



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA Y TURISMO



Tesis de Licenciatura en Oceanografía

Las propiedades bio-ópticas del Estuario de Bahía Blanca

Maximiliano Arena

Directora: Dra. Ana Laura Delgado

Bahía Blanca, 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar un especial agradecimiento a la Dra. Ana Laura Delgado y la Dra. Paula Pratolongo por iniciarme en el campo de la investigación, brindarme un espacio en el cual pude trabajar y aprender sumamente cómodo y acompañarme en el desarrollo de esta Tesis. Gracias por su dedicación.

A mis compañeros del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO).

Al Club Náutico y en particular a Damián Galera, Rodolfo Amaya y su velero “Singular”, que colaboraron con excelente predisposición, transformando el trabajo de campo en una experiencia amena e inolvidable.

Al personal administrativo del Departamento de Geografía y Turismo por atenderme siempre, aconsejarme y solucionar todos mis problemas.

A todos los docentes de la carrera que me formaron y acompañaron a lo largo de estos años. En particular al Dr. Gerardo Perillo, la Dra. Cintia Piccolo y la Dra. Elisa Parodi por su buena predisposición y consejos certeros cuando fueron necesarios.

A mis padres, Susana y Francisco por fomentar mi vocación y permitirme concluir mis estudios.

A mis hermanas, Giselle y Carolina por formar parte de mi vida y a mi sobrina Julieta por enseñarme a ver el mundo con otros ojos.

A mi Abuela Elisa por criarme con tanto amor y mimarme siempre.

A mis amigos de la vida y a los que hice en la Universidad por tantos buenos momentos.

RESUMEN

La disponibilidad y calidad de los datos provistos por las imágenes del color del mar permite el estudio de complejas interacciones entre la atmósfera, la tierra y el océano a partir del estudio de las propiedades bio-ópticas, utilizadas como proxy de parámetros físico-biológicos. Los ambientes estuariales son altamente variables y la interacción entre ríos, el ambiente marino y los intercambios entre sedimento y agua determinan la productividad del ambiente. De esta forma, resulta fundamental el análisis y monitoreo de las propiedades físico-químicas y biológicas de las masas de agua en estos ambientes. Es aquí donde la teledetección surge como una herramienta complementaria para abordar esta problemática a partir de datos físicos y biológicos a diversas escalas y resoluciones, permitiendo estudiar a partir de imágenes satelitales, procesos que son imposibles de abordar sobre la base de mediciones *in situ*. Sin embargo, en ambientes costeros la calidad de estos datos depende fuertemente de la calibración y validación con datos *discretos* provenientes del área de estudio en cuestión. El trabajo fue realizado en el Estuario de Bahía Blanca (EBB), al Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se plantea como objetivo conocer las propiedades bio-ópticas del estuario y su relación con los componentes ópticamente activos del agua en diferentes zonas del estuario y en distintos estados de marea. Como resultado, las propiedades físico-biológicas del área de estudio mostraron una estrecha relación con los forzantes físicos del ambiente (mareas y corrientes resultantes), presentando variaciones significativas tanto espacial como temporalmente. Asimismo, la geomorfología del ambiente y la disponibilidad de regiones intermareales (las cuales cumplen un rol fundamental en la resuspensión de material hacia la columna de agua), influyeron significativamente sobre las propiedades ópticas, constatando que las variaciones observadas sobre dichas propiedades se encuentran en relación directa con las desviaciones presentadas por los componentes ópticamente activos presentes en la columna de agua (MPS y Chl-*a*). Por primera vez para el EBB se logró cuantificar y describir el comportamiento de las Propiedades Ópticas en base a coeficientes específicos, y curvas espectrales de absorción y reflectancia determinando que se trata de aguas ópticamente complejas (Caso 2), dominadas por la absorción de partículas no algales (a_{nap}) y en menor medida por la absorción del fitopláncton (a_{ph}).

ABSTRACT

The availability and quality of ocean color data allows the study of complex processes between the atmosphere, the earth and the ocean, with the bio-optical properties, which are proxy of diverse physical and biological parameters. The estuarine environments are highly complex systems defined by the interactions of the fresh water inputs and the marine environment, which define the productivity of the environment. Thus, the analysis and monitoring of the physical, biological and chemical proprieties of the water masses in these environments became fundamental. Remote sensing appears as a complementary tool to approach this problem with physical and biological data in an appropriate spatial and temporal resolution allowing the study of processes which are impossible to approach with only *in situ* data. On the other hand, in coastal systems the quality of the data strongly depends on the calibration and validation of the algorithms with discrete *in situ* measurements. The aim of this study was to characterize the bio-optical proprieties and their interaction with the active optical components of water in the Bahia Blanca Estuary (BBE) (Buenos Aires Province, Argentina). The physical-biological parameters were tightly related to physical forcing of the environment (tides and tidal currents), resulting in significant spatial and short-term temporal variations. Furthermore, the geomorphology of the environment and the presence of intertidal flats (source of suspended particulate matter in water column) are considered to be the key factor in the variability of the bio-optical proprieties. For the first time in the BBE, the bio-optical properties behavior was quantified and described based on the specific coefficients, spectral shapes and water reflectance concluding that the study area waters are optically complex (Case 2), dominated by the absorption of non-algal particulate (a_{nap}) followed by the absorption by phytoplankton (a_{ph}).

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. “El color del Mar”	1
1.2. Bio-óptica marina.....	4
1.3. Definición del problema.....	6
1.4. Antecedentes de estudios de las propiedades bio-ópticas en el Mar Argentino y Zonas Costeras.....	8
1.5. Estudios de las propiedades ópticas en ambientes estuariales.....	9
1.6. Hipótesis.....	10
1.7. Objetivos generales y específicos.....	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Área de estudio.....	12
<i>Hidrografía</i>	13
<i>Climatología</i>	16
<i>Importancia ecológica del área de estudio</i>	16
2.2. Tipo de diseño de la investigación y métodos.....	17
2.2.1. Obtención de las muestras.....	17
2.2.2. Parámetros físico-químicos.....	20
2.2.3. Turbidez.....	20
2.2.4. Determinación de material particulado en suspensión (MPS).....	20
2.2.5. Determinación de concentración de Clorofila- <i>a</i> total (TChl- <i>a</i>), clorofila- <i>a</i> asociada a la fracción microfitoplanctónica (micro Chl- <i>a</i>) y clorofila- <i>a</i> asociada al picofitoplancton y nanofitoplancton (pico + nano Chl- <i>a</i>).....	22

2.3. Curvas de absorción de los componentes ópticamente activos	23
2.3.1. Curvas de absorción del material particulado pigmentado (a_{ph})	
y del material particulado de-pigmentado (a_{nap})	24
2.3.2. Curvas de absorción del material orgánico	
coloreado disuelto (a_{cdom})	25
2.4. Mediciones radiométricas <i>in situ</i>	26
3. RESULTADOS	29
3.1. Propiedades físico-biológicas del área de estudio	29
3.1.1. Análisis espacial	30
3.1.2. Análisis temporal	33
3.2. Propiedades ópticas inherentes: absorción del fitoplancton (a_{ph}),	
absorción del CDOM (a_{cdom}) y	
absorción del material no pigmentado (a_{nap})	37
3.2.1. Análisis espacial	38
<i>Espectros de absorción</i>	42
3.2.2. Análisis Temporal	45
<i>Espectros de absorción</i>	45
3.3. Propiedades ópticas aparentes: Reflectancia del agua	49
3.3.1. Análisis espacial	49
3.3.2. Análisis temporal	50
4. DISCUSIÓN	52
4.1. Aspectos Físicos y Biológicos	52
4.1.1. Análisis Espacial	52
<i>Temperatura y Salinidad superficial</i>	52

<i>Material particulado en suspensión</i>	53
<i>Clorofila-a</i>	54
4.1.2. Análisis Temporal	55
<i>Temperatura y Salinidad superficial</i>	55
<i>Material particulado en suspensión</i>	56
<i>Clorofila-a</i>	57
4.2. Propiedades ópticas inherentes (IOP's)	58
4.2.1. Análisis Espacial	59
4.2.2. Análisis Temporal	61
4.3. Propiedades ópticas aparentes: Reflectancia del agua	63
4.3.1. Análisis Espacial	63
4.3.2. Análisis Temporal	65
5. CONCLUSIONES	66
6. BIBLIOGRAFIA	67

1. INTRODUCCIÓN

1.1. “El color del Mar”

La caracterización de los elementos que influyen sobre la variabilidad espacial y temporal de la luz en el mar resultan de especial interés para entender y cuantificar diversos procesos ópticos, físicos, químicos y biológicos (Dickey y Falkowski, 2002). La disponibilidad de luz a longitudes de onda adecuadas es un factor esencial para el aumento de biomasa fitoplanctónica, algas bentónicas y macrófitas sumergidas (Gallegos *et al.*, 2005), ya que, mediante procesos de absorción y *fotosíntesis*, captan el carbono inorgánico del medio (dióxido de carbono) para transformarlo en una forma orgánica (más comúnmente glucosa) para su consumo. Así, los productores primarios adquieren un rol central en los ecosistemas marinos al modular los ciclos biogeoquímicos de los elementos, la exportación del carbono orgánico desde la zona eufótica al océano profundo y los flujos de energía a través de las redes tróficas (Falkowski y Oliver, 2007). De esta forma intervienen en el balance químico global y en el cambio climático a través de diversos mecanismos, entre los que se destacan la fijación de CO₂ y el calentamiento estacional de la capa superficial del mar mediante procesos de absorción y dispersión de la luz (Satheydranth *et al.*, 1991). Es por eso que conocer el campo de luz al cual se ve expuesto el fitoplancton y su dinámica espacio-temporal se torna importante en términos económicos, ya que dichos organismos representan la base de la red alimenticia oceánica y, gracias a la producción de materia orgánica nutren a los ecosistemas marinos, por lo que se transforman en valiosos indicadores para caracterizar su estado.

Mediante la teledetección se logra adquirir información a partir del análisis de datos obtenidos por instrumentos que no están en contacto con el objeto investigado, representando una herramienta eficaz actualmente utilizada para la obtención de datos físicos y biológicos del sistema marino a escala regional y con alta resolución temporal (Dogliotti, 2007). La disponibilidad y calidad de los datos provistos por imágenes del color del mar permite el estudio de complejas interacciones entre la atmósfera, la tierra y el océano (Loisel *et al.*, 2009), obteniendo información sobre la concentración de Chl-*a* y temperatura superficial del mar entre otros, facilitando de esta forma el análisis de diversas variables con relevancia ecológica y oceanográfica. Entre ellas se destacan, la detección de frentes oceánicos (Gagliardini *et al.*,

2001), derrames de petróleo y geomorfología del fondo (Gagliardini *et al.*, 2004, 2005), como así también hielo marino y aceites naturales (Almandoz *et al.*, 2007).

El objetivo de los sensores que trabajan en el color del mar, radica en la obtención de información cuantitativa sobre el tipo y concentración de sustancias presentes en el agua. Dicho análisis se logra a partir del estudio de la variación en la forma de la firma espectral y magnitud de la señal proveniente del agua en la región *visible* del espectro electromagnético (EEM), entre los 400 y 700 nm, e *infrarrojo cercano* entre 700 y 1300 nm (IOCCG, 2000) (Figura 1).

