas inherentes (Franz & Werdell, 2010).

La fórmula del algoritmo es la siguiente:

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + M_{dg}a_{dg}^*(\lambda) + M_{ph}a_{ph}^*(\lambda)$$

donde los subíndices w, ph y dg indican contribuciones del agua, del fitoplancton y del CDOM más partículas no algales, respectivamente. Es importante notar que el producto a_{dg} contiene también la contribución de las partículas no algales, es decir detritos. Si hubiera que validar con datos in situ, cosa que en esta tesis no se ha realizado por falta de datos en la región, el producto a_{dg} debería compararse con una muestra en la que se extrajera el material particulado no algal, se midiera el coeficiente de absorción y luego se le sumara la absorción del material disuelto colorido que quedara como resultado del filtrado y separación del material particulado. La

implementación de este algoritmo depende de la disponibilidad de teledetección remota (Rrs) en la región espectral ultravioleta visible (UV) <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/giop/>).

- Concentración de Clorofila del sensor MODIS, algoritmo OCx (Aqua MODIS Chlorophyll Concentration, OCx Algorithm), que es la concentración del pigmento fotosintético clorofila-a medido en mg/m^{-3} y se calcula usando una relación empírica derivada de las mediciones in situ de clorofila-a y las reflectancias estimadas por medición satelital (Rrs) en la región azul a verde del espectro visible. La implementación depende de la disponibilidad de tres o más bandas de filtros que abarquen el régimen espectral de 440 - 670 nm. El algoritmo es aplicable a todos los sensores actuales de Ocean Color. La implementación actual para el algoritmo de clorofila predeterminado emplea el algoritmo de relación de bandas estándar OC3 / OC4 (OCx dependiendo de que se usen datos del Sensor Modis o Seawifs) combinado con el índice de color (CI) de Hu et al. (2012). Como se describe en ese documento, este refinamiento se restringe a agua relativamente clara y el impacto general es la reducción de artefactos y sesgos en las estimaciones de clorofila en aguas claras debido al brillo residual, la luz difusa, los errores de corrección atmosférica y el sesgo blanco o errores lineales del espectro en Rrs. Según se implementó, el algoritmo difiere ligeramente de lo que se publicó en Hu, en que la transición entre CI y OCx ahora ocurre a $0.15 < CI < 0.2$ mg / m^3 para asegurar una transición sin problemas.

El algoritmo OCx es una relación polinomial de cuarto orden entre una razón de Rrs y clorofila

$$\log_{10}(chlor_a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left(\log_{10} \left(\frac{R_{rs}(\lambda_{blue})}{R_{rs}(\lambda_{green})} \right) \right)^i$$

donde el numerador $R_{rs}(\lambda_{blue})$ es la mayor de varios valores de entradas Rrs. Los coeficientes, a_0 - a_4 correspondientes al Sensor Modis (OC3) son los siguientes:

Azul	Verde	a0	a1	a2	a3	a4
443>488	547	0.2424	-27.423	18.017	0.0015	-12.280

(https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/).

El fitoplancton es la base de la vida marina y constituye el primer eslabón entre las reservas de nutrientes y la cadena trófica, de modo que su abundancia determina el estado de los ecosistemas oceánicos. El fitoplancton está compuesto de organismos que flotan en el mar y son los responsables de la absorción de la energía de la luz en el proceso de fotosíntesis en el océano. Crecen a expensas de nutrientes disueltos en el agua de mar y sirven de alimento a organismos de otros niveles tróficos (Carranza, 2009). El fitoplancton marino está constituido por microorganismos pigmentados, entre ellos la clorofila, que alteran las características ópticas del agua. Es posible estimar su abundancia mediante la medición de la radiación emergente de la capa superficial del mar. Las mediciones radiométricas satelitales del color del océano permiten estimar la concentración de clorofila en la superficie sobre áreas extensas y observar variaciones temporales (Carranza, Op. Cit.). En ambientes marinos la producción primaria es el resultado de las masas de agua y de las condiciones de luz y nutrientes (Picado et al., 2013). El fitoplancton está siempre presente en el agua, pero la luz del sol más fuerte en primavera hace que tengan lugar concentraciones de fitoplancton de gran intensidad durante esta época del año. Además de los espectaculares blooms primaverales también ocurren eventos similares durante el verano cuando, debido a las condiciones atmosféricas, tiene lugar el fenómeno de afloramiento o upwelling. Durante el otoño y el invierno las variaciones de clorofila dependen de factores varios, como los eventos de fuertes vientos en el océano, que mezclan las aguas superficiales con las aguas profundas (Álvarez et al., 2012). Un estudio de Marrari y otros (2019) vincula la relación entre la concentración de clorofila en la superficie del mar y el éxito reproductivo de la merluza mediante el estudio de datos satelitales que revelan altas concentraciones de clorofila en la superficie del mar durante la primavera y el verano, lo que favoreció la producción secundaria y llevó a una abundante presa zooplanctónica para las nuevas larvas en el momento de su aparición en diciembre – enero. Las mediciones a partir de imágenes satelitales de la clorofila-a son útiles en la estimación de la productividad biológica del océano, en los estudios biológico-pesqueros relacionados con el pronóstico de reclutamiento, supervivencia larval, áreas de desove, capturas y en el estudio de los cambios espacio- temporales en la abundancia de especies de interés comercial (Manzano-Sarabia et al., 2008). El Mar Patagónico es un ambiente marino muy productivo, con una concentración media de clorofila-a tres veces superior a la media de los océanos del mundo (Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia, 2008).

La clorofila es también un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas marinos y un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Pinto et al., 2001).

- Concentración de Carbono Orgánico Particulado del Aqua MODIS (Particulate Organic Carbon, D. Stramski, 2007, versión 443/555). El algoritmo utilizado devuelve la concentración de carbono orgánico particulado (POC) en mg/m^{-3} calculada usando una relación empírica derivada de mediciones in situ de POC y relaciones de banda azul a verde de reflectancia satelital (Rrs). El soporte para este algoritmo depende de la disponibilidad de bandas centradas en 443 en la región del azul y entre 547 y 565 nm en la región del verde.

$$poc = a \times \left(\frac{Rrs(443)}{Rrs(555)} \right)^b$$

donde

a= 203.2

b= -1.034

En los casos en los que Rrs (555) no está disponible, se estima una equivalencia a partir de la longitud de onda verde nativa más cercana. Las longitudes de onda de entrada utilizadas para Aqua Modis son 443 y 547.

[\(https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/poc/\)](https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/poc/).

El POC juega un papel importante en el ciclo biogeoquímico del carbono en el océano. Está vinculado con la producción, transferencia y descomposición de la materia orgánica en el ecosistema (Longhurst – Pauly, 1997). La mayor parte del POC de las aguas oceánicas se origina a partir del fitoplancton (Rullkötter, 2000) y se distribuye por procesos hidrodinámicos locales (Parsons et al, 1995). La composición química y distribución del POC son diferentes según el tamaño de sus partículas y su origen (Kolber et al, 2001). El tiempo de residencia del POC en el océano puede llegar a cientos de años en sedimentos como petróleo, en estructuras como corales y en el material refractario del sedimento del mar profundo. El tiempo de permanencia del POC en el océano influye en los procesos regulatorios del calentamiento global, ya que permiten el secuestro del carbono que se encuentra en la atmósfera (Fenchel, 2001). El detrito orgánico que

pasa desde la superficie del mar a través de la columna de agua hasta el fondo del mar controla la regeneración de nutrientes, alimenta la vida bentónica y afecta el enterramiento de carbono orgánico en el registro de sedimentos (Müller - Suess, 1979).

3.3 Parámetros temporales.

Los datos se analizarán en este estudio de la siguiente manera:

- Valores de tiempo de la misión que abarcan desde el 04-07-2002 hasta el 31-12-2015.
- Valores anuales (desde el 04-07-2002 hasta el 31-12-2002. Desde el 2003 hasta el 2015 los valores se toman desde el 01-01 hasta el 31-12 de cada año).
- Valores estacionales (se toman los datos del otoño, desde el 21-03 hasta el 20-06 de cada año entre 2003 y 2015).
- Valores mensuales (correspondientes a los meses de abril y mayo desde el año 2003 hasta el año 2015).
- Valores de 8 días correspondientes al período comprendido entre el 11 de febrero de 2015 y el 11 de julio de 2015, iniciando la serie de datos aproximadamente 70 días antes del inicio de la prospección y finalizando la serie de datos unos 60 días después de finalizada la misma.
- Valores de 8 días divididos individualmente en antes de la fecha de la prospección, durante la misma y posterior a su finalización.
- Valores de 8 días agrupados en antes de la fecha de la prospección, durante la misma y posterior a su finalización.

Los parámetros MODIS-Aqua del período 2002-2015 que se escogen para la analizar en esta muestra son los siguientes:

- 1 Valor mínimo
- 2 Valor máximo

- 3 Promedio: Es la media aritmética de todos los valores relevados. Su cálculo es muy sensible a los valores extremos.
- 4 Mediana: Es el valor medio de una serie de datos al estar estos ordenados creciente o decrecientemente. Si la cantidad de valores es impar este queda en el medio de todos los datos. Si la cantidad de valores es par la mediana es el promedio simple entre los dos guarismos centrales.
- 5 Sigma: También llamada desviación estándar. Es un valor que indica el grado de dispersión de los datos respecto de la media aritmética o promedio. Si la desviación estándar es baja la mayor parte de los datos tienden a estar cerca del promedio. Si la misma es alta los datos están más dispersos (Bacchini et. al., 2018)

Con el fin de detectar posibles cambios en la época de apertura de la zona de veda, se procederá a calcular y analizar el promedio espacial de los datos en el polígono de estudio y su desvío estándar. Luego se compararán con los datos promedio de la misión para la misma época.

3.4 Tratamiento de imágenes satelitales y datos resultantes.

Desde el sitio del navegador de datos de nivel 3 de OceanColor (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>) se seleccionan las imágenes teniendo en cuenta el tipo de imagen (estándar, provisional, de prueba o especial), el sensor de adquisición de los datos, el producto a analizar, el período de tiempo y la resolución de la imagen, en este trabajo se utilizaron imágenes de 4Km, resolución espacial que, en principio, permitiría detectar cambios producidos en el color del mar como impacto de los descartes de los barcos pesqueros que ingresan en la zona de veda. Asimismo, posee un filtro de fechas en el cual se puede elegir un rango temporal para acotar la búsqueda de las imágenes (**Figura 3-1**).

Level-3 Browser

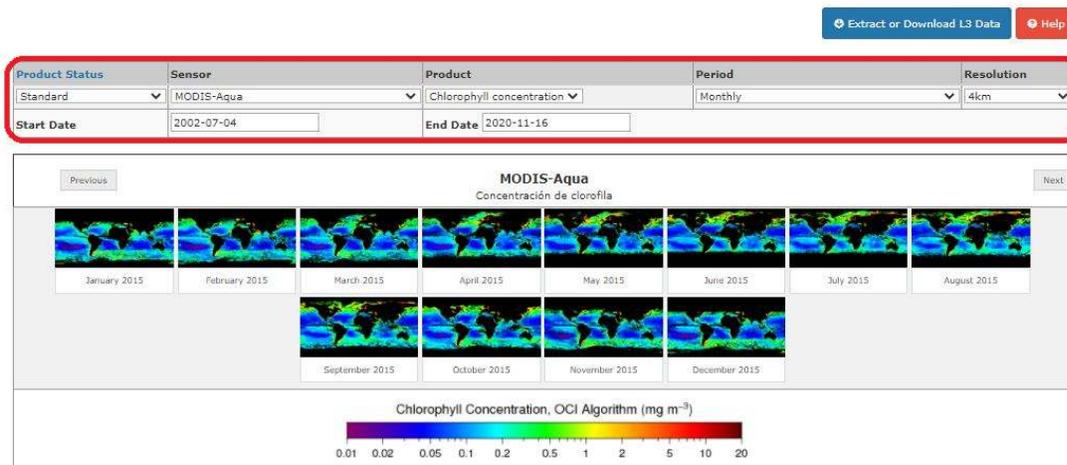


Figura 3-1. Galería de imágenes de Ocean Color.

Una vez seleccionada la imagen elegida se despliegan todas las opciones de descarga, según sea su formato SMI o BIN. Otra opción es descargar solamente un archivo .png de imagen con opciones de 4 y 9 km. por píxel. Para este estudio se selecciona el formato SMI (Standard Map Images). Este objeto es una matriz bidimensional de proyección cilíndrica equidistante (también conocida como Platte Carre) del globo. Se procede a la descarga del archivo en formato Netcdf (Network Common Data Form, Formulario de datos comunes en red) con extensión .nc (**Figura 3-2**). Este formato de 64-bit almacena datos multidimensionales de clorofila-a, POC y adg entre otros.

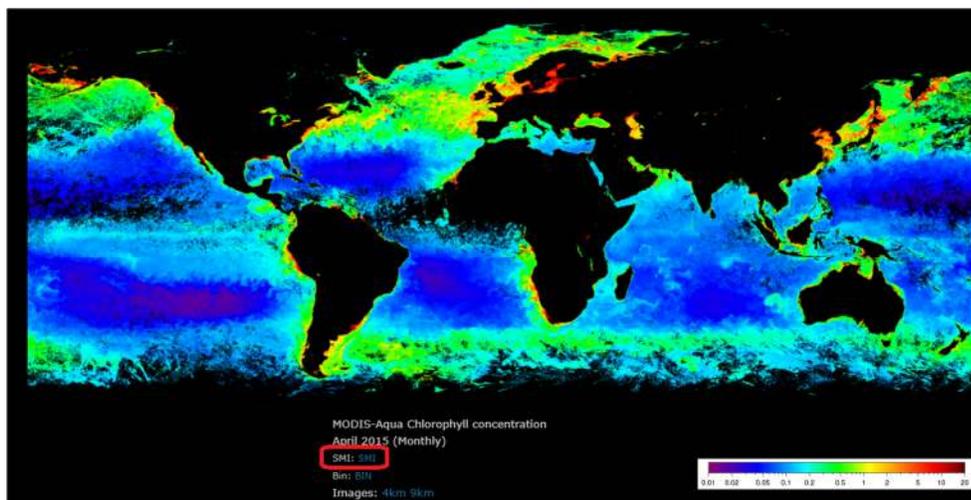


Figura 3-2. Opciones de descarga de imágenes.