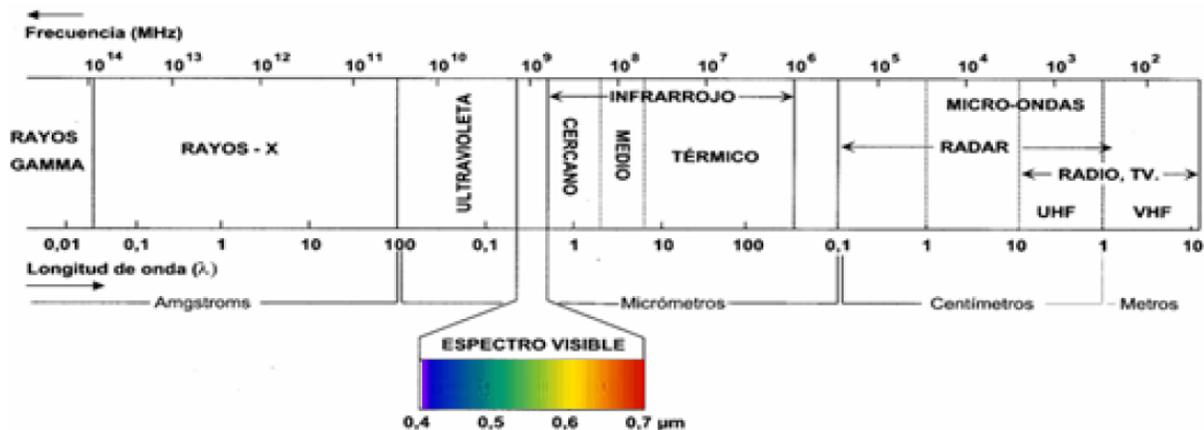


Figura 1. Espectro electromagnético y las distintas regiones en las que se clasifica. La región visible (0,4 a 0,7 nm) se muestra ampliada. **Fuente:** Dogliotti, 2007.

Los sensores especializados en el color del mar viajan a bordo de satélites captando la radiación emitida hacia el tope de la atmósfera. En aquellas regiones donde el agua es lo suficientemente turbia o la columna de agua posee la profundidad adecuada como para considerar inexistente la contribución del fondo en dicha radiancia, la radiación total recibida por el sensor ((1) en la Figura 2) se encuentra en función de: -la luz dispersada por la atmósfera (2), -la luz reflejada por la superficie del agua (3) y -la luz que emerge de la capa superficial de la misma (4). Esta última es la única relevante en el estudio del color del océano ya que, a partir de procesos de absorción y dispersión de la luz visible como resultado de su interacción con las partículas presentes en el agua (materia orgánica disuelta y material particulado en suspensión, en donde se incluye a las células vivas del fitoplancton, el sedimento inorgánico y el detrito particulado), produce variaciones en las características espectrales de la radiancia marina. A partir de dicha radiancia pueden analizarse los factores que inducen variación en el color del

mar. En este contexto, el resto de las contribuciones ((2) y (3)) actúan como ruido, y para las mismas existen correcciones específicas (Dogliotti, 2007) (Figura 2).

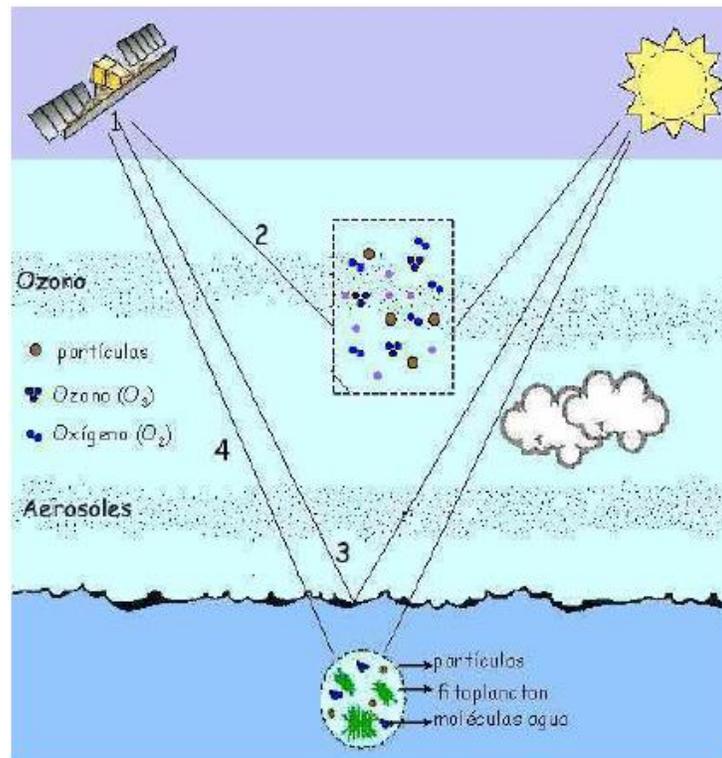


Figura 2. Trayecto e interacciones experimentadas por la luz proveniente del sol previo a ser recibida por el sensor (1); (2) interacción de la luz con los componentes de la atmósfera (p.e. aerosoles y moléculas gaseosas como el ozono y el oxígeno); (3) luz directa reflejada especularmente por la superficie del agua; y (4) la luz emergente del agua luego de interactuar con las sustancias presentes en el cuerpo de agua (p.e. agua, fitoplancton, partículas, etc.). **Fuente:** Dogliotti, 2007.

Si bien el uso de información satelital es de gran utilidad, la misma presenta ciertas limitaciones, especialmente en zonas costeras donde la Chl-*a* no es el único elemento que interactúa con la luz, ya que, la presencia de sedimento y materia orgánica disuelta coloreada (CDOM) modifican las propiedades ópticas alterando asimismo el color del mar. Es por eso que según las propiedades ópticas, los ambientes marinos pueden clasificarse en dos grandes grupos (Jerlov, 1976; Morel y Prieur, 1977):

-Aguas Caso 1: Típicamente oceánicas, son aguas claras con baja concentración de partículas en suspensión donde la Chl-*a* correlaciona positivamente con los coeficientes de

absorción y dispersión, siendo el fitoplancton prácticamente el único componente activo presente en el agua.

-Aguas Caso 2: Aguas costeras, estuariales o de ríos, ópticamente complejas donde el aporte de CDOM, detrito y sedimento son significativamente importantes y, en ocasiones, de igual o superior relevancia que la concentración de Chl-*a*.

En estos últimos, particularmente, la calidad de los datos estimados mediante algoritmos empíricos se encuentra fuertemente ligada a una correcta validación y calibración de los mismos con datos discretos provenientes del área de estudio en cuestión. Dado que los algoritmos globales de los cuales derivan los productos satelitales son desarrollados en otros ambientes con características atmosféricas y propiedades oceanográficas distintas estimando erróneamente las propiedades físico-biológicas del agua en otras regiones (Gordon y Morel, 1983; Odermatt *et al.*, 2012).

1.2. Bio-óptica marina

Las propiedades ópticas del mar se clasifican en *propiedades ópticas inherentes (IOPs)* y *propiedades ópticas aparentes (AOPs)* (Preisendorfer, 1960 , 1976). Las *IOPs* son aquellas que influyen y modifican la reflectancia espectral de los cuerpos de agua, es decir, su color por medio de procesos de absorción y dispersión al interactuar con las partículas presentes en el cuerpo de agua. Las mismas no dependen de la distribución angular del campo de luz incidente, sino que son intrínsecas de la masa de agua, variando solo en función al tipo y concentración de sustancias presentes en el medio (Preisendorfer, 1961; Mobley, 1994). Las *AOPs*, tales como la radiancia, reflectancia y reflectancia teledetectada, dependen tanto de la geometría de iluminación como de la naturaleza y cantidad de sustancia presente (Prieur y Satheyendranath, 1981; Kirk, 1994).

Dentro de las *IOPs* se encuentra el coeficiente de atenuación (*c*), que es definido como la suma de los coeficientes de absorción (*a*) y dispersión (*b*) (ambos en unidades de m⁻¹).

$$c = a + b$$

Los minerales y detritos se encuentran dentro de las sustancias que más dispersan la luz en el medio acuático (Kirk, 1994). Aunque, las células y colonias fitoplanctónicas pueden influir significativamente sobre la dispersión de la luz en el agua. Dicha dispersión dependerá del tamaño, forma, e índice de refracción que tenga cada una de ellas (Babin *et al.*, 2008).

Asimismo, la dispersión puede expresarse como la suma de una dispersión hacia adelante (b_f) y otra hacia atrás, mejor conocida como retrodispersión (b_b).

$$b = b_f + b_b$$

Bricaud y Morel (1986) determinaron coeficientes específicos de dispersión sobre diversos grupos fitoplanctónicos concluyendo que las diatomeas y los coccolitofóridos poseen mayores coeficientes que otros grupos, como por ejemplo los flagelados desnudos. Dado que los coccolitofóridos poseen su cuerpo cubierto de placas calcáreas la dispersión producida es tan fuerte que son fácilmente identificables satelitalmente (Brown y Podestá, 1997).

Las *IOPs* son aditivas, por lo que pueden expresarse como la suma de las propiedades de cada una de las sustancias presentes en el agua. De esta forma la absorción total del agua de mar a determinada longitud de onda ($a_t(\lambda)$), puede ser calculada como la suma de la absorción de cada uno de los cuatro componentes ópticamente activos: el agua pura (w), el fitoplancton (ph), las partículas no algales (nap) y el material coloreado disuelto (CDOM) (Prieur y Sathyendranath, 1981):

$$a_t(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_{nap}(\lambda) + a_{cdom}(\lambda)$$

El agua posee un máximo de absorción dentro del espectro visible, en torno a la región del rojo (700 nm) además de absorber significativamente en la región del infrarrojo (> 700 nm) y ultravioleta (< 350 nm) (Kirk, 1994). El fitoplancton absorbe luz también dentro del visible aunque con dos máximos en torno a 440 nm (azul) y 675 nm (rojo), presentando variaciones en el coeficiente de absorción en función de la especie y estado fisiológico (Morel y Bricaud, 1981).

El CDOM se compone de sustancias orgánicas disueltas como ácidos húmicos y fúlvicos, que pueden tener un origen local, como la degradación del fitoplancton u otras partículas orgánicas, o provenir de fuentes ajenas a la masa de agua como la degradación de

material vegetal terrestre que llega al mar por medio de descargas fluviales. Su espectro de absorción es exponencial presentando una mayor absorción a menores longitudes de onda, con importantes valores en la región del azul y violeta dentro del espectro visible, y una significativa absorción en torno al ultravioleta (Hojerslev, 1998; Del Vecchio *et al.*, 2002; Blough *et al.*, 2002).

Las partículas no algales (*nap*), pueden proceder de diversas fuentes ya sean orgánicas o inorgánicas. Las primeras están compuestas por bacterias, virus, coloides, detrito orgánico (pellets fecales y células muertas) y partículas de mayor tamaño como partículas minerales producidas por la erosión de las rocas. El espectro de absorción del *nap* es muy similar al del CDOM, aumentando hacia la región del azul y ultravioleta (Bricaud *et al.*, 1981). Lo que hace muy difícil su determinación a partir de técnicas satelitales (Gallegos *et al.*, 1990).

1.3. Definición del problema

Bahía Blanca posee uno de los cascos urbanos más importantes de la región, un activo parque industrial y uno de los puertos de aguas profundas de mayor relevancia a nivel nacional. Además, el estuario es sustento de numerosas familias de pescadores artesanales y posee también un importante uso recreacional de alto valor cultural en la zona. Esta diversidad de usos le otorga al ambiente una marcada vulnerabilidad ante la contaminación y degradación de sus aguas (Carozza *et al.*, 2004; Popovich y Marcovecchio, 2008).

Los ambientes estuariales se definen por la interacción entre el aporte de ríos, la mezcla del ambiente marino y los intercambios entre sedimento y agua. La dinámica del material particulado y el ingreso de nutrientes disueltos desde ríos y humedales es un factor determinante para la productividad primaria en la zona costera, por lo que resulta fundamental el análisis y monitoreo de las propiedades físico-químicas y biológicas de las masas de agua en estos ambientes (Davies-Colley *et al.*, 1993; Marques *et al.*, 2007).

El estudio de las relaciones entre las propiedades bio-ópticas, los procesos físicos y componentes del agua en las zonas costeras, en general, y estuariales en particular, es de fundamental importancia para establecer un conocimiento sobre la dinámica espacial y

temporal de los elementos particulados (e.g. organismos, sedimentos, contaminantes) y disueltos (CDOM) en unas de las áreas más impactadas por el uso humano (Chang *et al.*, 2002).

Es aquí donde la teledetección surge como una herramienta complementaria para abordar esta problemática permitiendo obtener datos físicos y biológicos a diversas escalas y resoluciones. Las propiedades bio-ópticas de la superficie marina, como la absorción del fitoplancton (a_{ph}), del material particulado total (a_t) y no-algal (a_{nap}) y del material orgánico coloreado disuelto (a_{cdom}), suelen ser utilizadas como proxy de los parámetros biogeoquímicos que caracterizan a las masas de agua. Estas propiedades pueden ser estimadas a partir de las observaciones del color del océano (IOCCG, 2006) y su relación con las características físico-biológicas del agua permite estudiar, a partir de imágenes satelitales, procesos que son imposibles de abordar sobre la base de mediciones *in situ*. De esta forma, conocer las propiedades ópticas nos permite obtener un sinnúmero de información para realizar un análisis ecosistémico profundo, a partir del estudio de los ciclos biogeoquímicos, variabilidad del fitoplancton, interacción con el océano abierto y la obtención de series de tiempo para un mayor entendimiento de los ambientes costeros en relación a la variabilidad climática y el cambio climático.

Sin embargo, la calidad de estos datos depende fuertemente de la calibración y validación a partir de datos *in situ* provenientes del área de estudio en cuestión (Loisel *et al.*, 2009). Este tema es de fundamental significancia para la ciencia oceanográfica, debido a que los ecosistemas costeros se encuentran entre los sistemas marinos más productivos y ricos en biodiversidad (Vantrepotte *et al.*, 2007). Sin embargo, resultan complejos a nivel ecológico y óptico, debido a la alta variabilidad espacio-temporal resultante como respuesta a los forzantes hidrodinámicos (e.g. corrientes de marea, frentes mareales, turbulencia) y fluctuaciones de los aportes de agua dulce (Vantrepotte *et al.*, 2007).

No existen estudios previos sobre las propiedades bio-ópticas del EBB y su asociación con los parámetros físico-biológicos del área de estudio. El presente trabajo realiza una parametrización de las propiedades ópticas y físicas *in situ* (temperatura, salinidad, turbidez, material particulado en suspensión, clorofila-*a*) del agua del Estuario de Bahía Blanca en distintas zonas del mismo y estudia la interrelación entre las mismas y los forzantes físicos del sistema. Se espera que esta tesis sirva como base para futuros estudios de validación y

calibración de productos satelitales (e.g. clorofila-*a*, CDOM, sedimento en suspensión, turbidez), permitiendo así contar con series de tiempo confiables con alta resolución espacial (300 m) y temporal (diaria) (sensor OLCI-Sentinel 3).

1.4. Antecedentes de estudios de las propiedades bio-ópticas en el Mar Argentino y Zonas Costeras.

Existen escasos trabajos sobre las propiedades ópticas del Mar Argentino. La mayoría de los trabajos han sido basados en el uso de sensores remotos para estudios biológicos enfocados principalmente en la distribución y variabilidad de la Chl-*a* en la plataforma patagónica (Gregg *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2006, Rivas *et al.*, 2006) o en la plataforma continental a baja resolución espacial (~1 km) (Brown y Podesta, 1997; García *et al.*, 2005, 2008). Otros estudios realizaron comparaciones de datos *in situ* de clorofila-*a* con valores estimados a partir de imágenes satelitales en la Plataforma Patagónica Argentina y golfo San Matías (Dogliotti *et al.*, 2009, 2014; Lutz *et al.*, 2010; Williams *et al.*, 2013). Por otro lado, las propiedades bio-ópticas en la zona de talud han sido ampliamente caracterizadas por Ferreira *et al.* (2009), observando importantes variaciones estacionales en los coeficientes $a_{nap}(\lambda)$ y $a_{cdom}(\lambda)$ y mayor proporción de absorción del fitoplancton durante primavera, mientras que la absorción del CDOM primó durante los meses estivales (Ferreira *et al.*, 2009).

Para el caso de ambientes costeros y aguas ópticamente complejas existen interesantes trabajos, entre los que se destaca el establecimiento de una estación de monitoreo costera denominada Estación Permanente de Estudios Ambientales (EPEA) situada a 50 km de la costa de Mar del Plata. Siendo un punto permanente de muestreo, donde desde el año 2000 se realizan mediciones periódicas de parámetros físicos y biológicos de la columna de agua y propiedades bio-ópticas (Lutz *et al.*, 2006). Posteriormente Lutz *et al.* (2016) realizaron la caracterización de las propiedades bio-ópticas del estrecho de Magallanes, mientras que Williams *et al.* (2016) documentaron las propiedades bio-ópticas del golfo San Jorge, concluyendo que son aguas tipo 2 cuyo espectro de absorción es dominado por el CDOM.

El sector sur del ecosistema costero bonaerense comprende el área denominada “El Rincón”, reconocida por su alta biodiversidad y relevancia ecológica. Recientemente Delgado

et al. (2015) caracterizaron la variabilidad de las propiedades ópticas inherentes satelitales en distintos sectores de la plataforma media e interna perteneciente a la zona de “El Rincón”, y su relación con la presencia del estuario de Bahía Blanca (EBB) concluyendo que la zona costera es el área más productiva, donde se observaron elevados valores de los parámetros estudiados durante todo el año (Chl-*a*: 2,6 mg m⁻³; *a_{ph}*: 1,9 m⁻¹), con máximas abundancias en invierno y otoño. Asimismo, el frente de plataforma media mostró máximas concentraciones de Chl-*a* (>3 mg m⁻³) en primavera y los valores absolutos más elevados de toda la región (Delgado *et al.*, 2015).

1. 5. Estudios de las propiedades ópticas en ambientes estuariales

Si bien en Argentina aún no se han realizado estudios *in situ* sobre las propiedades bio-ópticas en estuarios, se han desarrollado importantes trabajos en otros países. Gallegos *et al.*, (2005) investigaron la magnitud y variabilidad estacional e interanual de las propiedades bio-ópticas sobre el río Rhode (bahía de Chesapeake), durante los años 2000 y 2001 concluyendo que la variación en los constituyentes ópticamente activos respondió de forma significativa a un patrón estacional y que en conjunto tanto el fitoplancton como el *nap* fueron los parámetros que dominaron la absorción de la luz. Por otro lado, Chen *et al.* (2010) analizaron el comportamiento a corto plazo del sedimento y fitoplancton en la bahía de Tampa (Florida, USA), mediante el uso de sensores ópticos y acústicos, definiendo a los vientos, mareas y corrientes asociadas como los principales forzantes en la variación de dichas propiedades sobre ambientes costeros y estuariales. Durante el período estudiado observó que la concentración de Chl-*a* fue del orden de 3,7 mg m⁻³, asimismo tres eventos de fuerte viento (velocidad promediada por hora >8,0 m s⁻¹) produjeron una importante resuspensión de sedimento detectable a partir de imágenes MODIS, con la consecuente removilización de nutrientes que provocaron posteriormente un aumento en la biomasa fitoplanctónica (Chl-*a* > 12 mg m⁻³).

Lund-Hansen *et al.*, (2010), registraron la variación espacial de las propiedades ópticas a lo largo de 12 estaciones definidas en Kangerlussuaq (Groenlandia), encontrando una disminución en las propiedades ópticas desde la cabecera del estuario dominado por aguas de deshielo para volverse relativamente constante en la zona central y exterior del fiordo. El

material particulado en suspensión varió entre $372,7 \text{ g m}^{-3}$ en la región más interna y $2,3 \text{ g m}^{-3}$ en región netamente marina. La Chl-*a* mostró una leve variación espacial con un promedio de $1,17 \text{ mg m}^{-3}$, y el CDOM mostró coeficientes de absorción que oscilaron entre 0,36 y $0,046 \text{ m}^{-1}$ desde la región más interna hacia la más externa, respectivamente.

Finalmente, Le *et al.* (2013) analizó la variación estacional y espacial de las propiedades ópticas (IOP's & AOP's) sobre la bahía de Tampa (Florida, USA) observando que para los dos análisis realizados las IOP's y AOP's variaron significativamente, donde las IOP's abarcaron dos órdenes de magnitud y mostraron una fuerte co-variación. Durante la estación húmeda, la región del azul-verde fue dominada por el CDOM, mientras que en la estación seca se observó una contribución conjunta de las tres propiedades.

1.6. Hipótesis

- *Las propiedades bio-ópticas del agua del estuario de Bahía Blanca tienen una estrecha relación con los parámetros bio-físicos y como resultado presentan una variación espacial y temporal significativa.*

1.7. Objetivos generales y específicos

Se plantea como objetivo general conocer las propiedades bio-ópticas del estuario de Bahía Blanca y su relación con los componentes ópticamente activos del agua en diferentes zonas del estuario y en distintos estados de marea.

Objetivos específicos:

- **Objetivo 1:** Caracterizar la variación temporal y espacial de la temperatura superficial, salinidad, material particulado en suspensión (MPS) [mg l^{-1}] y concentración de Chl-*a* [mg l^{-1}].
- **Objetivo 2:** Determinar las curvas de absorción de los componentes del agua de mar ópticamente activos: $a_{cdom}(\lambda)$ [m^{-1}] (materia orgánica coloreada disuelta), $a_{ph}(\lambda)$ [m^{-1}]

(material particulado pigmentado) y $a_{nap}(\lambda)$ [m^{-1}] (material particulado detrítico o no-pigmentado).

- **Objetivo 3:** Realizar mediciones radiométricas *in situ*, a fin de caracterizar la curva espectral de la reflectancia del agua en diferentes condiciones de marea y áreas del estuario.
- **Objetivo 4:** Relacionar las propiedades ópticas con las propiedades físico-biológicas del agua.
- **Objetivo 5:** Establecer la influencia del estado de marea sobre las propiedades físico-biológicas y en consecuencia sobre las propiedades bio-ópticas.
- **Objetivo 6:** Caracterizar y tipificar las aguas del estuario de acuerdo con las propiedades bio-ópticas (contribución relativa de componentes) espacial y temporalmente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio es el estuario de Bahía Blanca (EBB) ($38^{\circ}45'$ – $30^{\circ}40'$ S, $61^{\circ}45'$ – $62^{\circ}30'$ O) localizado al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, (Figura 3). El EBB se caracteriza por ser un sistema de aguas turbias, poco profundas y homogéneas (Perillo y Cuadrado, 1990; Perillo *et al.*, 2004;). Asimismo, diversos estudios lo definen como un ambiente altamente eutrófico y contaminado por descargas cloacales no tratadas (Biancalana *et al.*, 2012; Dutto *et al.*, 2014), hidrocarburos (Arias *et al.*, 2010), metales pesados (p.e. Fernandez Severini *et al.*, 2013) y compuestos de organestano (Delucchi *et al.*, 2007).