Las imágenes vienen con una nomenclatura descriptiva de su contenido. Se toma como ejemplo la **Figura 3-3** en la cual se descarga el archivo A20150912015120.L3m_MO_CHL_chlor_a_4km.nc. La letra A se refiere al sensor utilizado (MODIS-Aqua), los siguientes catorce dígitos corresponden al período de tiempo que abarca la imagen en año y día juliano (desde el día juliano 091 de 2015 hasta el día juliano 120 de 2015). Además, el nombre indica que es una imagen mapeada de nivel 3 (L3m), que es mensual (MO, por monthly), que pertenece al producto clorofila-a (CHL) y menciona el algoritmo utilizado para la captura de datos (chl_ocx). Finalmente, los últimos tres dígitos del nombre indican la resolución espacial que posee cada píxel de la imagen elegida (4km).

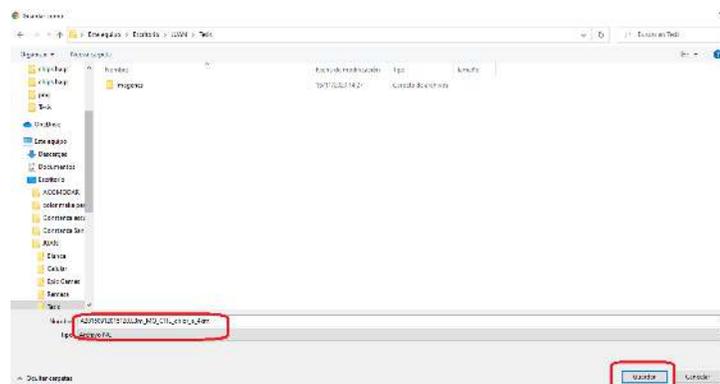


Figura 3-3. Descarga de imagen SMI en formato .nc.

Cada una de estas imágenes se abre con la aplicación SeaDAS, que despliega los metadatos (atributos globales y de banda) y rásters con la imagen en proyección cilíndrica equidistante del planisferio (**Figura 3-4**).

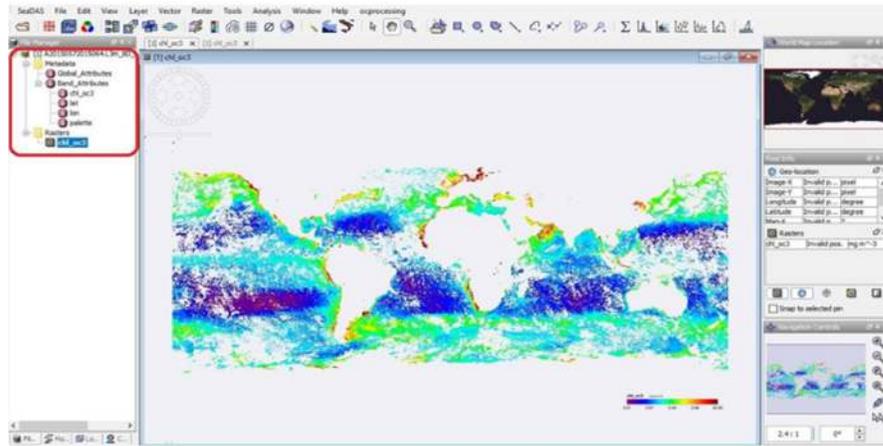


Figura 3-4. Apertura de la imagen en la aplicación SeaDAS.

De esta imagen se hace un corte con la opción “Crop a file to create a new file” utilizando como extremos norte y sur las coordenadas geográficas de latitud y como límites este y oeste las coordenadas de longitud del polígono que se va a analizar (**Figura 3-5**).

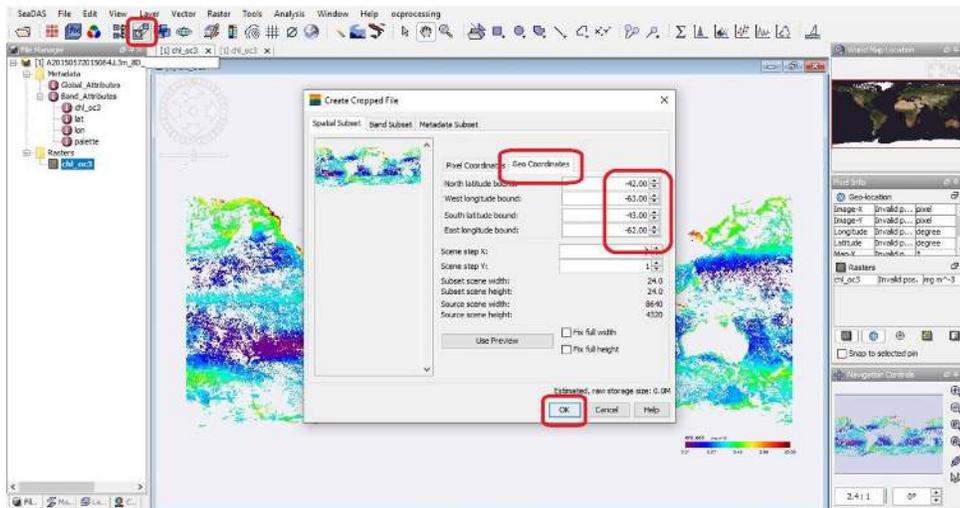


Figura 3-5. Recorte geográfico del área de estudio.

El resultado de este recorte muestra la imagen del polígono de estudio coincidente con el polígono de pesca 42.62 Los metadatos y rásters se agregan en la aplicación a continuación de los abiertos con anterioridad, como se puede apreciar en la **Figura 3-6**.

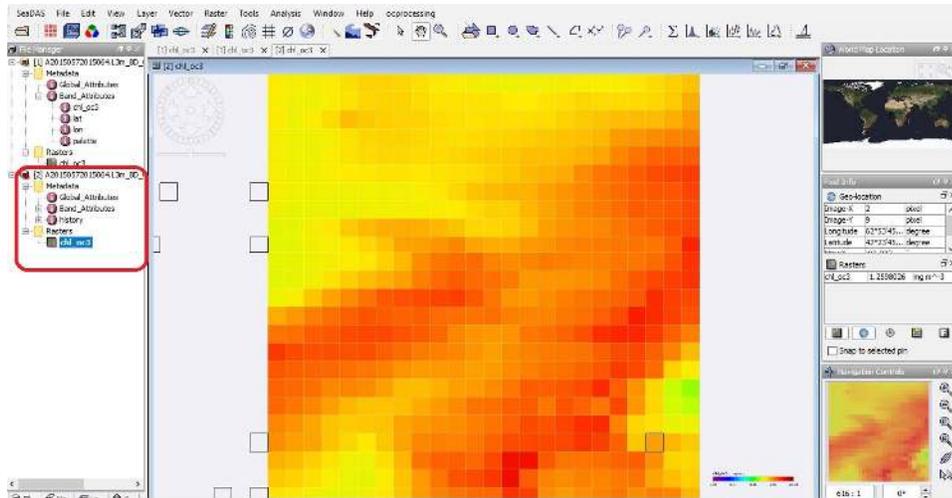


Figura 3-6. Imagen del polígono de estudio.

Con la imagen del polígono abierta se selecciona a continuación la opción que observamos en la **Figura 3-7** denominada “Display Statistics for a selected band”, con ella se despliegan variados valores estadísticos, entre los que se encuentran los que se van a analizar a partir del **Capítulo 4 (Figura 3-8)**.

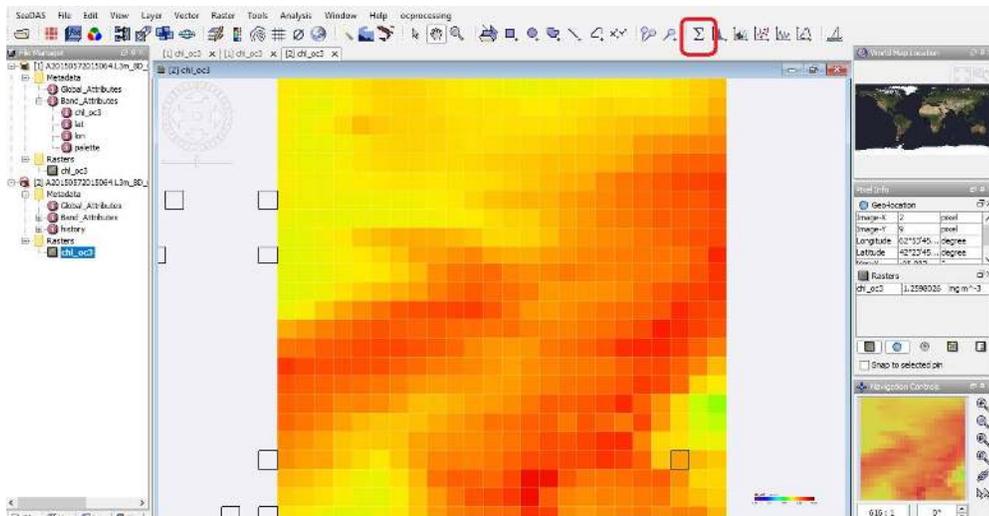


Figura 3-7. Opción de datos estadísticos del área.

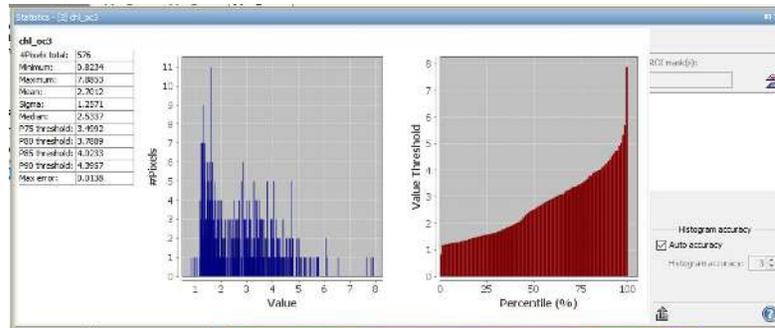


Figura 3-8. Datos obtenidos en el área de estudio.

En una planilla Excel se almacenan los datos estadísticos deseados para poder graficar y analizar las distintas conductas del valor promedio y su comportamiento al tomar en cuenta el valor del desvío estándar.

3.5 Datos faltantes

Se deja constancia de que en la búsqueda de la información se presentó un contratiempo. No siempre fue posible tomar el 100% de los datos de la zona. Si se analizan los valores promedio que se obtuvieron en las imágenes satelitales de 8 días, se puede apreciar que en el momento en el cual se realizó la prospección la disponibilidad de datos disminuyó sensiblemente. En el período comprendido entre el 23 de abril de 2015 (3 días después del inicio de la prospección) y el 30 de abril de 2015 la cantidad de datos relevados fue mucho menor, ya que en esos días se obtuvieron valores en solamente 113 de los 576 píxeles que abarcan el área de estudio (aproximadamente un 20% de los valores de la zona), mientras que los restantes píxeles se presentaron sin dato. Asimismo, en las mediciones registradas entre el 1 de mayo y el 8 de mayo de 2015 fueron utilizables 511 píxeles del total de 576 que conforman el dominio de estudio (aproximadamente el 89% de los datos). Como ha sido mencionado anteriormente uno de los factores principales que puede explicar la falta de datos es que la zona estuviera afectada por intensa nubosidad que no permite el registro válido de la información por parte del sensor óptico. También se debe destacar que entre el 10 y el 17 de junio de 2015 no tuvimos valores de referencia disponibles para las tres variables estudiadas. La variable absorción (adg443 nm) tampoco ofreció valores válidos para analizar en el período de 8 días entre el 26 de junio y el 3 de julio de 2015, particularidad que no ocurrió en las

otras dos variables que se estudiaron. Para completar los datos faltantes se suman los obtenidos de la información proporcionada por el sensor VIIRS/JPSS. El conjunto de imágenes y radiómetros visibles e infrarrojos (VIIRS, acrónimo de Visible and Infrared Imager/ Radiometer Suite) es un instrumento multidisciplinario que está insertado en la serie de naves espaciales del Sistema Conjunto de Satélites Polares (JPSS, Joint Polar Satellite System), incluida la Asociación Nacional de Orbita Polar Suomi (S-NPP, Suomi National Polar-orbiting Partnership) que se lanzó en octubre de 2011. JPSS es un programa multiplataforma y de múltiples agencias que consolida la nave espacial de órbita polar de la NASA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration). S-NPP es la nave espacial inicial de esta serie, y VIIRS es el sucesor de MODIS para la generación de productos de datos de ciencias de la Tierra. VIIRS tiene 22 bandas espectrales que van desde 412 nm a 12 μ m. Hay 16 bandas de resolución moderada (750m en el nadir), 5 bandas de resolución de imagen (375m) y una banda día-noche. El set de datos está cubierto desde el 2 de enero de 2012 (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/viirs-snpp/>).