El EBB cubre una superficie aproximada de 2300 km², presentando extensos canales de marea en dirección NO-SE separados entre sí por marismas bajas, planicies de marea e islas (Piccolo y Perillo, 1990). El Canal Principal es la vía navegable más importante de acceso al estuario, extendiéndose en forma de embudo desde la cabecera hacia la boca con un ancho variable que oscila entre 200 m y 3000/4000 m, respectivamente. Presenta a su vez una longitud aproximada de 80 km en dirección NO-SE con profundidades que varían entre 3 y 20 m (Perillo *et al.*, 2004; Piccolo y Perillo 1990) (Figura 3).

Espósito (1986) realizó una descripción general de la morfología del estuario, dividiendo la región en tres grandes zonas: exterior, media e interior. El sector externo se corresponde con la porción adyacente a la línea imaginaria que une Punta Tejada con Punta Laberinto, este sector presenta altas planicies de marea separadas del mar por barreras de arena. El sector interno se define desde el continente hacia el oeste y una línea imaginaria que se extiende desde Puerto Belgrano hacia el medio de la Península Verde, el cual se caracteriza por extensas marismas salinas y planicies de marea. Entre estas dos regiones se ubica el sector medio, el cual posee extensas regiones intermareales.

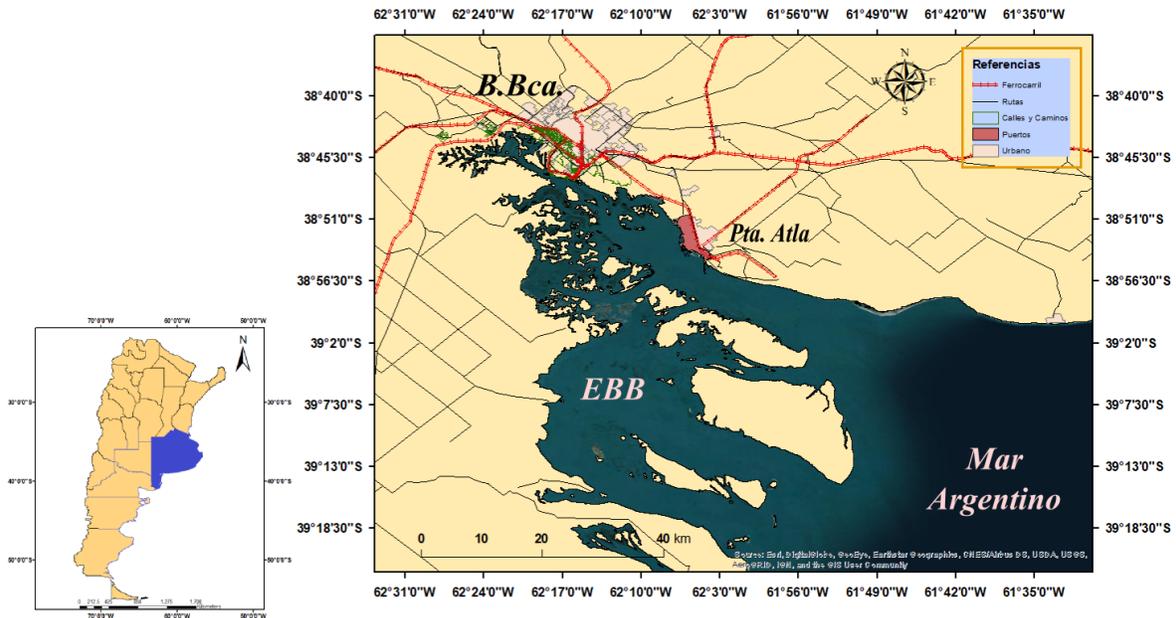


Figura 3: Mapa del estuario de Bahía Blanca. Se observa Argentina en el borde inferior izquierdo, resaltado en azul la provincia de Buenos Aires. Abreviaciones: B.Bca.: Bahía Blanca; Pta. Alta: Punta Alta; EBB: Estuario de Bahía Blanca.

Hidrografía

El agua dulce ingresa al ambiente principalmente por medio del río Sauce Chico y el arroyo Napostá Grande, cuyo caudal medio anual es de 1,9 y 0,8 m³ s⁻¹, respectivamente (Perillo *et al.*, 2004). Existen además pequeños tributarios capaces de aportar menor cantidad de agua dulce durante períodos de intensa precipitación (Perillo y Piccolo, 1999).

En cuanto a la distribución de la salinidad, la zona interna del estuario ha sido definida como un ambiente verticalmente homogéneo en condiciones normales de esorrentía, aunque con fuerte tendencia a volverse de mezcla parcial en períodos de abundante precipitación (Perillo *et al.*, 2004). En líneas generales, a lo largo del estuario se observa un crecimiento exponencial de la salinidad media desde la cabecera hacia la zona media, donde se alcanza un mínimo local producto de la descarga del arroyo Napostá combinado con la descarga de la cloaca estimada en 10 m³ s⁻¹ (Piccolo y Perillo, 1990). Los valores de salinidad pueden oscilar entre 17,9 y 41,3 (Freije y Marcovecchio, 2004). La temperatura del agua varía entre 24,6 °C en verano y 7 °C durante el invierno (Popovich y Marcovecchio, 2008).

La circulación general del estuario se encuentra regida por una onda de marea cuasi estacionaria semidiurna, motivo por el cual las situaciones de estoa ocurren cerca de las bajamares y pleamares, mientras que las máximas velocidades de corrientes se registran en situaciones de media marea bajante o creciente (Perillo *et al.*, 2004). La onda de marea se encuentra altamente afectada por la geomorfología del ambiente, siendo las interacciones más comunes la reflexión de la onda en la cabecera y flancos del canal, transformando a la onda originalmente progresiva en estacionaria. Asimismo, la fricción ejercida sobre las paredes y el fondo, como así también la geometría del canal generan que la marea tenga una menor energía (Perillo *et al.*, 2004). Perillo y Piccolo (1991) determinaron que la disipación media de la energía de marea por unidad de masa de fluido debido a la fricción es del orden de $0,0017 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$.

Perillo y Piccolo (1991) Siguiendo la clasificación de Le Floch (1961) definieron al EBB como de tipo hipersincrónico en el cual, la convergencia supera la fricción produciendo un aumento de amplitud de marea desde la boca hacia la cabecera. En consecuencia, el rango de marea aumenta progresivamente desde la boca (2,2 m), hacia la cabecera alcanzando 3,6 m en el puerto de Ingeniero White (Perillo *et al.*, 2004) (Figura 3).

Las corrientes de marea son asimétricas, reversibles con velocidades de bajar superior a las de pleamar, alcanzando valores de $1,3 \text{ m s}^{-1}$ en superficie y gradientes verticales de $1,2$ y $1,05 \text{ m s}^{-1}$ en condiciones de marea bajante y subiente, respectivamente (Cuadrado *et al.*, 2005). El viento puede afectar la circulación estuarial produciendo olas y ondas de interferencia como resultado de su interacción con la marea local. A altas frecuencias, el viento puede producir dos tipos de olas: olas de viento o de interacción. Las primeras son normalmente pequeñas, con entre 5-10 cm de alto y 1-3 m de longitud de onda y son evidentes sobre los canales y planicies de marea. Las olas de interacción se producen por la acción conjunta de la marea y el viento, producto de la climatología propia de la región. Por otro lado, cuando la dirección del viento es paralela al Canal Principal (SO o NO), genera retrasos y diferencias en la altura de la marea con respecto a la marea predicha. En general, cuando el viento sopla en dirección NO produce una disminución del nivel medio del mar, debido a la acción contraria del viento y la onda de marea. En contraposición, los vientos del SE generan el efecto contrario (Perillo *et al.*, 2004).

Perillo y Piccolo (1991) estudiaron las desviaciones de los valores astronómicos durante dos años de registros horarios simultáneos para la Torre Oceanográfica y el Puerto Ingeniero White, encontrando 24 casos en que las desviaciones eran mayores a 2 m con máximos de -4,01 y 2,39 m en Ing. White y de -1,51 y 1,87 m para la Torre Oceanográfica. Para ambos casos los valores negativos coinciden con vientos del NO y los positivos con vientos del SO. Determinaron además que los vientos que soplan transversales a los canales tienen mayor influencia en pleamar induciendo una sobrelevación del nivel del mar en la costa.

Las corrientes residuales juegan un rol fundamental en el EBB controlando la importación y exportación de sustancias disueltas y particuladas, por medio de dos mecanismos: la velocidad de flujo residual y la velocidad residual (Campuzano *et al.*, 2008). La velocidad de flujo residual integra verticalmente el flujo específico de agua residual, expresándolo en m s^{-1} y tiene especial relevancia en el transporte de sustancias disueltas sobre la columna de agua. Perillo *et al.*, (1987); Pierini (2007) y Campuzano *et al.*, (2008) concluyen que, sobre la cabecera del Canal Principal, el transporte neto en áreas profundas es hacia el mar, mientras que en aguas poco profundas lo es hacia la tierra. Sobre la boca del Canal Principal puede observarse un patrón de recirculación, producto de la geomorfología del lugar que cuenta con numerosos canales que interconectan zonas intermareales (Campuzano *et al.*, 2008). Como consecuencia, los nutrientes disueltos son transportados desde áreas intermareales hacia la boca del Canal Principal, retrasando su exportación hacia mar abierto.

En el EBB existe un transporte neto desde la marisma hacia el Canal Principal (Campuzano *et al.*, 2008). Pierini (2007) determinó que los canales de marea exportarían sedimento y otras partículas hacia el Canal Principal, favoreciendo el proceso de erosión en zonas intermareales. La distribución de los materiales sedimentarios dentro del estuario es consecuencia directa de la dinámica que presenta el ambiente. La erosión sobre los flancos de los canales resuspende y moviliza los sedimentos, produciendo una diferenciación en la modalidad de transporte y posterior deposición de los mismos. Los sedimentos finos (Limos y Arcillas) componen los materiales cohesivos que son transportados en suspensión por la columna de agua produciendo el alto grado de turbidez observado en el estuario. Mientras que las arenas son trasladadas por la acción de las corrientes de marea sobre el fondo del canal (tracción, rolido, saltación) (Cuadrado *et al.*, 2005).