Para poder apreciar la diferencia de datos capturados se toman dos imágenes de clorofila, una con 572 píxeles de datos válidos de un total de 576 correspondientes al período comprendido entre el 15 y el 22 de abril de 2015 y la anteriormente mencionada del 23 al 30 de abril de 2015. Se puede observar en la **Figura 3-9** una gran parte de píxeles sin datos (máscara blanca) en el área de estudio que representa la parte de la imagen con datos no válidos para el análisis.

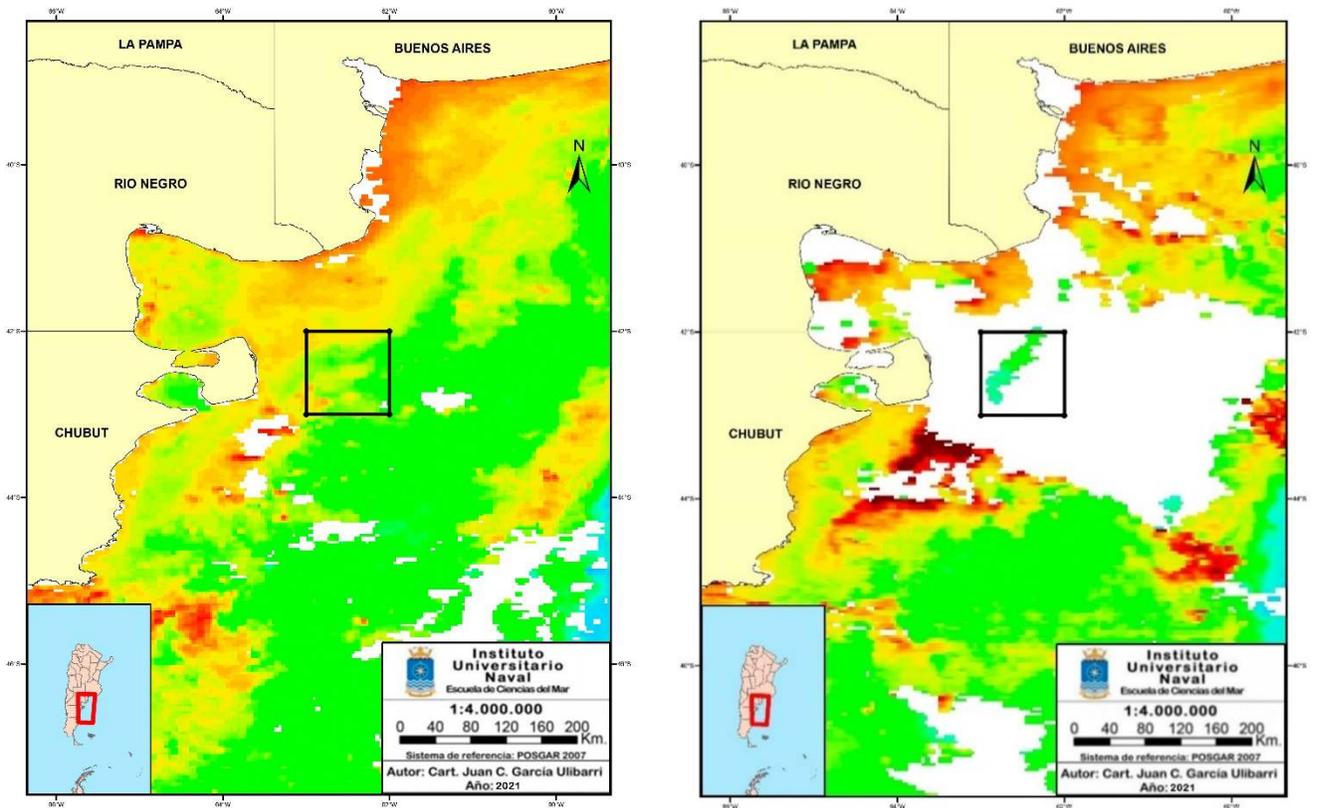


Figura 3-9. Imágenes con datos faltantes.

La imagen del panel izquierdo es la media semanal correspondiente al 15-22 de abril de 2015 con mayoría de datos válidos del área de estudio. La imagen del panel derecho corresponde a la semana del 23-30 de abril de 2015, se observa una gran zona de color blanco, que representa los píxeles con datos no válidos, enmascarados por el procesamiento nivel 3 de NASA.

3.6 Validación de la información satelital.

En esta tesis no se contó con datos in situ para realizar validaciones. Sin embargo, se explica en esta sección la herramienta de validación que la NASA posee en la que pueden verse los resultados de validaciones con datos in situ de distintas partes del mundo. Este sistema de validación SeaBASS está diseñado para proporcionar comparaciones entre mediciones in situ y observaciones satelitales coincidentes de instrumentos de color del océano. Los resultados se muestran y distribuyen a través de un motor de búsqueda basado en la web disponible a través de la NASA para evaluación de mediciones satelitales y rendimiento de los algoritmos. El sistema está basado en tres pasos:

- Montaje de datos in situ: Los envíos archivados en SeaBASS son la fuente principal de datos que se utilizan para el análisis de validación. Estos datos son proporcionados por investigadores

financiados por la NASA, así como por colaboradores y contribuyentes voluntarios estadounidenses e internacionales. Una vez que los datos se han archivado en SeaBASS y se han puesto a disposición a través del motor de búsqueda de archivos, se inicia un proceso separado en el que las mediciones relevantes para el satélite se ponen en cola para una evaluación adicional de idoneidad para su inclusión en el conjunto de datos de validación.

- Reducción de datos y procesamiento de datos in situ para que sean coherentes con el producto satelital: La filosofía rectora del sistema de validación de datos es seleccionar la mejor comparación disponible entre cada observación satelital y la medición in situ correspondiente por tiempo y ubicación. Para lograr este principio, el conjunto de datos de validación se construye reduciendo las mediciones realizadas en una estación determinada a una muestra representativa (Werdell & Bailey, 2005). Si hubo mediciones repetidas se selecciona un solo dato, y las variables como las mediciones de pigmentos replicadas se promedian mediante ponderación (Gordon & Clark, 1980). Para simplificar el uso de mediciones de longitud de onda específicas, se generalizan y reasignan las mediciones multiespectrales dentro de ± 3 nm. del centro de la banda más cercana a la longitud de onda del satélite (es decir, sin transformar los datos), y se conservan los registros de todas las longitudes de onda originales.
- Preparación de imágenes de satélite coincidentes: El software L2gen (disponible para correr en el SEADAS) se utiliza para producir datos satelitales determinados que coinciden con la parte in situ del conjunto de datos de validación. Los emparejamientos de datos satelitales se crean siguiendo los métodos de Bailey y Werdell (2006) y los resultados entre mediciones coincidentes in situ y de satélite se ponen a disposición del público a través del motor de búsqueda. Se indica la versión de reprocesamiento del satélite, y los resultados de la validación se evalúan y reprocesan cada vez que el DAAC de biología oceánica de la NASA (OB.DAAC) publica una versión de reprocesamiento actualizada para un sensor de satélite compatible. Las mediciones de satélite se derivan de un cuadro de píxeles (es decir, 5×5) centrado sobre la ubicación de la medición in situ. El valor del satélite se define como la media filtrada de píxeles no marcados en el cuadro, y se evalúa la homogeneidad espacial y otros criterios de calidad en el punto de validación. El píxel más cercano a la ubicación in situ no tiene que ser si o si válido, siempre y cuando haya suficientes píxeles válidos en la caja de 5×5 que cumpla con el requisito de homogeneidad. Dado que los datos in situ rara vez se miden en el momento preciso en que un satélite ve su ubicación, se permite un umbral de ventana de tiempo alrededor de las

observaciones in situ. Se utiliza una ventana de ± 3 horas alrededor de los puntos de validación. La longitud de esa ventana debe abarcar un rango lo suficientemente corto como para minimizar las diferencias debido a la variabilidad temporal en el océano, y ser lo suficientemente largo como para crear un volumen suficiente de emparejamientos exitosos con observaciones satelitales. Se requiere que cada observación satelital sea completamente única, sin píxeles en común con ningún otro punto de validación. Múltiples archivos de satélite por sensor por punto, así como múltiples mediciones in situ por caja de satélite (5×5) se reducen a puntos de validación únicos utilizando los siguientes enfoques: evitar fuentes de archivos de satélite no óptimas (Se descarta el uso de productos satelitales de resolución reducida siempre que sea posible), evitar múltiples pasos elevados de satélite por punto in situ (solo se selecciona una medición exitosa evaluando las diferencias de tiempo entre los pares satelital e in situ) y evitar la superposición de observaciones satelitales.

(https://seabass.gsfc.nasa.gov/wiki/validation_description).

En <https://seabass.gsfc.nasa.gov/search#val> se realiza la búsqueda de información in situ para validación de las mediciones satelitales correspondientes al polígono de estudio desde el 14 de marzo hasta el 29 de junio de 2015 sin obtener resultados (**Figura 3-11**). La falta de datos in situ para validar es irreparable en el caso de un análisis cuantitativo. Sin embargo, en el caso de nuestro análisis, en el que se intentan detectar cambios temporales en las variables satelitales centrados en la fecha de la prospección en época de levantamiento de la veda, la falta de validación no es preocupante, ya que la idea es ver máximos y mínimos relativos.

MOOS-Agua vs. In situ	
Search Criteria	
Date	1995-01-01 to 2015-12-31
Time Interval	1995-01-01 to 2015-12-31
Depth	40
Station	10
Lat	18
Lon	100
Altitude	0 to 1000
Clear all filters	
No results found	

Figura 3-10. Validación in situ en SeaBASS.

4- Resultados y discusión

4.1 Datos carbono orgánico particulado (POC)

En esta sección se muestran los gráficos de la variable satelital que representa al material orgánico particulado. Luego de la sucesión de gráficos y tablas se procede al análisis de los mismos a través de una discusión (ver Sección 4.1.9)

4.1.1 Valor período 2002-2015

La **Tabla 4-1** muestra los datos obtenidos de POC en el período 2002-2015 por la misión MODIS-Aqua, medido en mg/m^{-3} .

Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Sigma
268,60	337,40	303,18	303,27	10,84

Tabla 4-1.

4.1.2 Valores anuales

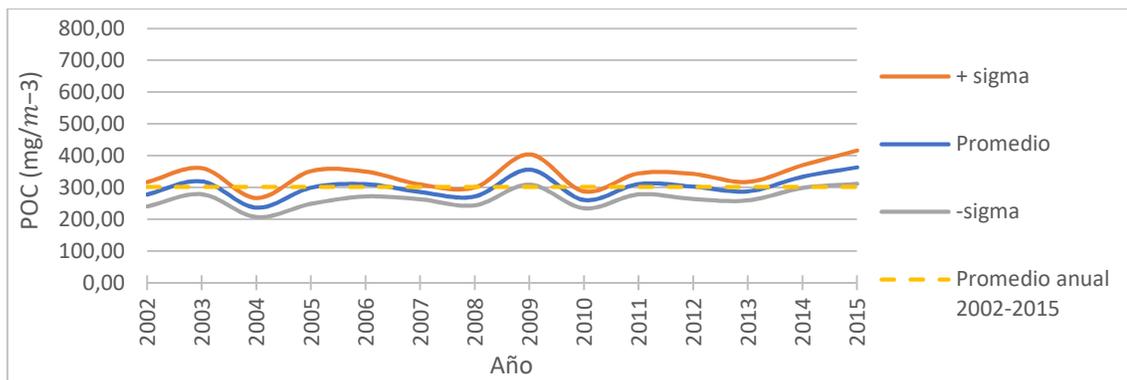


Gráfico 4-1.

4.1.3 Valores otoñales

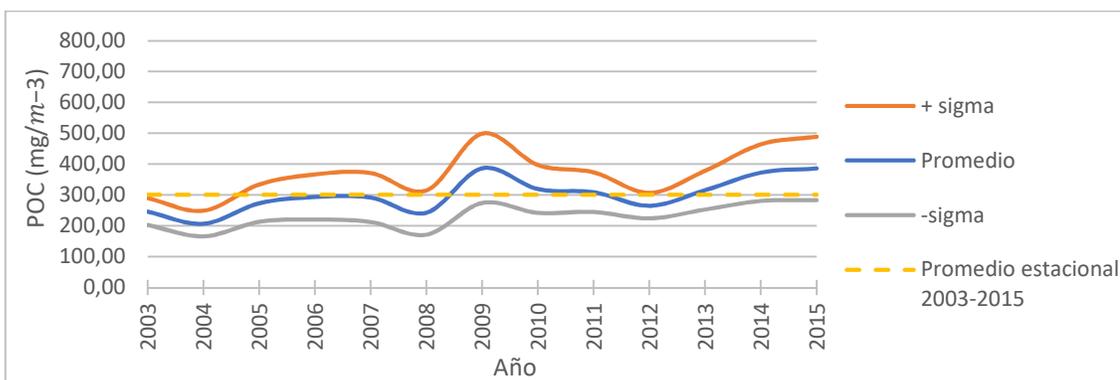


Gráfico 4-2.

4.1.4 Valores mes de abril

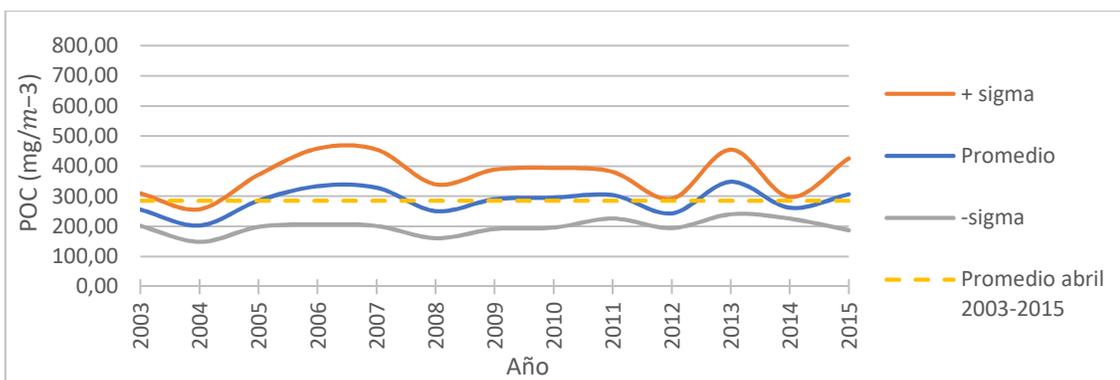


Gráfico 4-3.

4.1.5 Valores mes de mayo

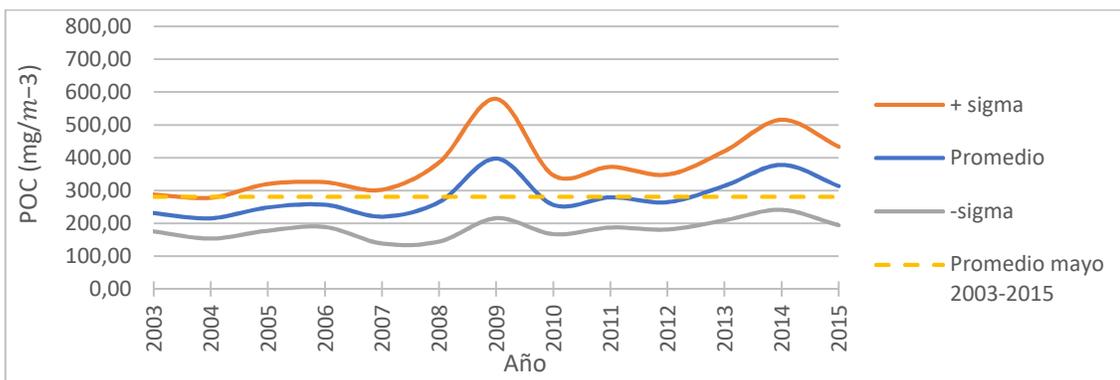


Gráfico 4-4.

4.1.6 Valores período 8 días

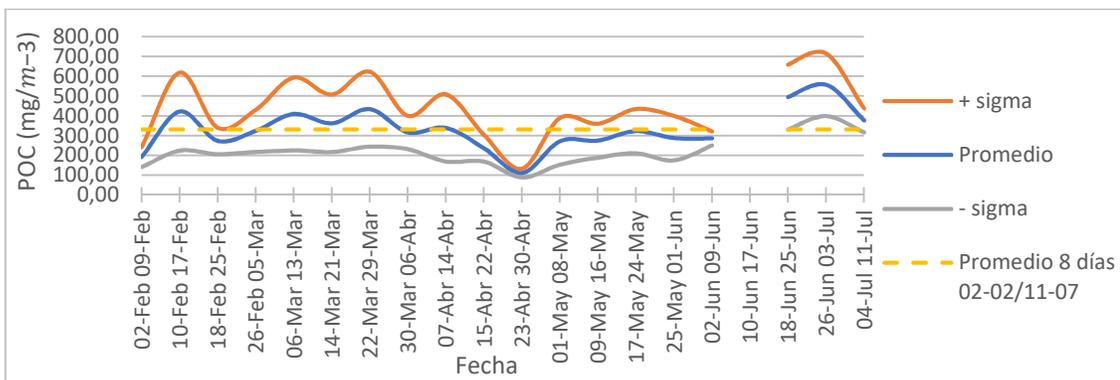


Gráfico 4-5.

4.1.7 Valores período anterior a la prospección

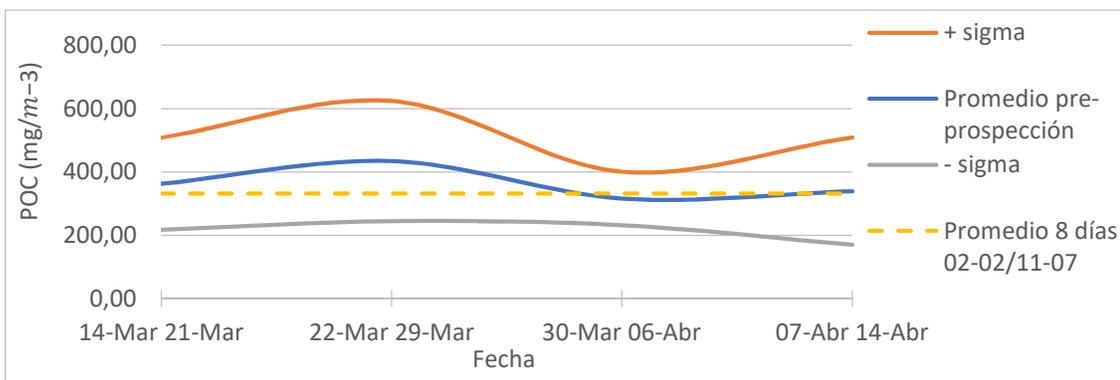


Gráfico 4-6.

4.1.8 Valores prospección

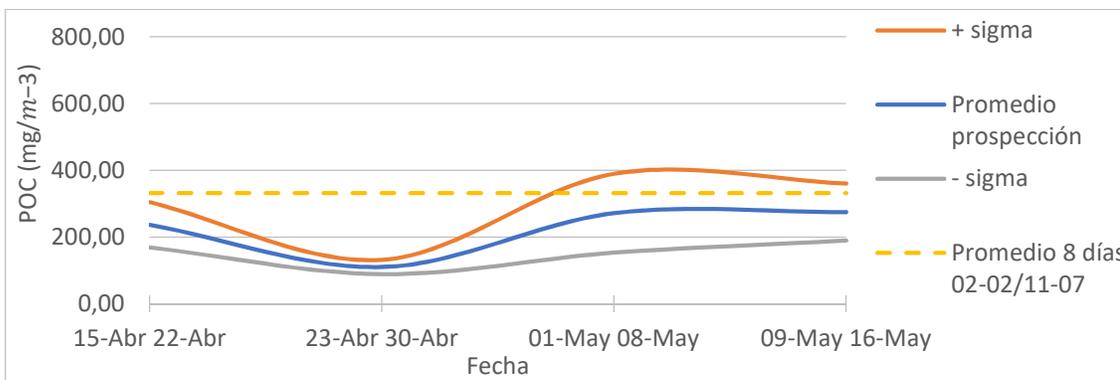


Gráfico 4-7.

4.1.9 Valores período posterior a la prospección

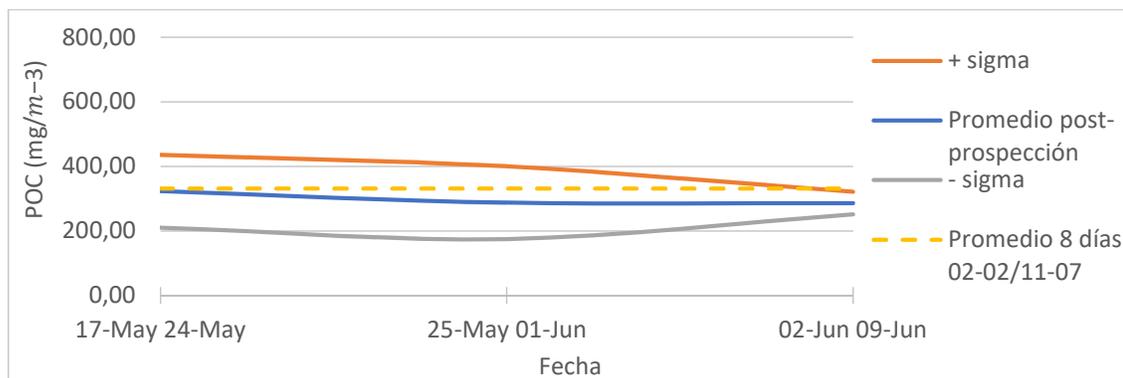


Gráfico 4-8.

4.1.10 Discusión

Analizando los datos obtenidos en períodos de año calendario se puede ver en el **Gráfico 4-1** que durante el año 2015 el valor promedio fue superior a casi todos los años anteriores, incluso el valor con el menor desvío estándar supera ampliamente el promedio anual en el tiempo observado, el escenario descrito solamente se repitió en el año 2009 como se puede ver en el mismo gráfico. El resto de los años presenta un promedio muy cercano al valor tomado como referencia.

Se observan en el **Gráfico 4-2** los valores obtenidos para la estación del año estudiada (otoño en el hemisferio sur marzo-junio). Es posible apreciar que hasta el año 2009 los valores de POC de cada otoño se encuentran por debajo del promedio de otoño 2003-2015. En los otoños de los años 2009 y 2015 los valores crecen considerablemente, aunque se debe destacar que los desvíos estándar no superan al promedio de los valores estacionales.

Si se tienen en cuenta los meses coincidentes con la fecha de apertura de la zona de veda estudiada se ve que en abril los valores promedio de POC son superiores a la media de la misión en los años 2006, 2007 y 2013, mientras que, en los años 2004, 2008 y 2012, los valores promedio son inferiores al abril promedio 2003-2015, especialmente en el primero de los casos (**Gráfico 4-3**). Los valores generales indican que en el mes de mayo el POC se mantiene por debajo del promedio de referencia, salvo en los años 2009 y 2014, y en menor medida en el año 2015, momento de la prospección, momento en el cual se ve una tendencia creciente de abril a mayo, el promedio asciende de $307,17 \text{ mg/m}^{-3}$ a $314,28 \text{ mg/m}^{-3}$ (**Gráfico 4-4**).

Para analizar las imágenes de 8 días se toma como referencia el promedio obtenido desde el 2 de febrero hasta el 11 de julio de 2015. Se puede apreciar en el **Gráfico 4-5** que en febrero y marzo los valores son superiores al valor tomado, mientras que en abril y mayo se da un resultado inverso, por debajo del promedio. Finalmente, en junio y julio los valores vuelven a subir. Entre el 23 y 30 de abril los datos de POC descienden significativamente, mientras que entre el 10 y 17 de junio no se contó con información por datos faltantes (lo cual fue descrito en el capítulo 3).

El **Gráfico 4-6** muestra los valores medidos en el período anterior a la prospección se puede observar que el valor promedio de POC parte de un valor alto, aproximadamente un 30% por encima del valor promedio de los datos tomados cada 8 días ($434,43 \text{ mg/m}^{-3}$ frente a $331,55 \text{ mg/m}^{-3}$), pero posteriormente se ubica debajo del mismo promedio, por lo que decrece considerablemente su valor. Llegando al final del período tomado como de pre-prospección se observa que ambos promedios se emparejan casi totalmente.

Desde el arranque de la prospección se puede apreciar que el valor promedio de POC se reduce drásticamente, al punto que llega a ser un tercio del valor promedio de los datos tomados cada 8 días. A partir de ese momento el promedio toma una curva creciente, aunque la misma no llega a tocar el valor que se toma como referencia (**Gráfico 4-7**).

Luego de realizada la prospección se puede observar en el **Gráfico 4-8** que el promedio del período se estabiliza y no se aleja demasiado del valor promedio de los datos tomados cada 8 días. Incluso en el último valor analizado el nivel de emparejamiento de los datos es tal que el valor promedio y los valores considerando los desvíos estándar son casi los mismos, no se observan valores muy diferentes del valor promedio.

Como conclusión se puede decir que los valores no presentan una tendencia inequívoca con el correr de los años, pero se puede apreciar que en el año 2015 todos los valores son superiores al promedio 2002-2015, que es el tomado como referencia en este análisis.

4.2 Datos clorofila

En esta sección se muestran los resultados de la variable satelital que representa a la clorofila. Luego de la sucesión de gráficos y tablas se procede al análisis de los mismos a través de una discusión (ver Sección 4.2.9).

4.2.1 Valor período 2002-2015

Los valores de clorofila obtenidos por MODIS-Aqua en el período 2002-2015, medidos en mg/m^{-3} , presentan el siguiente resultado, que se observa en la **Tabla 4-2**:

Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Sigma
1.24	2.30	1.82	1.87	0.32

Tabla 4-2.

4.2.2 Valores anuales

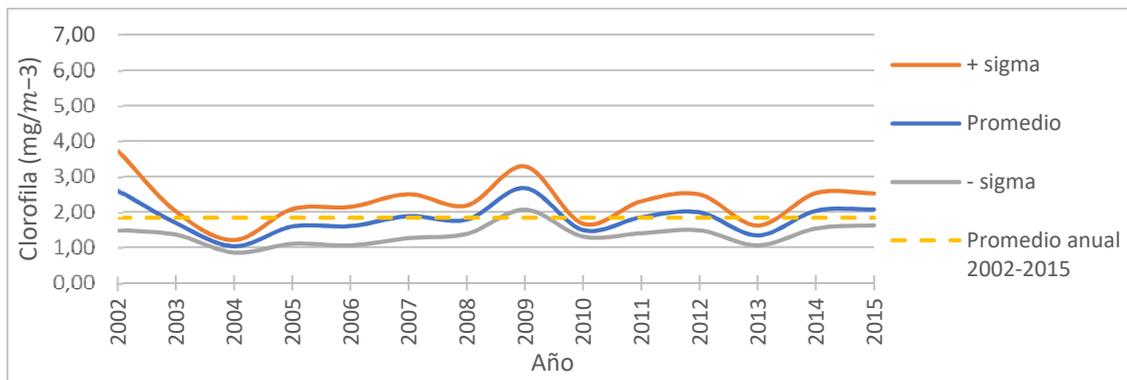


Gráfico 4-9.