Climatología

El clima del área de estudio es templado caracterizado por veranos e inviernos bien marcados y primaveras y otoños moderados. La temperatura anual media oscila entre 14 – 20 °C. La precipitación media anual es de 613 mm, los valores máximos corresponden a los meses de marzo (90,9 mm) y octubre (80,9 mm). Los mínimos se dan en invierno y el mes de junio es el más seco (16,5 mm). En la estación cálida la temperatura alcanza máximos que superan los 40 °C y los inviernos suelen presentar marcadas olas de frío (excepcionalmente se han registrado mínimos de -11,8 °C, Campo 2004). La velocidad media del viento fluctúa entre 22 y 24 km h⁻¹ con prevalencia de los sectores NO, N, y NE. Altas velocidades de viento se observan en dirección SE, especialmente durante los meses de primavera y verano. El invierno es la estación del año con mayores días de calma y menores velocidades de viento (SMN, 2004). La zona se encuentra sujeta a un importante fenómeno regional costero denominado *Sudestada* durante el cual se presentan fuertes vientos con dirección SE que superan los 35 km h⁻¹, lluvias persistentes y bajas temperaturas (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

Importancia ecológica del área de estudio

Desde el punto de vista ecológico, el EBB provee un sinnúmero de servicios de gran relevancia para el ambiente y, consecuentemente, para las actividades humanas que de allí derivan. Una de las comunidades marino-costeras de mayor relevancia ecológica son las marismas, plantas vasculares características de regiones subtropicales y templadas, capaces de proveer diversas funciones ecológicas claves para la salud de ambientes costeros y estuariales, en particular: producción primaria, fuente de alimento, provisión de hábitats, estabilización de sedimentos y biofiltración (Parodi, 2004). En conjunto con las algas bentónicas que crecen sobre y entre ellas, permiten reciclar o retener gran parte de las sustancias contaminantes que llegan al ambiente por medio de aguas residuales urbanas e industriales (Parodi, 2004). La producción primaria neta en ambientes costeros y estuariales es desproporcionada en relación a lo observado en mar abierto, dado que el aporte de nutrientes derivados del continente, acentuado fuertemente por la actividad humana, combinado con la baja profundidad y la presencia de diversos mecanismos físicos que facilitan la redistribución de elementos en la columna de agua, (olas, mareas y vientos) permiten a dichos ambientes sostener elevadas biomásas fitoplanctónicas y posteriormente, un amplio desarrollo de la trama trófica.

El ciclo anual del fitoplancton dentro del área de estudio se caracteriza por presentar una singular floración de invierno – primavera temprana ($\text{Chl-}a > 25 \mu\text{g l}^{-1}$; Guinder *et al.*, 2014) dominada principalmente por diatomeas. Estos organismos se encuentran altamente adaptados a crecer bajo condiciones de poca luz, elevada concentración de nutrientes y alta turbulencia. Las especies recurrentes en esta floración son varias, aunque la más representadas suele ser *Thalassiosira curviseriata* (Popovich y Marccovechio, 2008; Guinder, 2009).

El EBB, al igual que otras áreas estuariales, tiene una función muy especial en la biología de los peces, actuando como área de alimentación y cría para numerosas especies ictícolas de gran valor comercial, permitiendo así el desarrollo de una actividad pesquera en la región, que incluye a un grupo de especies comúnmente denominado “variado costero”. Esta actividad constituye una importante fuente laboral y promueve el desarrollo regional al ser sustento de comunidades de pescadores que emplean embarcaciones de pequeña y mediana escala (Carozza *et al.*, 2004).

2.2. Tipo de diseño de la investigación y métodos

Ante la falta de estudios previos sobre las propiedades bio-ópticas del EBB y su asociación con los parámetros físico-biológicos del área de estudio, se dispuso a realizar una parametrización de las propiedades bio-ópticas y físicas *in situ* del agua del estuario de Bahía Blanca en distintas zonas del mismo (puerto de Ingeniero White, canal del Medio y Canal Principal), con el objetivo de analizar la interrelación entre las mismas y los forzantes físicos del sistema a partir de un total de diecisiete muestras.

2.2.1. Obtención de las muestras

Se realizaron cuatro muestreos durante el mes de septiembre en diferentes zonas del estuario: puerto de Ingeniero White, canal del Medio y Canal Principal (Tabla 1, Figura 4). En el Puerto de Ingeniero White se realizaron dos muestreos sobre el muelle del club Náutico. El muestreo del canal del Medio se realizó a bordo del buque Buen día Señor (Figura 5.A)

perteneciente al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), donde fueron colectadas un total de siete muestras cubriendo medio ciclo de marea.

La cuarta campaña se realizó a lo largo del Canal Principal a bordo de un velero Stewart 26 a cargo del capitán Rodolfo Amaya (Figura 5.B), se cubrió una longitud total de 18,5 km abarcando desde la boya 32 (38°48,103' - 62°15,351') hasta la boya 22 (38°55,296' -62°06,607') sobre el veril norte del Canal Principal, las estaciones se establecieron en las boyas pares (Figura 4).

Tabla 1. Campañas realizadas en el Estuario de Bahía Blanca.

Fecha	Hora	Sitio	Estado de Marea	Latitud	Longitud
1/9/2017	11:30	Club Nautico	Subiente	38°47'22"	62°16'45"
7/9/2017	9:15	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
7/9/2017	10:15	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
7/9/2017	11:00	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
7/9/2017	12:00	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
7/9/2017	13:00	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
7/9/2017	14:00	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
7/9/2017	15:00	Canal del Medio	Bajante	38°49'40"	62°17'20"
15/9/2017	11:00	Club Nautico	Subiente	38°47'22"	62°16'45"
27/9/2017	10:09	Boya 32	Subiente	38°48.103'	62°15.351'
27/9/2017	11:00	Boya30	Subiente	38°49.60'	62°13.464'
27/9/2017	11:45	Boya 28	Subiente	38°51.085'	62°12.981'
27/9/2017	12:16	Boya 26	Bajante	38°53.153'	62°10.866'
27/9/2017	12:51	Boya24	Bajante	38°54.379'	62°08.118'
27/9/2017	13:18	Boya22	Bajante	38°55.296'	62°06.607'
27/9/2017	13:40	Boya 22 ¹	Bajante	38°55.326'	62°06.755'
27/9/2017	14:12	Boya 24 ²	Bajante	38°54.379'	62°08.118'

¹Muestra colectada sobre el medio del Canal; ²Réplica de boya 24 tomada durante el regreso al puerto.

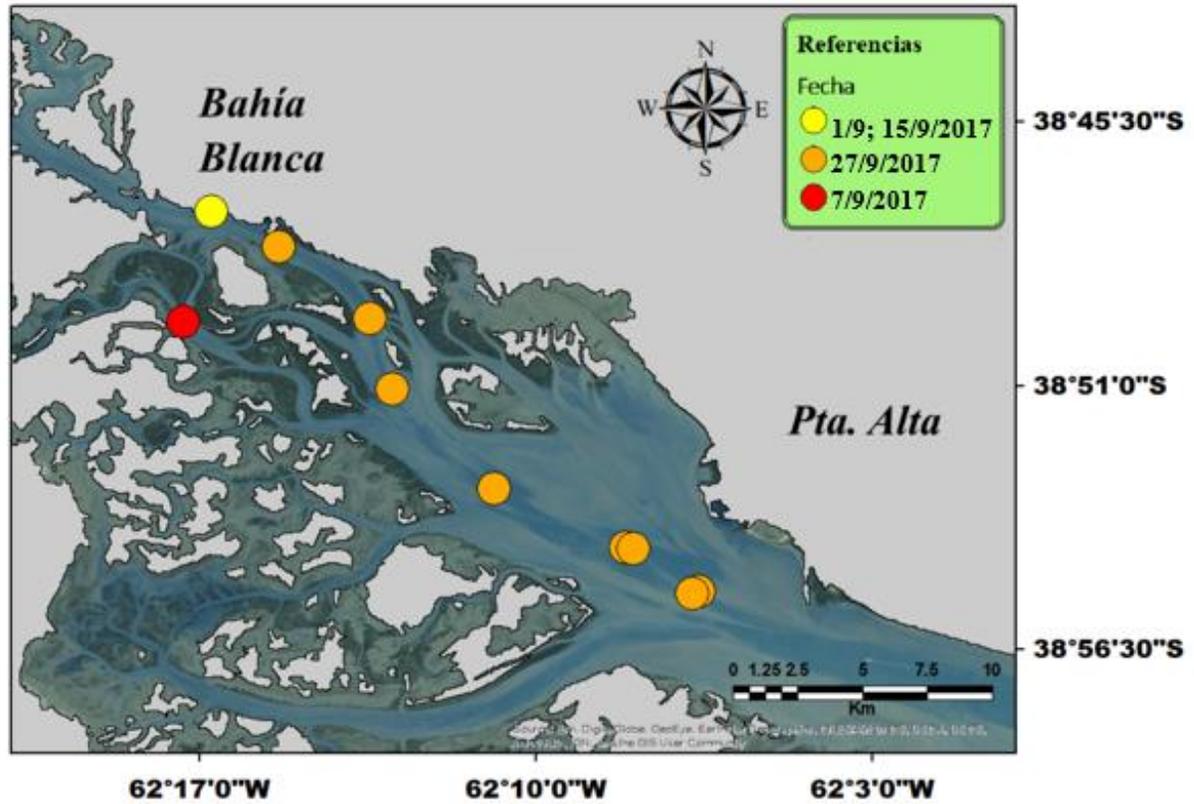


Figura 4. Ubicación y fecha de los muestreos realizados en el EBB.

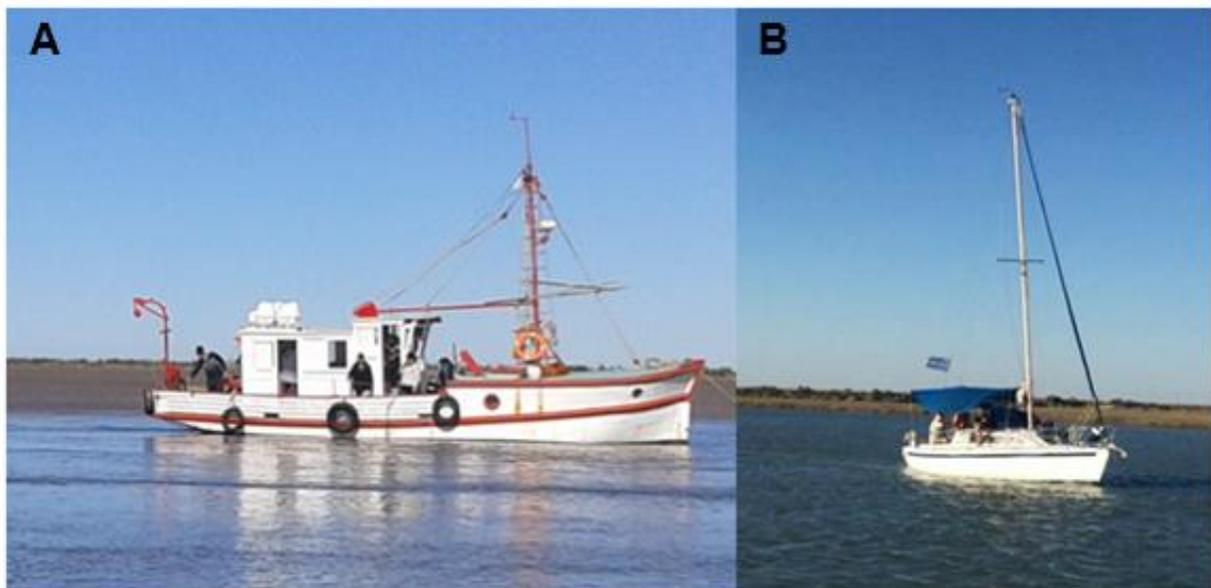


Figura 5. Embarcaciones utilizadas para la toma de datos. **A.** Buque oceanográfico Buen día Señor (IADO); **B.** Velero “Singular” modelo Stewart 26.

2.2.2. Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos de la columna de agua (temperatura, pH, salinidad y conductividad) fueron determinados *in situ* por medio de una sonda YSI equipada con los sensores correspondientes (Figura 6.A). La calibración de los sensores de conductividad y pH se verificó pre-campaña, utilizando soluciones patrón.