4.2.3 Valores otoñales

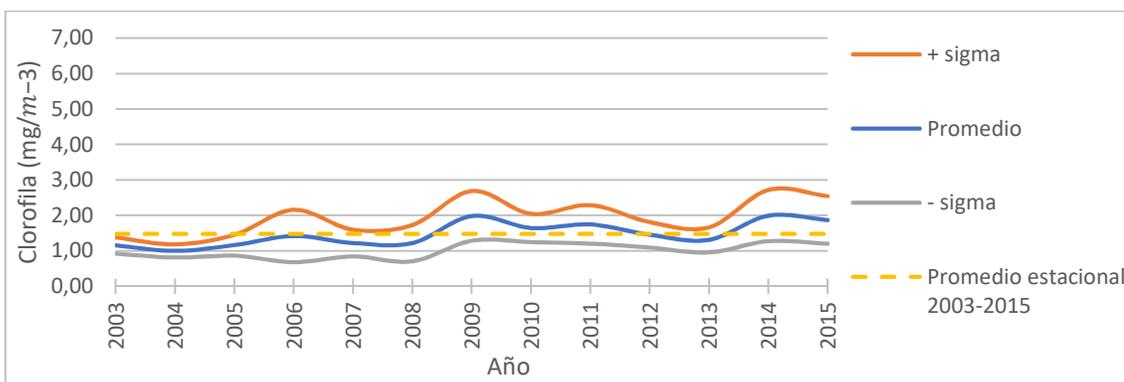


Gráfico 4-10.

4.2.4 Valores mes de abril

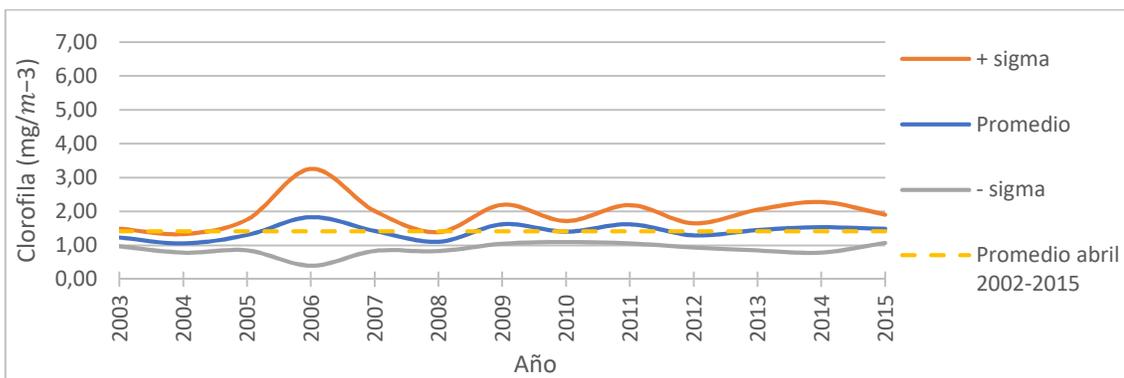


Gráfico 4-11.

4.2.5 Valores mes de mayo

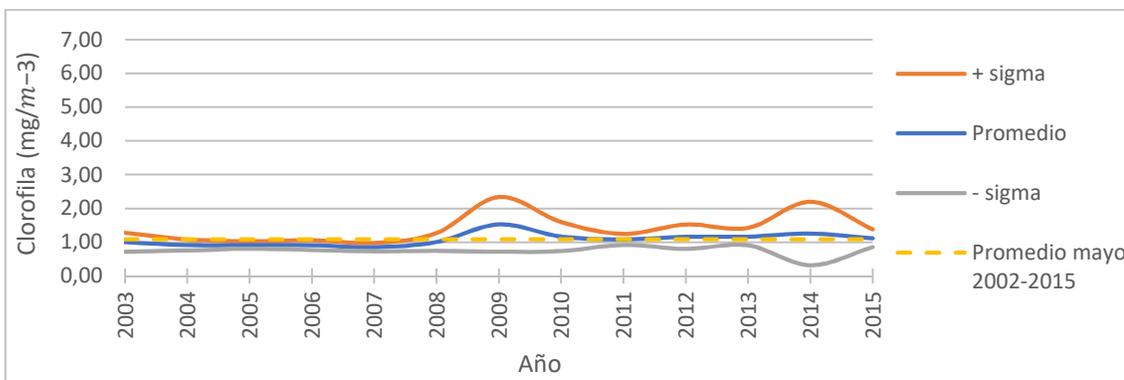


Gráfico 4-12.

4.2.6 Valores período 8 días

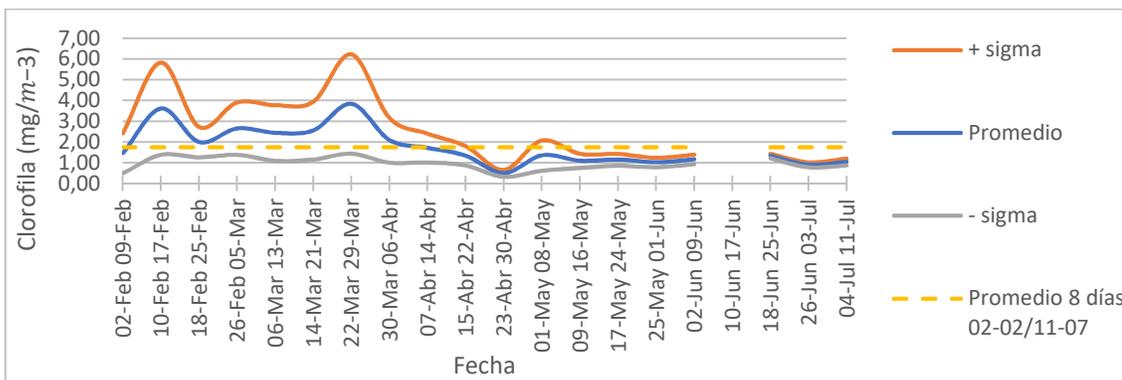


Gráfico 4-13.

4.2.7 Valores período anterior a la prospección

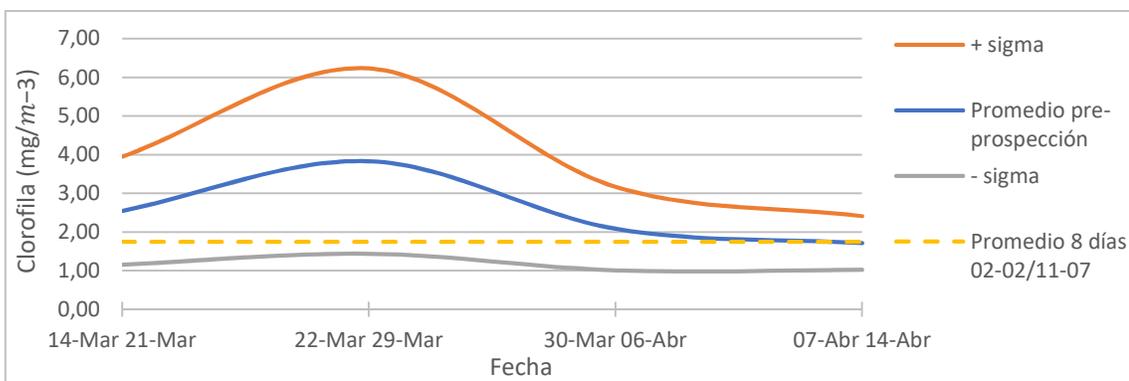


Gráfico 4-14.

4.2.8 Valores prospección

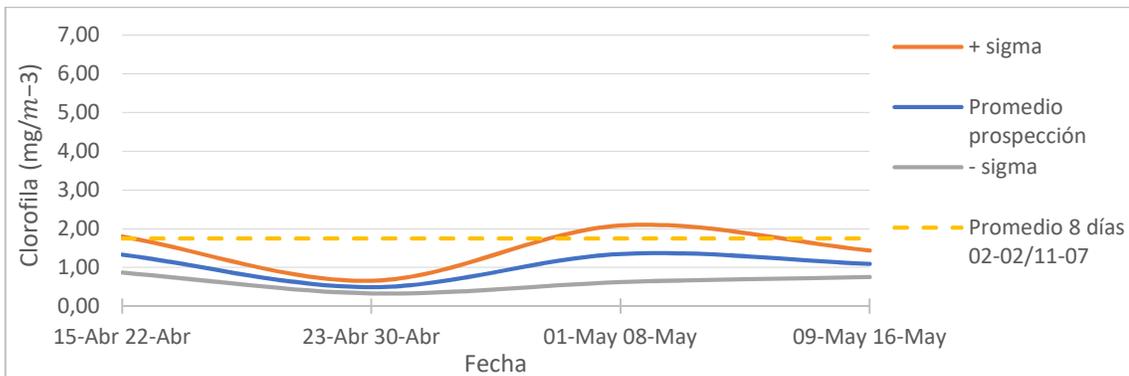


Gráfico 4-15.

4.2.9 Valores período posterior a la prospección

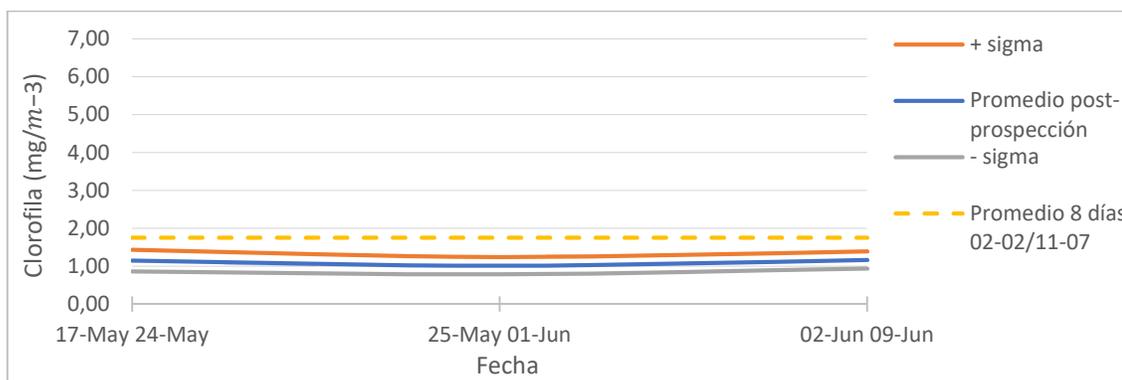


Gráfico 4-16.

4.2.10 Discusión

Analizando el **Gráfico 4-9** correspondiente a los datos anuales de clorofila se puede apreciar que el valor promedio la mayoría de los años se encuentra por debajo o apenas superando el valor promedio anual 2002-2015, que se toma como referencia. Solamente dos años calendario, el 2002 y el 2009 el valor promedio excede al tomado de referencia un 43% ($2,61 \text{ mg/m}^{-3}$ ante $1,83 \text{ mg/m}^{-3}$) y un 46% ($2,68 \text{ mg/m}^{-3}$ ante $1,83 \text{ mg/m}^{-3}$) respectivamente. Solamente se presenta una baja marcada en el año 2004 de un 45% por debajo del valor de referencia ($1,45 \text{ mg/m}^{-3}$ frente a $1,83 \text{ mg/m}^{-3}$). El resto de los valores anuales se mantienen emparentados al guarismo de referencia tomado.

Teniendo en cuenta los valores tomados por la misión MODIS-Aqua se puede apreciar que el nivel de clorofila baja durante el otoño del hemisferio sur. El descenso en el valor es de aproximadamente un 20%, pasa de una medición promedio anual 2002-2015 de $1,83 \text{ mg/m}^{-3}$ a un guarismo promedio estacional 2003-2015 de $1,48 \text{ mg/m}^{-3}$. Además, en el **Gráfico 4-10** de valores estacionales se pueden ver picos superiores al valor de referencia durante las estaciones otoñales de 2009 ($1,99 \text{ mg/m}^{-3}$), 2014 ($2,00 \text{ mg/m}^{-3}$) y 2015 ($1,87 \text{ mg/m}^{-3}$), aunque en los otros años los valores mayormente están por debajo de la referencia tomada.

Como consecuencia del análisis anterior se puede apreciar en el **Gráfico 4-11** que los datos promedio durante los meses de abril ($1,42 \text{ mg/m}^{-3}$) son inferiores a los datos promedio de la misión. En 2006 hay un marcado crecimiento del promedio con respecto al promedio que se tomó entre los años 2003-2015 ($1,84 \text{ mg/m}^{-3}$), entre tanto en 2004 se observa lo contrario, un promedio menor al mismo valor de

referencia ($1,06 \text{ mg/m}^{-3}$). El resto de los años mantiene una tendencia con muy poca variación al promedio que se toma. El mismo resultado promedio sucede, aunque en forma marcadamente mayor en el **Gráfico 4-12** de valores correspondientes a los meses de mayo ($1,09 \text{ mg/m}^{-3}$). Con respecto a los valores interanuales se aprecia que desde el año 2003 hasta el año 2008 los valores promedios son inferiores al promedio 2003-2015, llegando al mínimo valor de $0,86 \text{ mg/m}^{-3}$ en 2007. El año 2009 presenta un aumento en el promedio siendo de $1,53 \text{ mg/m}^{-3}$. A partir del año 2010 en adelante el promedio se estabiliza en valores cercanos al promedio 2003-2015.