2.2.3. Turbidez

Se estimó por medio de un turbidímetro portátil Hach 2100Q IS (Figura 6.B), el cual se basa en el coeficiente de dispersión lateral (b_{90}) de la luz ($\lambda 860$ nm). El parámetro estimado de esta forma se corresponde con la definición de turbidez según norma ISO 7072. Una muestra de 10 ml de agua de mar se colocó en la ampolla de medición y se registró un valor de turbidez en el rango 0-1000 FNU (Formazin Nephelometric Unit). La calibración pre-campaña se realizó con suspensiones standard STABLCAL (suspensiones estabilizadas de Formacina) de 10, 20, 1000 y 8000 FNU más una determinación en agua destilada (Nechad *et al.*, 2010). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.4. Determinación de material particulado en suspensión (MPS)

A partir de la muestra de agua colectada se filtró un volumen variable de 150 - 200 ml de agua, en función de la cantidad de sedimento presente en la muestra, a través de filtros GF/F (diámetro de poro 0,7 μ m), previamente calcinados en mufla a 500 °C y pesados (Figuras 7 A y B). Posteriormente el filtro fue secado en estufa a 60 °C durante 24 hs y se repitió el pesaje para la estimación de MPS.



Figura 6. A. Sonda multiparamétrica YSI Pro 1030, B. turbidímetro portátil Hach 2100Q IS.

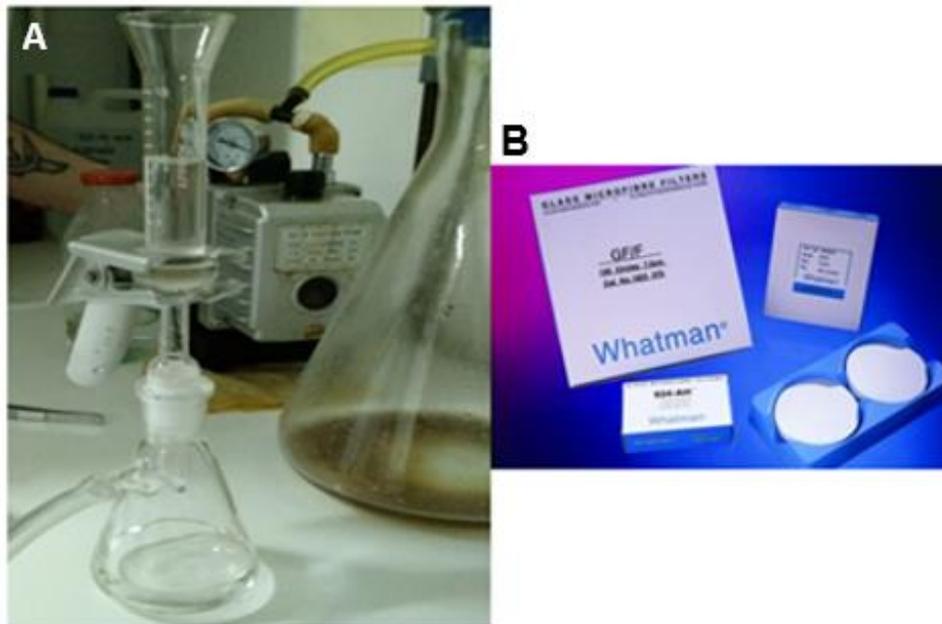


Figura 7. A. Equipo de filtrado para determinación de MPS; B. filtros GF/F con diámetro de poro: 0,7 μm .

2.2.5. Determinación de concentración de Clorofila-*a* total (TChl-*a*), clorofila-*a* asociada a la fracción microfitoplanctónica (micro Chl-*a*) y clorofila-*a* asociada al picofitoplancton y nanofitoplancton (pico + nano Chl-*a*)

La colecta y conservación de muestras hasta su filtrado se realizó en envases limpios, libres de residuos ácidos y cubiertos con papel aluminio para proteger el contenido de la luz solar directa. El filtrado de muestras se realizó a baja presión de vacío (<5 PSI), con filtros de fibra de vidrio (tipo Whatman grado GF/F tamaño de poro 0,7 μm). Para la determinación de Chl-*a* total se filtraron directamente las muestras de agua de mar. Para la determinación de la concentración de pico + nano Chl-*a*, las muestras de agua obtenidas *in situ* fueron filtradas previamente a través de una malla de 20 μm y el agua pre filtrada a través de la malla fue nuevamente filtrada con el filtro de fibra de vidrio GF/F para determinar la fracción de Clorofila-*a* asociada a fitoplancton con tamaño de célula menor a 20 μm . Dicha fracción de Clorofila-*a* representa la contribución conjunta de picofitoplancton y nanofitoplancton (Ferreira *et al.*, 2013). La diferencia entre Chl-*a* total y pico + nano Chl-*a* resulta en la contribución de microfitoplancton (micro Chl-*a*).

Inmediatamente luego del filtrado, los filtros GF/F se envolvieron en papel de aluminio y se conservaron en ultrafreezer (-80 °C) hasta su análisis. La extracción se realizó con acetona 90 % (8 ml) durante 12 horas en freezer (-20 °C). Las determinaciones fueron realizadas por fluorimetría con un espectro fluorómetro Shimadzu RF 5301 PC (Figura 8). Se siguió el método selectivo para medir Clorofila-*a* propuesto por Welschmeyer (1994) que minimiza la interferencia de Clorofila-*b* y feopigmentos y evita la etapa de acidificación. La calibración del instrumento se realiza en forma periódica (dos veces al año) utilizando soluciones de Clorofila-*a* pura de cianobacteria *Anacystis nidulans* (Sigma C-6144). Bibliografía previa establece un volumen de 50 ml de muestra como el adecuado para el sitio.



Figura 8. Espectro fluorómetro Shimadzu RF 5301 PC.

2.3. Curvas de absorción de los componentes ópticamente activos

Las curvas de absorción de los componentes del agua de mar ópticamente activos se determinaron a partir de las muestras colectadas, las cuales fueron filtradas dentro de las cuatro horas posteriores a la extracción. Las lecturas del material coloreado disuelto (CDOM) fueron realizadas en un espectrofotómetro UV-Vis. Agilent Cary 60 (Figura 9.A) (LIUC, Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur). Las lecturas de la absorción del material particulado pigmentado y de-pigmentado, se realizaron en un espectrofotómetro Shimadzu UV2450, doble haz perteneciente al Instituto Nacional de Desarrollo Pesquero, (INIDEP) (Figura 9.B).

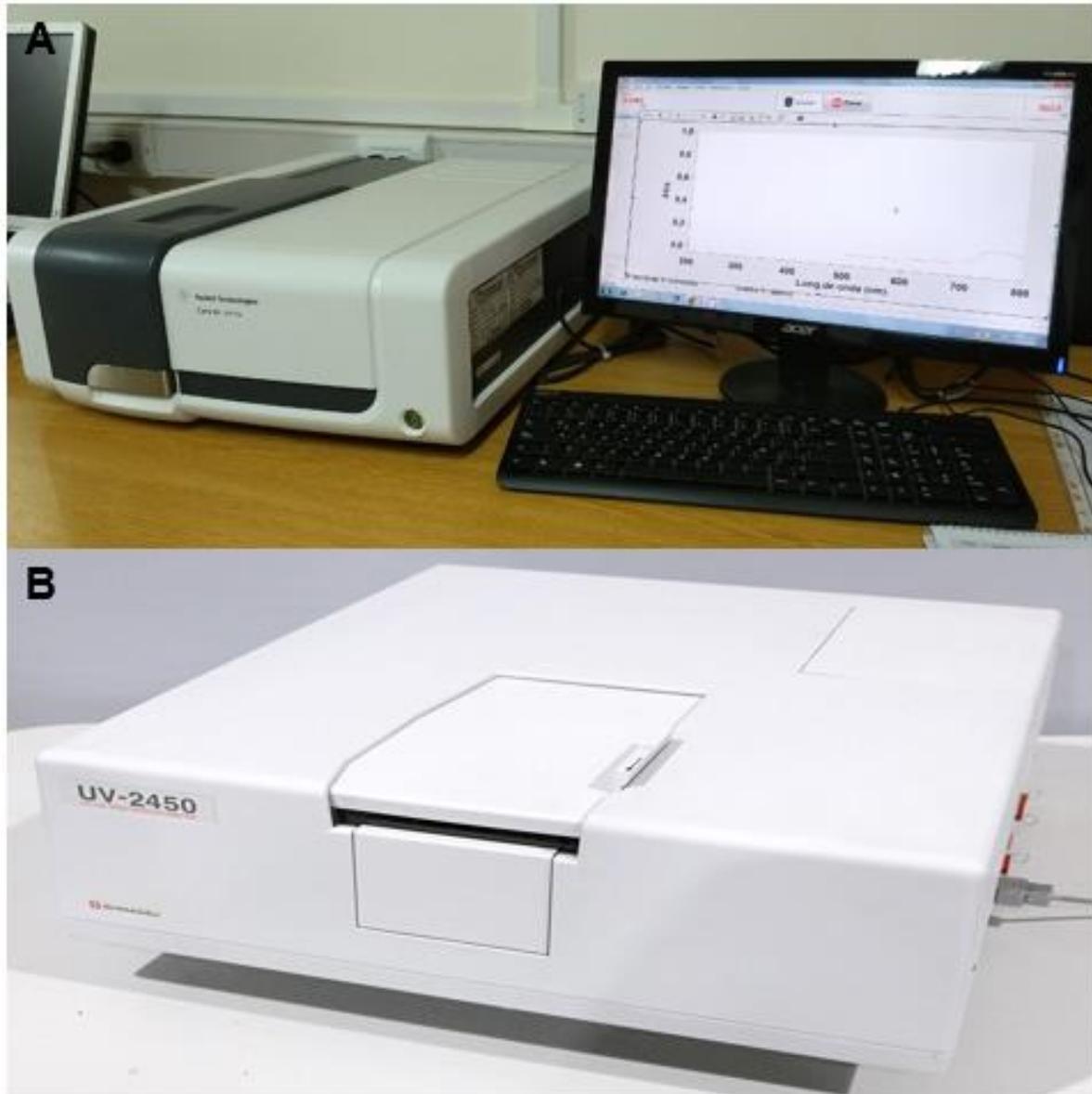


Figura 9. A Espectrofotómetro UV-Vis. Agilent Cary 60 utilizado para lecturas de CDOM. B Espectrofotómetro Shimadzu UV2450, doble haz (INIDEP) utilizado para lecturas de material particulado pigmentado y de-pigmentado.

2.3.1. Curvas de absorción del material particulado pigmentado (a_{ph}) y del material particulado de-pigmentado (a_{nap})

A partir de 40 ml de muestra se realizó un filtrado a baja presión de vacío (<5 PSI), con filtros de fibra de vidrio (tipo Whatman grado GF/F tamaño de poro 0,7 μm) (Figura 4.B)

conservando el material en ultrafreezer (-80 °C) hasta su posterior análisis. Se estimó la curva de absorción del material retenido en el filtro (a_{total}), en el rango de longitudes de onda 300-800 nm utilizando como blanco un filtro humedecido con agua de mar filtrada (0,22 μm). Para depigmentar el material particulado se colocó nuevamente el filtro en el equipo de filtración, agregando 10 ml de metanol 100 % y luego de 1 minuto se filtró. Agregando nuevamente metanol 100 % (15 ml) con la bomba apagada y manteniendo el filtro inmerso durante 1 hora. Finalmente se filtró y se enjuagó con 20 ml de agua de mar filtrada. El filtro blanco fue sometido al mismo proceso y se realizó la lectura de la curva de absorción de $a_d(\lambda)$. Para cada uno de los espectros (a_{total} y a_{nap}) se restó del valor promedio de OD 790-800 nm a cada punto del espectro. Luego se aplicó el factor de corrección por la amplificación del camino óptico o Beta-factor, mediante el uso de la ecuación cuadrática de Mitchell (1990), utilizando los parámetros propuestos por Hoepffner y Sathyendranath (1992). Se hizo la conversión de OD a absorción y finalmente fue estimada la curva de absorción de $a_{ph}(\lambda)$ como la diferencia de los espectros corregidos de $a_{total}(\lambda)$ y $a_{nap}(\lambda)$.