Analizando los valores de promedio de los datos obtenidos cada 8 días a partir del 2 de febrero hasta el 11 de julio de 2015 se puede observar que, como fue demostrado anteriormente, los valores de clorofila son más altos en verano que en otoño e invierno, como lo muestra el **Gráfico 4-13**. En los meses de febrero y marzo se llega a contabilizar como valor promedio $2,65 \text{ mg/m}^{-3}$ con un pico superior de $3,84 \text{ mg/m}^{-3}$ en la semana del 22 al 29 de marzo de 2015. En los meses de abril y mayo el promedio baja en forma muy considerable, más del 50%, para colocarse dicho promedio en $1,28 \text{ mg/m}^{-3}$, observándose un pico inferior de $0,50 \text{ mg/m}^{-3}$ en la medición tomada del 23 al 30 de abril de 2015. A partir de la medición del 7 de abril de 2015 se aprecia que el promedio de la toma de datos individual cada 8 días es inferior al promedio del conjunto de valores medidos entre el 02-02-2015 hasta el 11-07-2015.

Separando los datos del tiempo tomado como referencia antes de la prospección los valores promedio son muy superiores al promedio de los datos en el intervalo de tiempo 02-02-2015 a 11-07-2015 ($1,75 \text{ mg/m}^{-3}$), llegando a $3,84 \text{ mg/m}^{-3}$ en el dato tomado del 22 al 29 de marzo de 2015 (**Gráfico 4-14**). Solamente se emparejan los valores en el último de los guarismos tomados.

Durante la prospección (**Gráfico 4-15**) que los valores se desploman por debajo del promedio de los datos tomados desde el 2 de febrero hasta el 11 de julio de 2015, hasta un registro mínimo de $0,50 \text{ mg/m}^{-3}$ en el valor referido del 23 al 30 de abril de 2015. Los resultados de la toma de datos son coincidentes con el inicio del otoño en el hemisferio sur y mantiene la tendencia de estos valores.

En el **Gráfico 4-16**, correspondiente al período de post-prospección, se puede visualizar el mismo descenso de valores, apenas superando $1,00 \text{ mg/m}^{-3}$. Presenta tal magnitud la caída de los valores de clorofila que el valor superior de sigma no llega a alcanzar el valor de referencia que se ha tomado en este intervalo de tiempo.

4.3 Datos absorción de materia orgánica colorida y detritos (adg443)

En esta sección se muestran los gráficos de la variable satelital que representa a la absorción de materia orgánica colorida y detritos. Luego de la sucesión de gráficos y tablas se procede al análisis de los mismos a través de una discusión (ver Sección 4.3.9)

4.3.1 Valor período 2002-2015

Los datos obtenidos de Absorción de materia orgánica colorida y detritos a 443 nm, modelo GIOP, gelbstoff para el período 2002-2015 de la misión MODIS-Aqua, medidos en m^{-1} , presentan el siguiente resultado (Tabla 4-3):

Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Sigma
0.0749	0.1090	0.0907	0.0910	0.0065

Tabla 4-3.

4.3.2 Valores anuales

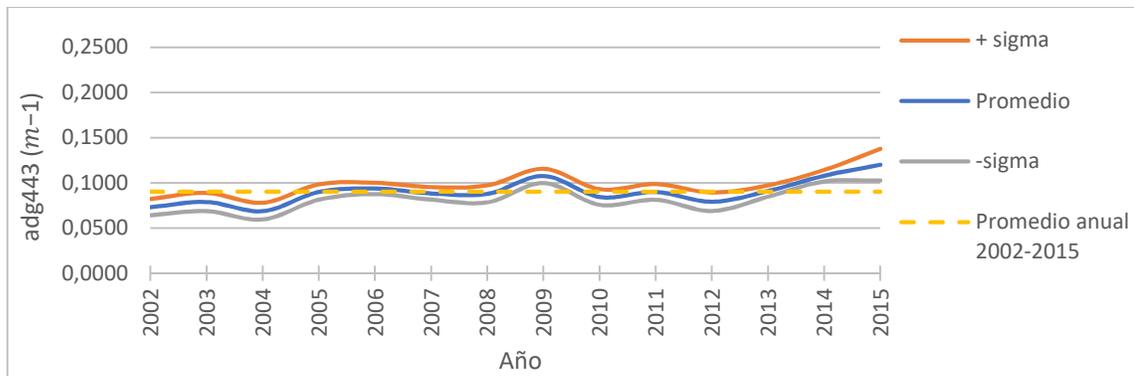


Gráfico 4-17.

4.3.3 Valores otoñales

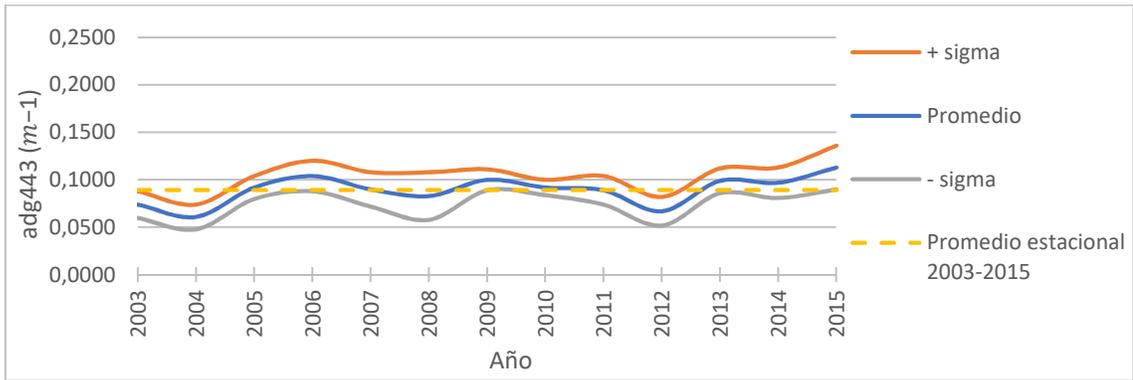


Gráfico 4-18.

4.3.4 Valores mes de abril

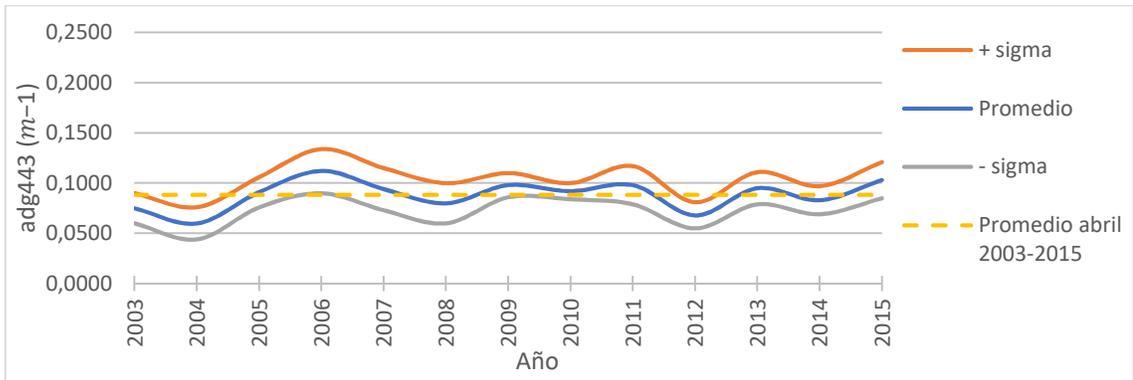


Gráfico 4-19.

4.3.5 Valores mes de mayo

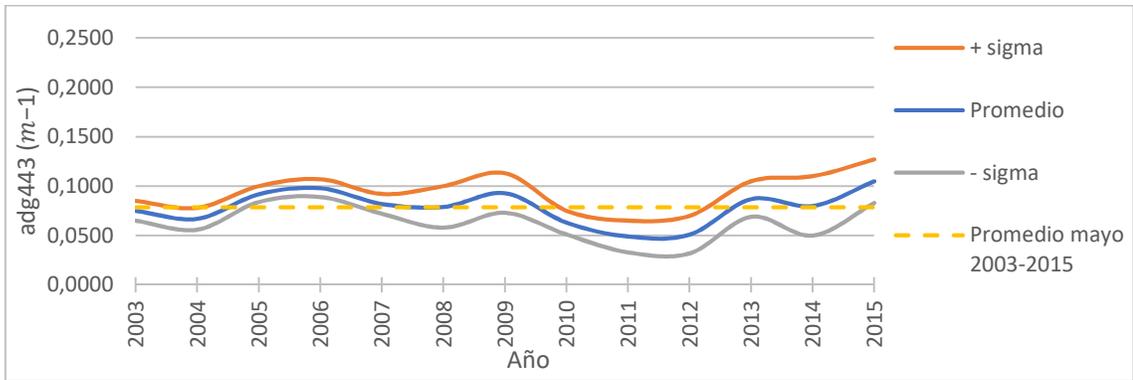


Gráfico 4-20.

4.3.6 Valores período 8 días

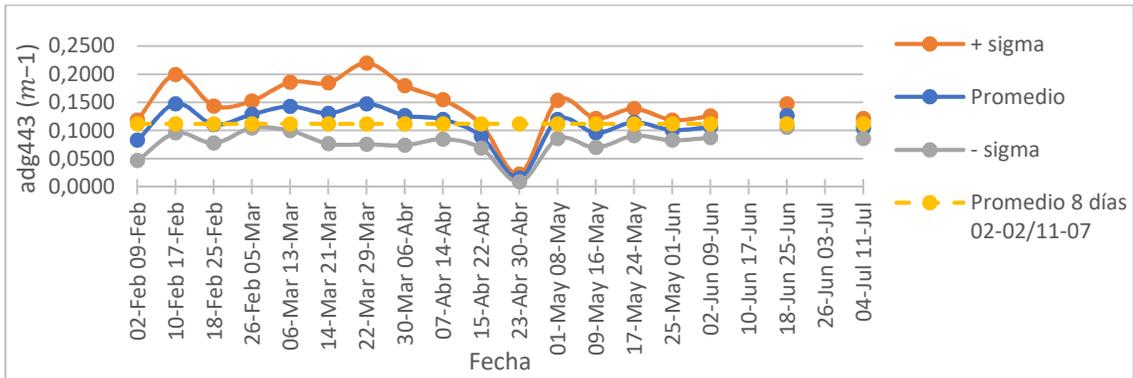


Gráfico 4-21.

4.3.7 Valores período anterior a la prospección

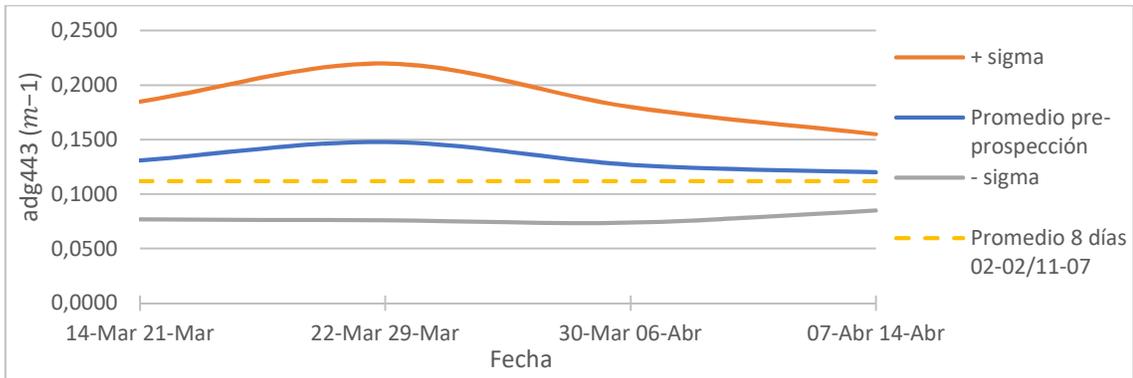


Gráfico 4-22.

4.3.8 Valores prospección

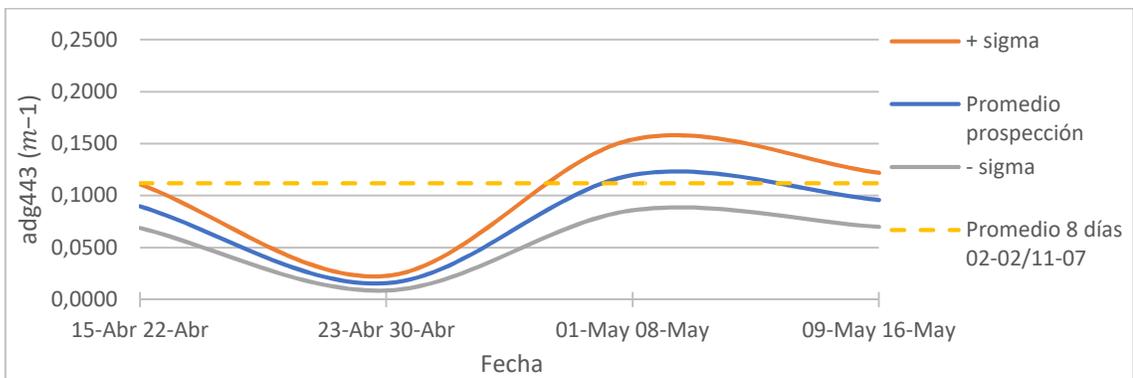


Gráfico 4-23.

4.3.9 Valores período posterior a la prospección

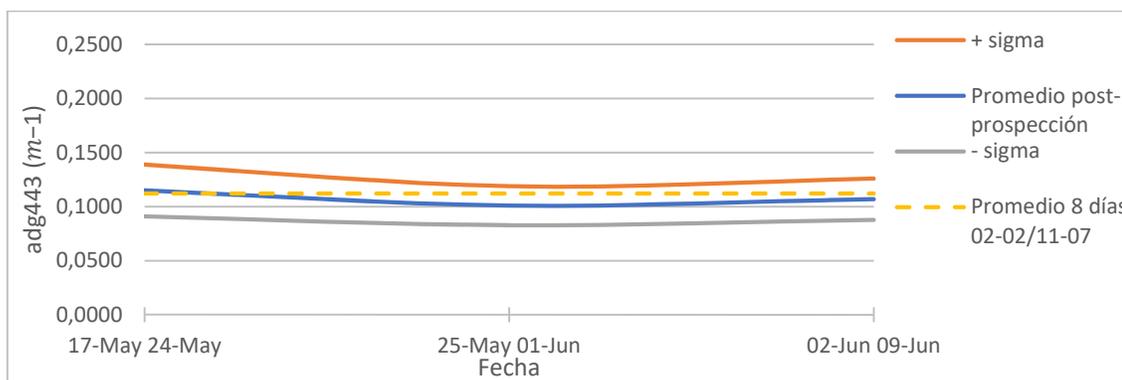


Gráfico 4-24.

4.3.10 Discusión

Analizando los datos de absorción anuales del **Gráfico 4-17** se puede apreciar que los mismos no presentan un criterio de uniformidad, sino que podemos ver un comportamiento muy variable de los mismos, con años en los cuales el promedio es superior al promedio anual tomado entre 2002 y 2015 ($0,0902 m^{-1}$). Los años en que esto acontece son 2009, 2014 y 2015. En 2014 y 2015 los valores promedio llegan a $0,1081 m^{-1}$ y $0,1202 m^{-1}$ respectivamente. Contrariamente hay años en los que el promedio anual es inferior (de 2002 a 2004 y año 2012). Los valores de estos años no superan los $0,0800 m^{-1}$.

Los datos estacionales (**Gráfico 4-18**) muestran el mismo aspecto cambiante en sus valores, mostrando el promedio estacional en forma de serrucho con respecto al promedio estacional tomado entre 2003 y 2015 ($0,0893 m^{-1}$), debido a que los valores suben y bajan constantemente a través de los años. Los valores de los años 2004 y 2012 son marcadamente inferiores al resto de los valores ($0,0610 m^{-1}$ y $0,0670 m^{-1}$ respectivamente), mientras que el de 2015 es visiblemente superior alcanzando un valor de $0,1130 m^{-1}$.

Los valores interanuales del mes de abril muestran una correlación con los datos obtenidos en el otoño del hemisferio sur, el dibujo de las curvas del **Gráfico 4-19** es muy parecido al analizado con los valores estacionales. Los mismos son muy variables y muestran un alto valor en el año 2006 ($0,1120 m^{-1}$), mientras en los años 2004 ($0,0600 m^{-1}$) y 2012 ($0,0680 m^{-1}$) son apreciablemente inferiores (más del 30%) al promedio de los datos de abril del período 2003-2015 ($0,0884 m^{-1}$). Se puede apreciar en el

Gráfico 4-20 que en el promedio tomado entre 2003 y 2015 el valor de los meses de mayo desciende con respecto al de los meses de abril, pasando de $0.0884 m^{-1}$ a $0.0785 m^{-1}$, una caída de aproximadamente el 12%. Entre los años 2010 a 2012 se puede ver una brusca disminución de los valores hasta llegar a $0.0490 m^{-1}$ en 2011. En forma inversa se puede observar que en los años 2006 ($0,0980 m^{-1}$) y 2015 ($0,1050 m^{-1}$) el promedio supera el valor promedio de los meses de mayo del período 2003-2015. También se ve que en general las curvas de los gráficos de abril y mayo mantienen una tendencia, se mantienen encima, en valor similar o debajo de los promedios mensuales de los períodos 2003-2015 en los mismos años calendario.

Se observa en los datos promedio del período de 8 días desde el 2 de febrero hasta el 11 de julio de 2015 valores altos hasta la medición del 14 de abril con topes de $0.1480 m^{-1}$, un brusco descenso en las siguientes dos tomas llegando a un promedio mínimo de $0.0160 m^{-1}$ y a partir del 1° de mayo un aumento hasta el promedio que se toma ($0.1120 m^{-1}$), manteniendo valores emparejados hasta la finalización de la fecha de muestra (**Gráfico 4-21**).

En los datos anteriores a la fecha de la prospección realizada (**Gráfico 4-22**) se puede ver que el promedio se mantiene por encima del valor promedio tomado para la comparación ($0,1120 m^{-1}$), llegando a un valor máximo de $0.1480 m^{-1}$. Incluso a la medición mayor se corresponde con el valor de sigma más alto ($0.0720 m^{-1}$), llegando a un valor posible de medición de $0.2200 m^{-1}$.

El **Gráfico 4-23** muestra el momento en que se está realizando la prospección. Se puede apreciar que el promedio durante la misma baja bruscamente, llegando a un valor mínimo de $0.0160 m^{-1}$ en el período de 8 días tomado entre el 23 de abril y el 30 de abril de 2015, siendo éste el menor de todos los que fueron tomados en el estudio realizado. A partir del 1° de mayo de 2015 los valores vuelven a mantenerse cerca del promedio de los datos tomados entre el 2 de febrero y el 11 de julio de 2015.

Luego de la fecha en que los barcos pesqueros realizaron la tarea de prospección se puede apreciar que los valores mantienen una gran uniformidad colocándose en guarismos cercanos al promedio que se toma como modelo (**Gráfico 4-24**).

4.4 Análisis conjunto de variables

Se procede a analizar las variables POC (**Gráfico 4-25**), Clorofila (**Gráfico 4-26**) y Absorción (**Gráfico 4-27**) en conjunto desde el 14 de marzo hasta el 9 de junio de 2015, diferenciando entre períodos de pre-prospección, la prospección en sí misma y post-prospección, tomando como referencia el promedio de los datos obtenidos entre el 2 de febrero y el 11 de julio de 2015. Las tres variables presentan el mismo comportamiento. En el primer tercio los promedios superan al de referencia en la etapa de pre-prospección, momento en el cual la toma de datos es normal, obteniendo valores de todos los píxeles analizados. En el segundo tercio los promedios bajan coincidentemente a valores mínimos. Si bien se pudo ver que hay menor cantidad de píxeles válidos, los valores de las variables son muy bajos, no superan el promedio, aun sumando el desvío estándar máximo; al final de la ventana de tiempo de prospección y en el período de post-prospección los valores de POC y absorción (adg443) se recomponen a valores anteriores, mientras que la clorofila sigue hasta el final de este análisis sin recuperar el valor promedio anterior.

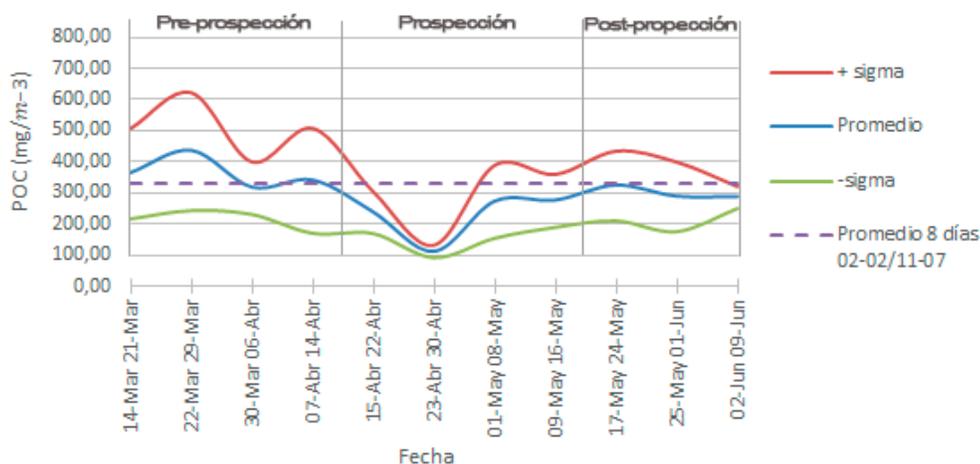


Gráfico 4-25. Valores de POC entre el 14 de marzo y el 9 de junio de 2015.

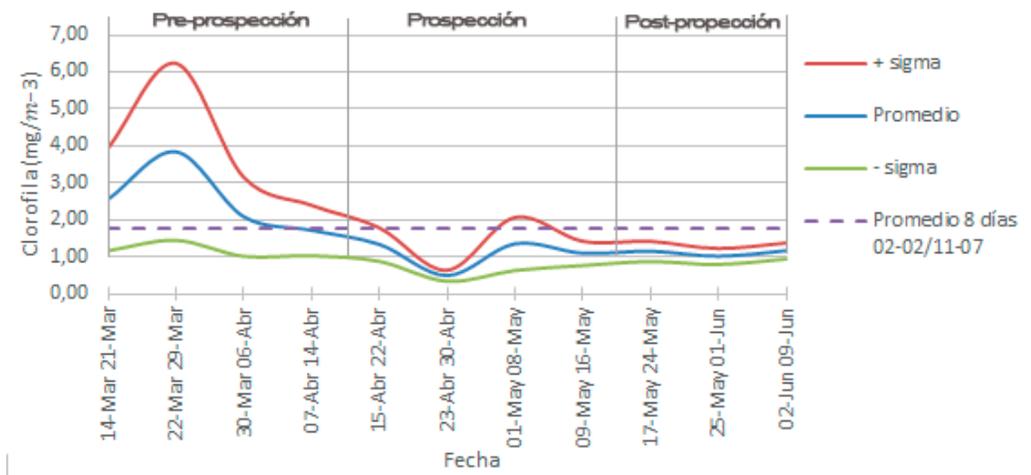


Gráfico 4-26. Valores de clorofila entre el 14 de marzo y el 9 de junio de 2015.

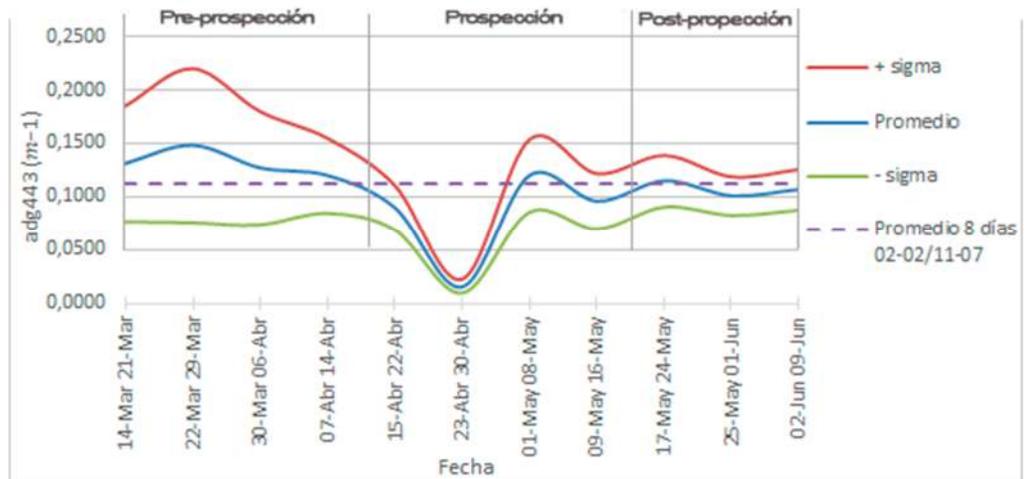


Gráfico 4-27. Valores de absorción de materia disuelta colorida y detritos (adg₄₄₃) entre el 14 de marzo y el 9 de junio de 2015.

5- Conclusiones

En esta tesina se ha buscado evaluar la incidencia de la pesca comercial en el ecosistema marino de un polígono de pesca de merluza, por medio de la detección de cambios temporales en el color del mar de esta zona del Mar Argentino que fue abierta al ingreso de embarcaciones luego de un período de veda. Para realizar los análisis correspondientes se consideraron tres variables geofísicas satelitales disponibles en forma libre para descargar del sitio de Color del Mar de la NASA:

- Clorofila-a: fundamental para determinar el estado del ecosistema marino al ser un indicador de la biomasa de fitoplancton, organismos que son parte de la base de la cadena trófica en el mar.
- Absorción de materia orgánica disuelta colorida (CDOM colored dissolved organic matter): indicador de la descomposición de materia orgánica en el ecosistema.
- Carbono orgánico particulado (POC): necesario para analizar los detritos ocasionados por el descarte de pescado muerto y la actividad humana.

Para la detección de cambios temporales en la señal de color del mar se analizaron promedios semanales, mensuales, otoñales (debido a que fue la estación del año en la cual se realizó la apertura de la veda de pesca) y anuales. Con la aplicación SeaDas se analizaron los valores promedios espaciales de la zona elegida con sus correspondientes desvíos estándar para intentar determinar variaciones incidentales en su comportamiento.

Se pudo apreciar que las tres variables tuvieron en 2015 un promedio anual y otoñal superior al período completo de toma de datos (2003-2015) usado como línea de base para la comparación, con el POC y el CDOM creciendo sostenidamente en los dos meses de apertura analizados (abril y mayo). La clorofila tuvo el comportamiento contrario por ser ésta una variable que tiene sus concentraciones máximas en primavera y verano para ir decreciendo progresivamente al término de esta última estación. Al ampliar el tiempo de análisis de marzo a junio de 2015 se pudo observar en las tres variables un comportamiento similar, siendo este superior al promedio en la época anterior a la prospección, sufriendo una considerable baja al momento de la apertura de la zona de pesca y logrando estabilizarse en valores cercanos al promedio al prohibirse nuevamente la pesca en el sector. La disminución al momento de la apertura del área se debió mayormente a la importante falta de datos, porque la nubosidad no permitió la captura de datos válidos en la totalidad del área promediada espacial y temporalmente.