La determinación de absorciones en aguas ópticamente complejas por medio de métodos espectrofotométricos puede ser un tanto dificultosa en aquellos casos en que el contenido de sedimento sea muy alto, ya que el mismo interactúa con la luz dispersándola. Es por eso que no se presentarán en esta tesis aquellas muestras que por su alta carga sedimentaria la absorción en torno al visible cercano haya arrojado valores negativos.

2.3.2. Curvas de absorción del material orgánico coloreado disuelto (a_{cdom})

El filtrado de la muestra se realizó de forma similar al descrito en el punto anterior, con especial cuidado y con material debidamente acondicionado a fin de evitar la contaminación de la muestra (Figura 10.A). Las lecturas se realizaron en celda de cuarzo de 10 cm de paso óptico (Figura 10.B). Previo a la determinación la celda se enjuagó con etanol calidad pro-análisis y agua ultra pura (Milli-Q). La curva de absorción se determinó en el rango de longitudes de onda 250 a 750 nm. Verificando en cada oportunidad que la línea de base del equipo (espectro aire-aire) no se aparte del rango $0 \pm 0,005$. Se tomó como blanco de cada lectura el espectro aire-aire. En cada oportunidad y con el mismo equipo y celda, se realizaron

varias curvas de absorción de muestras de agua ultra pura (Milli-Q). El promedio de estas lecturas fue considerado espectro “agua”. Para evaluar la posible contaminación en el sistema de filtrado se sometió una muestra de agua ultra pura al mismo procedimiento a fin de comparar luego dicho espectro con el espectro “agua”. Luego se corrigió cada espectro restando el promedio de absorción entre 460 y 470 nm (*null value* del agua). La curva de absorción a_{cdom} se determinó por diferencia entre la curva de absorción de la muestra y el “agua”. A la curva obtenida se le restó el promedio de la absorción en el rango entre 590 y 600 nm (*null value* del CDOM según Mitchell, 2003). Finalmente se realizó la conversión de OD a absorción considerando el paso óptico de la celda.

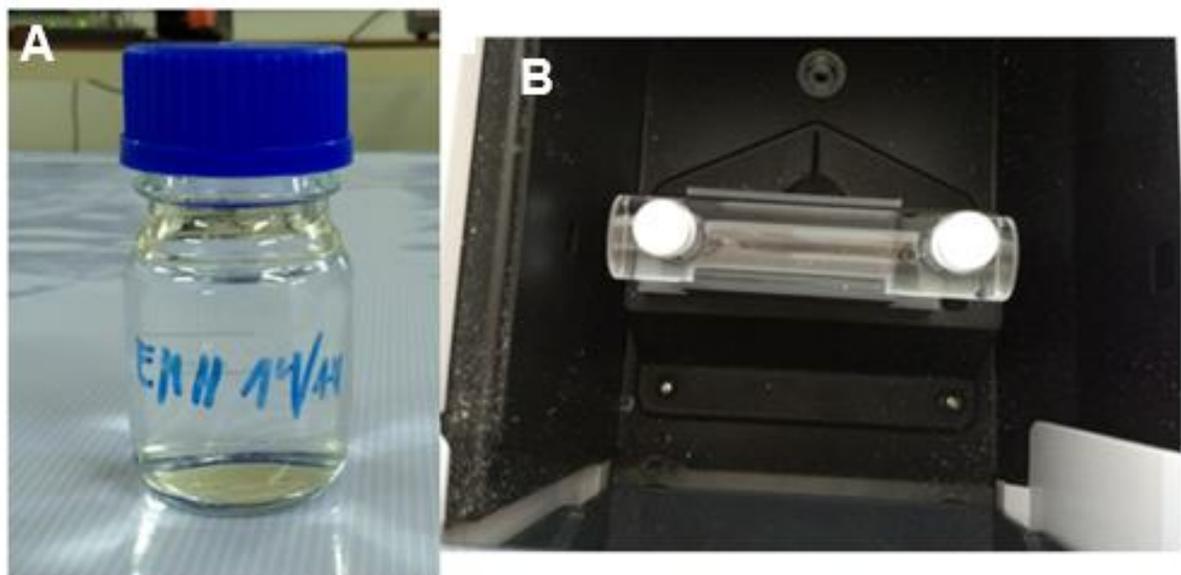


Figura 10. A. Muestra de CDOM acondicionada previo a su lectura en Espectrofotómetro; B. celda de cuarzo con 10 cm de paso óptico.

2.4. Mediciones radiométricas *in situ*

Las mediciones radiométricas *in situ* se realizaron en paralelo a la colección de muestras, utilizando un espectroradiómetro Ocean Optics modelo HR4000CG y accesorios (Figura 11.A), disponible en el IADO (adquirido a través del PICT-E-2014-0030). Dicho espectroradiómetro mide radiancia con resolución espectral completa en el rango 200-1100 nm y máxima eficiencia entre 200 y 1050 nm. Además, cuenta con un filtro OFLV variable que

permite eliminar efectos de segundo y tercer orden. Las mediciones se realizaron con una sonda de fibra óptica con un campo de observación (FOV) de 25° y una lente colimadora acoplada, a fin de obtener ángulos colimados de 2° . Se obtuvieron lecturas de radiancia incidente, radiancia proveniente de la superficie marina y radiancia reflejada por un estándar Spectralon que posteriormente se usaron para estimar la reflectancia de la superficie marina (Mueller *et al.*, 2003). Todas las mediciones descriptas fueron realizadas bajo los lineamientos generales de los protocolos NASA-Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Sensor Validation, pero se describen aquí pequeñas variantes ajustadas a los procedimientos que están siendo empleados en la Estación Permanente de Estudios Ambientales (EPEA) y en las estimaciones radiométricas llevadas a cabo en el Río de la Plata (Dogliotti *et al.*, 2014, Gossn *et al.*, 2016).

La medición se realizó con cielo despejado, entre las 10 y 14 hs, siempre con viento menor a 30 km h^{-1} , y asegurando la inexistencia de sombras sobre la superficie a muestrear que puedan distorsionar los valores obtenidos. Para la toma de datos el operario debe ubicarse de espaldas al sol abarcando un arco horizontal de entre 90° y 180° con respecto al mismo. Inicialmente, se apunta la fibra óptica hacia el cielo (45° respecto del zénit) para determinar la radiancia incidente (L_{sky}) (Figura 11.B y C) y, posteriormente, hacia el agua (45° respecto del nadir) para obtener la radiancia proveniente de la superficie marina (L_u) (Figura 11.D) finalmente, se mide la radiancia reflejada por un estándar Spectralon que será utilizado como blanco durante el análisis de datos. Las condiciones no deben cambiar entre las tres mediciones necesarias para obtener la reflectancia. A fin de eliminar el ruido generado el propio funcionamiento/sobrecalentamiento del instrumental se realizó la toma de un “negro” (en ausencia de luz) que fue posteriormente restado al resto de las mediciones.

Todas las muestras se realizaron con el mismo tiempo de integración ($\sim 5000 \text{ ns}$), a excepción de la radiancia reflejada por un estándar Spectralon, la cual fue definida con un tiempo de integración menor ($\sim 500 \text{ ns}$). Para cada una de las tres mediciones se obtuvieron 20 réplicas que fueron corroboradas visualmente con el objeto de minimizar la variación generada por movimientos de la fibra durante la toma de datos que, posteriormente, fueron promediadas y divididas por los respectivos tiempos de integración (en segundos).

Una vez obtenidas todas las mediciones necesarias, la curva de reflectancia del agua se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$R(\lambda) = \frac{L_u - L_{sky} * \rho}{\pi \frac{1}{0.99} L_d}$$

donde $R(\lambda)$ es la reflectancia del agua, L_u es la radiancia saliente del agua, L_{sky} es la radiancia incidente, ρ es el factor de reflectancia de Fresnel para la interfaz agua-aire: 0,028 y L_d es la radiancia saliente del blanco.

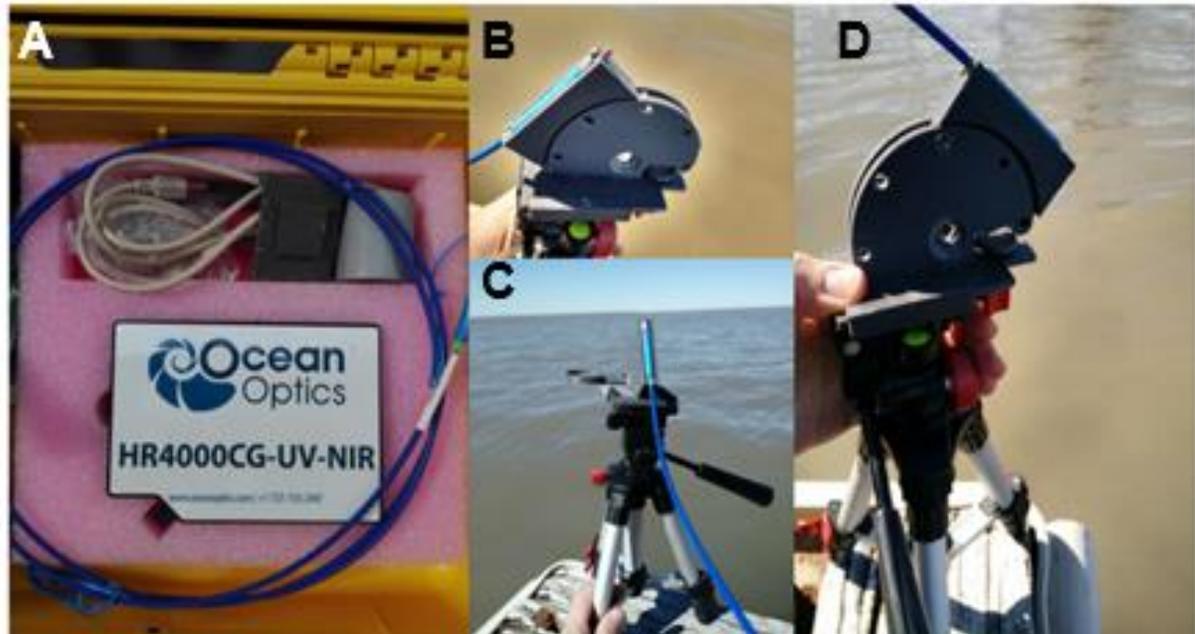


Figura 11. A. Espectroradiómetro Ocean Optics modelo HR4000CG y accesorios ; B y C corresponden a una medición de la radiancia incidente (Sky), y D. corresponde a una medición de radiancia emergente del agua

3. RESULTADOS

3.1. Propiedades físico-biológicas del área de estudio

La temperatura superficial del mar para el periodo estudiado tuvo un valor medio de 12,96 ($\pm 1,27$) °C. Los valores mínimos se registraron en el canal del Medio el día 7 de septiembre (11,3 °C) y los valores máximos se observaron sobre la boya 24 el día 27 del mismo mes (14,7 °C).

La salinidad superficial del mar presentó una gran variación espacial y temporal de acuerdo a lo esperado para el área de estudio ($35,2 \pm 4,09$). Los valores mínimos se registraron en el Club Náutico el 15/9 (29,4), mientras que los máximos se obtuvieron en el canal del Medio el 7/9 (41).