Tal cual fue visto en capítulos anteriores, las imágenes visibles u ópticas son fuertemente afectadas por la presencia de nubes. Si el periodo de 20 días de una veda contiene la mayoría de ellos nublados, no es posible demostrar con criterio estadístico el posible impacto de la pesca comercial por falta de homogeneidad en la cantidad de pixeles con valores válidos que representan el dominio espacio-temporal de estudio. Podrían haberse tenido en cuenta otras vedas, sin embargo, se eligió esta veda principalmente por dos factores, el primero fue porque la recolección de datos comenzó en el año 2016 y era la veda más cercana en el tiempo. El segundo fue porque se trataba de una zona de veda cercana al puerto comercial de Puerto Madryn, lo que aseguraba la presencia en cantidad de barcos permitidos.

Al comenzar el análisis de los datos de color del mar en forma de series temporales de promedios espaciales del área de veda y visualizar cada imagen individualmente, se hizo evidente que en el momento de la prospección se producía una baja en los valores, principalmente de clorofila, lo que hacía pensar que podría deberse a la incidencia de la presencia de los buques pesqueros en la zona. Desde el inicio se planeó utilizar también otros productos satelitales de color del mar para evaluar los posibles cambios asociados o no a la clorofila, carbono orgánico particulado (POC) y disuelto colorido (CDOM). Las imágenes o mapas (distribución espacial de las variables en la zona de veda) mostraron que la gran mayoría de los días de la apertura de la zona de veda fueron completamente nublados, razón por la cual los valores de los datos eran mínimos, pero no marcados como máscaras de dato no válido en la totalidad de la caja promediada. Los productos utilizados de 8 días son promedios temporales de imágenes diarias píxel a píxel. En el proceso, los días totalmente nublados van siendo promediados con días de datos válidos y por ese motivo no saltan como un dato No válido de 8 días. Como conclusión debemos decir que en el estudio realizado no se ha podido demostrar el posible impacto de la pesca comercial en la zona de veda elegida, debido a la falta de datos válidos por presencia excesiva de nubes y por falta de datos in situ para validar las mediciones satelitales.

También se investigó la posibilidad de detección de buques por medio de imágenes visibles y de radar (microondas que no son afectadas por la presencia de nubes) de los sitios Landviewer (<https://eos.com/landviewer/>) y de CONAE, Comisión Nacional de Actividades Espaciales (<https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogo.html>), sin poder encontrar ninguna evidencia de la presencia de barcos en la zona para el período de estudio.

Se ofrece este trabajo como punto de partida para futuros estudios en esta misma línea de investigación. Como resultado importante de esta tesina se recomienda seguir un protocolo en el que 1) se elija más de

un área de veda para aumentar el número de casos de estudio y evitar periodos de nubes que malogren los resultados, 2) se confirme la selección de áreas con aperturas en fechas o estaciones del año en las que dichas áreas se encuentren en promedio climatológico, más despejadas, 3) trabajar desde el inicio con animaciones de imágenes o mapas de las variables que permitan observar la dinámica de las nubes en las zonas de estudio 4) no tomar datos de vedas pasadas sino tomar la apertura de una zona de veda planificada hacia adelante, para tener datos fehacientes de la presencia y número de buques a partir del uso de aplicaciones de seguimiento de embarcaciones en tiempo real, como por ejemplo Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com>) o Vessel Finder (<https://www.vesselfinder.com>) y 5) complementar con otros datos de detección de buques como las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) que estarán disponibles operativamente con las imágenes de SAOCOM 1A y 1B recientemente lanzados (<http://saocom.invap.com.ar/usos-del-satelite/>).

6- BIBLIOGRAFÍA WEB

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero – INIDEP. (Diciembre de 2020). *Nuestra historia*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.argentina.gob.ar/inidep/mision-funcion/nuestra-historia>

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero – INIDEP. (Diciembre de 2020). *Investigaciones en Economía Pesquera*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. https://www.inidep.edu.ar/wordpress/?page_id=377

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero – INIDEP. (17 de octubre de 2020). *El buque "Mar Argentino" se incorpora a la flota del INIDEP*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-buque-mar-argentino-se-incorpora-la-flota-del-inidep>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo – INDEC. (Diciembre de 2020). *Índices de precios y cantidades del comercio exterior*. Ministerio de Economía de la Nación. <https://www.indec.gob.ar/>

Instituto Geográfico Nacional – IGN. (Diciembre de 2020). *Información geográfica. Límites, superficie y puntos extremos*. Ministerio de Defensa de la Nación. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/LimitesSuperficiesyPuntosExtramos>

Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental – COPLA. (Diciembre de 2020). *Mapa de los Espacios Marítimos de la República Argentina*. Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto. <http://www.plataformaargentina.gov.ar/es/mapaPlataforma>

Consejo Federal Pesquero (Ley N° 24.922). (Diciembre de 2020). *Acta CFP N° 11/2015*. <https://cfp.gob.ar/actas/ACTA%20CFP%2011-2015.pdf>

SeaDAS. (Diciembre de 2020). *SeaDAS Installers and Source Cods*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. <https://seadas.gsfc.nasa.gov/downloads/>

OceanColor Web. (Diciembre de 2020). *Inherent Optical Properties (IOPs)*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/giop/>

OceanColor Web. (Diciembre de 2020). *Chlorophyll a (chlor_a)*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/

OceanColor Web. (Diciembre de 2020). *Particulate Organic Carbon (POC)*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/poc/>

OceanColor Web. (Diciembre de 2020). *Level-3 Browser*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>

OceanColor Web. (Diciembre de 2020). *Suomi-NPP/VIIRS*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/viirs-snpp/>

SeaBASS. (Diciembre de 2020). *SeaBASS Validation Description*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. https://seabass.gsfc.nasa.gov/wiki/validation_description

SeaBASS. (Diciembre de 2020). *SeaBASS Search*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. <https://seabass.gsfc.nasa.gov/search#val>

7- BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, Inés; Lorenzo, M. Nieves; Decastro, M. Analysis of chlorophyll a concentration along the Galician coast: seasonal variability and trends. ICES Journal of Marine Science, Volume 69, Issue 5, pp. 728-738. 2012.

Bacchini, Roberto Darío; Vázquez, Lara Viviana; Bianco, María José; García Fronti, Javier I. Introducción a la probabilidad y estadística. UBA. 2018.

Bailey, S.W., Werdell, P.J. A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products. Rem. Sens. Environ. 102, 12-23. 2006.

Cañete, Guillermo. La pesquería de la merluza común. ¿Un ejemplo? Programa Marino, Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA). 2005.

Carranza, Magdalena. Indicadores del estado del ambiente marino patagónico en áreas frontales. Tesis de Licenciatura en Oceanografía. DCAO-FCEN-UBA. 2009.

Fenchel, T. Marine Bugs and Carbon Flow. Science 292: pp. 2444–2445. 2001.

Feugere, M. Les Instruments de chasse, de peche et d'agriculture. Lattara, 5; pp. 139-161; Lattes. 1992.

Fishery Country Profile. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FID/CP/ARG. Agosto de 2005.

Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia. Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia. 358 p. 2008.

Franz, B.A. & Werdell, P.J. A Generalized Framework for Modeling of Inherent Optical Properties in Remote Sensing Applications. Proc. Ocean Optics. Anchorage, Alaska, USA, 27 September – 1 October 2010. 2010.

Gordon, H.R., Clark D.K. Remote sensing optical properties of a stratified ocean: an improved interpretation. Appl. Optics, 19, 3,428--3,430. 1980.

Hidalgo García, María del Mar. Estado del conocimiento sobre los efectos del cambio climático en el Océano Atlántico Sudoccidental sobre los recursos pesqueros y sus implicancias para el manejo sustentable. IEES. 2018.

Horizontes estratégicos para el Mar Argentino. Proyecto Pampa azul. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Presidencia de la Nación. 2015.

Hu, C.; Lee, Z.; Franz, B. Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *Journal of Geophysical Research*, 117, C01011, doi: 10.1029/2011jc007395. 2012.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Anuario Estadístico de la República Argentina 2014. 1^a Edición.

Kelleher, Kieran. Descartes en la pesca de captura marina mundial. Una actualización. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, FAO Documento Técnico de Pesca. 147 pp. 2008.

Kolber, Z.S.; Plumley, F.G.; Lang, A.S.; Beatty, J.T.; Blankenship, R.E.; van Dover, C.L.; Vetrican, C.; Koblizek, M.; Rathgeber Ch.; Falkowsti, P.C. Contribution of aerobic photoheterotropic bacteria to the carbon cycle in the ocean. *Science* 292: pp. 2492 –2495. 2001.

Lehmann, M.K.; Davis, R.F.; Huot, Y.; Cullen, J.J. Spectrally weighted transparency in models of water-column photosynthesis and photoinhibition by ultraviolet radiation. *Marine Ecology Progress Series*, (269): pp. 101–110. 2004.

Lewis, Rebecca L.; Crowder, Larry B.; Freeman, Sloan A. Quantifying the effects of fisheries on threatened species: the impact of pelagic longlines on loggerhead and leatherback sea turtles. *Ecol. Lett.* 7: pp. 221-231.2004.

Longhurst A.; Pauly, D. Ecology of tropical oceans. Academic Press, San Diego, California. 407 pp. 1987.

Manzano-Sarabia, Mercedes Marlenne; Salinas-Zavala, César Augusto. Variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila a y temperatura superficial del mar en la región occidental del Golfo de México: 1996-2007. *Interciencia*, Volumen 33, Número 9, pp. 628-634. 2008.

Marrari, Marina; Macchi, Gustavo J.; Santos, Betina; Leonarduzzi, Ezequiel. Influence of environmental conditions on the reproductive success and recruitment of the Argentine hake *Merluccius hubbsi* (southwestern Atlantic Ocean). *Fish Oceanography*. Volume 28, Issue 1, pp. 66-81. 2019.

Martínez Maganto, Julio. Las técnicas de pesca en la antigüedad y su implicación económica en el abastecimiento de las industrias de salazón. *CuPAUAM*. 19-1992, pp. 219-244. 1992.

Morán Angulo, R. E.: “La pesca: un leve análisis desde la acción instrumental”, en *Revista Sinaloense de Ciencias Sociales*, Facultad de Ciencia Sociales de la Universidad Autónoma de Sinaloa, primavera de 2008, Núm. 15, pp. 120-129. 2008.

Müller, P. J.; Suess, E. Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans—I. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. Volume 26, Issue 12, pp. 1347–1362. 1979.

Nelson, N.B.; Siegel D.A. Chromophoric DOM in the open ocean. In *Biogeochemistry of marine dissolved organic matter*, ed. D. A. Hansell and C. A. Carlson. San Diego: Academic Press, pp. 547–578. 2002.

Norbis, Walter; Galli, Oscar; Paesch, Laura; Chiesa, Ernesto; Lorenzo, María Inés; Berriolo, Claudio; Ipar, Luis. Análisis de la operación de dos buques de pesca de la flota comercial en base a datos obtenidos por observadores a bordo. Instituto Nacional de Pesca – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2003.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Aplicación práctica del enfoque de ecosistemas en la pesca*. FAO, Roma. 2005.

Parsons, Timothy R.; Takahashi, Masayuki; Hargrave, Barry. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon international library of science, technology, engineering, and social studies, Great Britain. 330 pp. 1977.

Picado, Ana; Álvarez, Inés; Vaz, Nuno; Dias, Joao Miguel. Chlorophyll concentration along the northwestern coast of the Iberian Peninsula vs. atmosphere-ocean-land conditions. In: Conley, D.C.; Masselink, G.; Russell, P.E.; and O’Hare, T.J. (eds.), *Proceedings 12th International Coastal Symposium*

(Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 2047-2052, ISSN 0749-0208. 2013.

Pinto, A.M.F.; Von Sperling, E.; Moreira, R.M. Chlorophyll-a determination via continuous measurement of plankton fluorescence: Methodology development. *Water Research*. Volume 35, Issue 16, pp. 3977-3981. 2001.

Queiroz, Nuno; Humphries, Nicolás E.; Noble, Leslie R.; Santos, António M.; Sims, David W. Spatial Dynamics and Expanded Vertical Niche of Blue Sharks in Oceanographic Fronts Reveal Habitat Targets for Conservation. *PLoS ONE* 7(2), e32374. 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032374>

Rullkötter J. Organic matter: the driving force for early diagenesis. En: Schulz HD, Zabel M (eds.), *Marine Geochemistry*, Berlin. pp. 129–172. 2000.

Saetersdal, G. Los recursos pesqueros y su medio ambiente, ordenación y desarrollo. Cancún, Instituto de investigaciones Marinas. Bergen, Noruega. Conferencia Internacional de Pesca Responsable FAO, Mayo de 1992.

Sparre, P.; Venema, S. C. Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros tropicales. Parte 1: Manual. FAO. Documento Técnico de Pesca, 306/1 Rev.2 420 pp. 1997.

Symes, D. Pesca en aguas tormentosas, en Crean, K. y Symes, D. (Eds) *La administración de las pesquerías en crisis*. UK, Books Blackwell Science Ltd, Osney Mead, Oxford OX2 OEL, 1996.

Tranvik, L. J. Bacterioplankton growth on fractions of dissolved organic carbon of different molecular weights from humic and clear waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, pp. 1672– 1677. 1990.

Werdell, P. J., Bailey, S. W. An improved bio-optical data set for ocean color algorithm development and satellite data product validation. *Remote Sensing of Environment*, 98, 122–140. 2005.

Xavier, J.C.; Trathan Philip N.; Croxall, John; Wood, A.G.; Podesta, Guillermo Pablo; Rodhouse, P.G.K. Foraging ecology and interactions with fisheries of wandering albatrosses (*Diomedea exulans*) breeding at South Georgia. *Fisheries Oceanography*, Volume 13: pp. 324-344. 2004.