El material particulado en suspensión (MPS) osciló entre 48 y 231,33 mg l⁻¹ ($127,36 \pm 44,8$ mg l⁻¹) observados ambos en la misma estación de muestro el 27/9 (boya 24), en distinto momento del estado de marea. La turbidez superficial del mar media para el área de estudio fue de 65 FNU. Los valores mínimos se registraron en las proximidades de la boya 22 sobre el medio del Canal Principal de acceso al estuario (7,2 FNU) y los máximos en la boya 24 (230 FNU).

La clorofila-*a* (TChl-*a*) del área de estudio presentó un valor medio de 8,3 ($\pm 3,5$) mg l⁻¹, mientras que la FChl-*a* correspondiente a la fracción < 20 µm (nano+ picoplancton) presentó un valor medio de 6,29 ($\pm 2,11$) mg l⁻¹. Los valores mínimos se obtuvieron el 27/9 en la boya 26 (TChl-*a*: 2,85 mg l⁻¹; FChl-*a*: 2,46 mg l⁻¹) y los máximos en el Club Náutico el 1/9 (TChl-*a*: 14,68 mg l⁻¹; FChl-*a*: 10,45 mg l⁻¹).

Como se mencionó en el apartado de metodología los resultados se analizaron en una escala espacial (campana del 27/9) a lo largo del Canal Principal y en una escala temporal (campana del 7/9) en el Canal del Medio durante medio ciclo de marea. A continuación, se describen los resultados en ambos análisis.

3.1.1. Análisis espacial

La temperatura superficial del mar varió espacialmente presentando un mínimo de 13,08 °C en la boya 22 y un máximo de 14,7 °C en la boya 24 ($14,17 \pm 0,5$ °C) (Figura 10). La salinidad superficial del EEB osciló entre 31 – 32,9 a lo largo del Canal Principal detectándose el mínimo valor en la zona más interna (boya 32) y el máximo en la zona más externa del área estudiada (boya 22) (Figura 12).

El material particulado en suspensión (MPS) se caracterizó por presentar altas concentraciones y por su marcada variabilidad a lo largo del Canal Principal. El rango fue de 183,33 mg l⁻¹ y el promedio de 104,06 ($\pm 58,13$) mg l⁻¹. Los valores máximos y mínimos se obtuvieron de la misma estación (boya 24) en distintos estados de marea; el valor mínimo fue de 48 mg l⁻¹ y el máximo de 231,33 mg l⁻¹ (Figura 14). Se registró además un máximo relativo perteneciente a la zona interna de 137 mg l⁻¹ (boya 30; Figura 13).

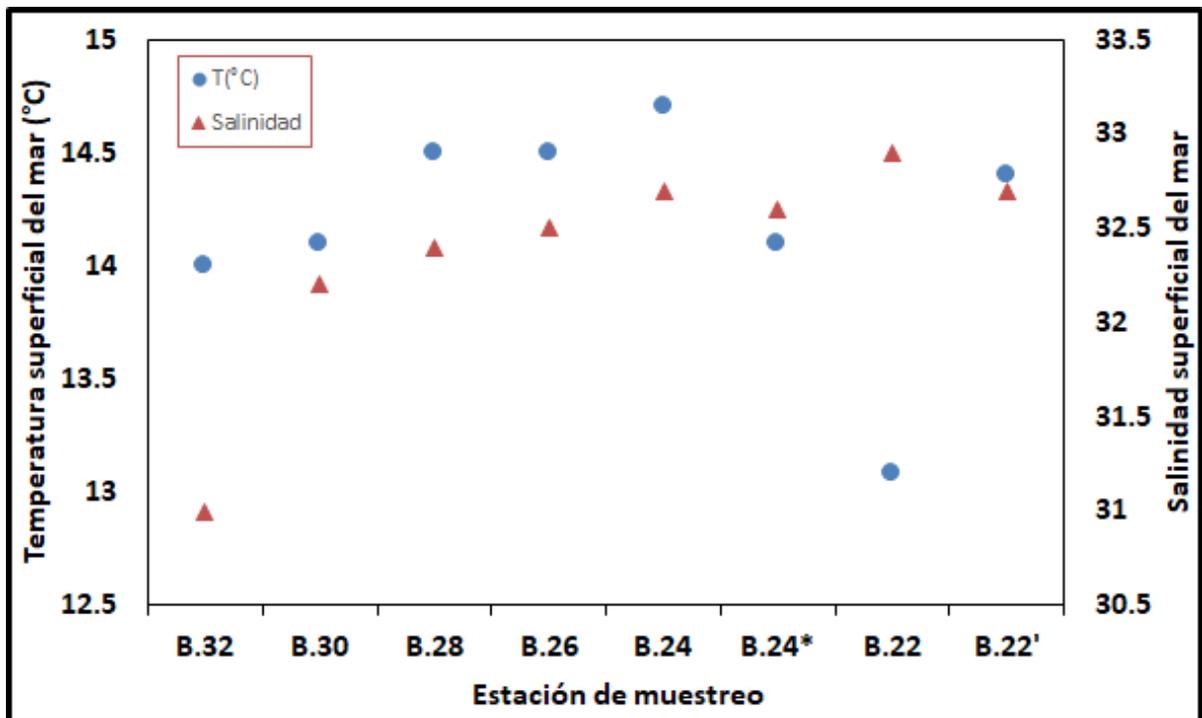


Figura 12. Variación espacial de Temperatura superficial del mar (°C) y de la Salinidad superficial del mar a lo largo del Canal Principal del EEB. El eje horizontal representa las estaciones de muestreo (boyas). Observar que B.22' pertenece a una muestra en el medio del canal, la B.22 pertenece a una muestra en el veril norte. La B.24* corresponde a la última muestra colectada, separada temporalmente de B.24 (Ver Figura 13).

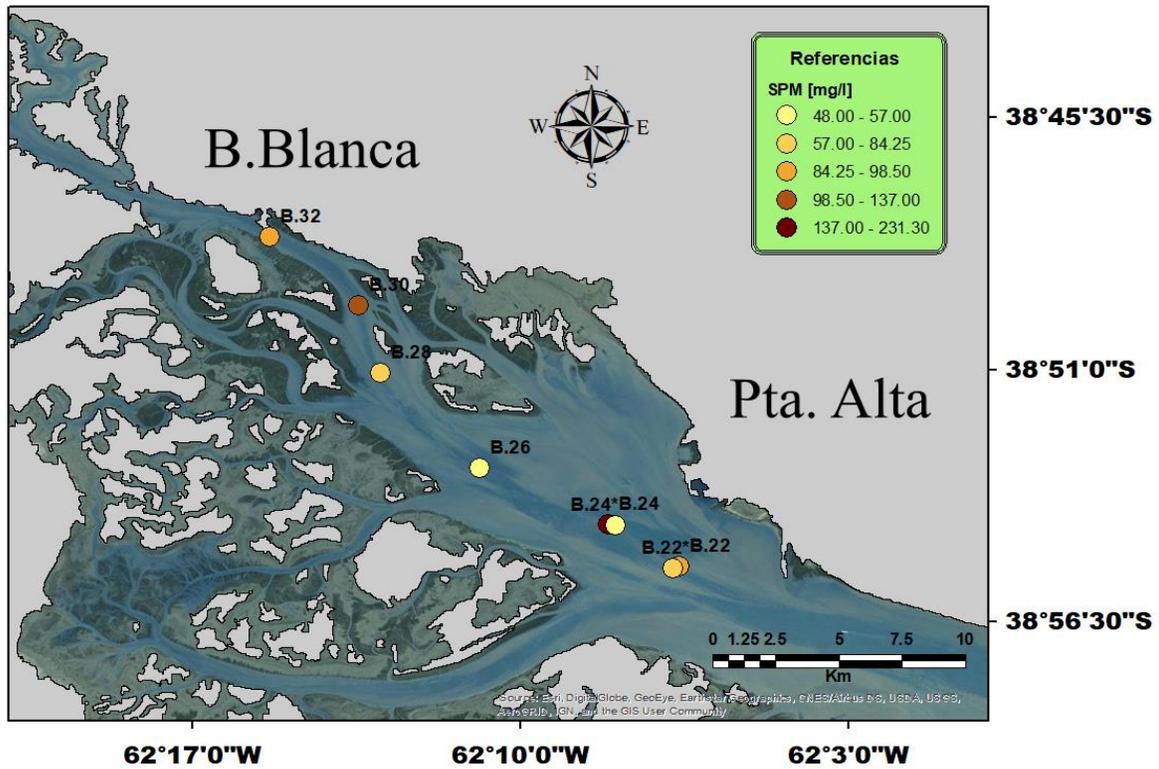


Figura 13. Concentración material particulado en suspensión (MPS) a lo largo del Canal Principal.

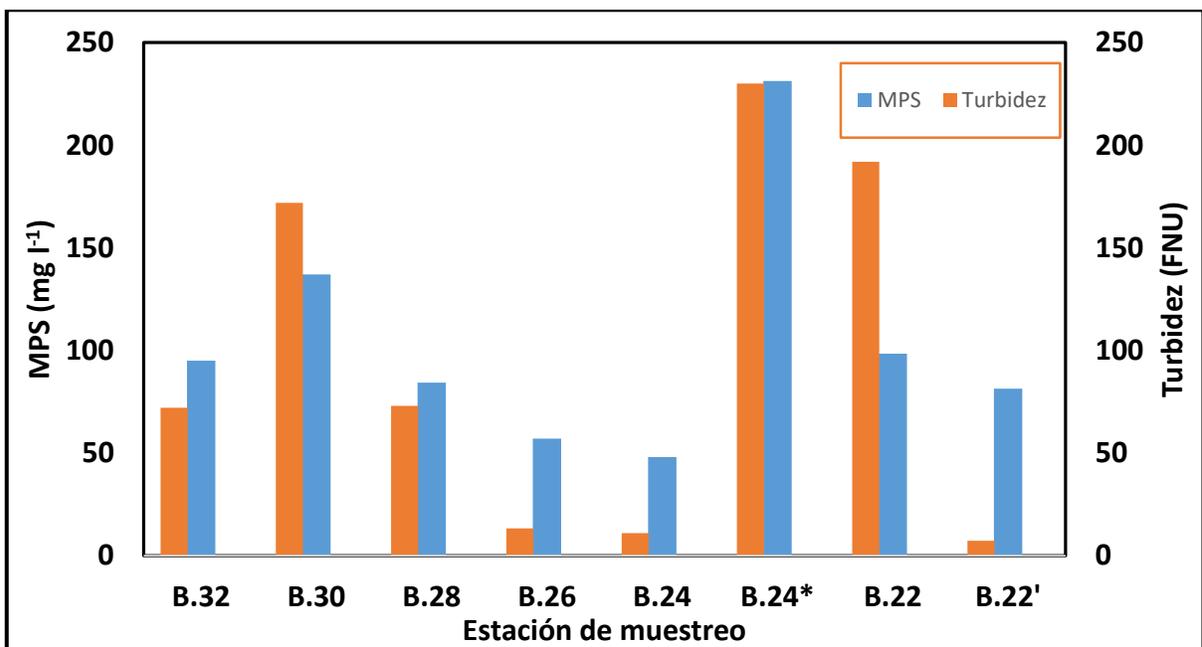


Figura 14. Variación espacial del material particulado en suspensión (barras celestes) y turbidez (barras naranjas) a lo largo del Canal Principal del EEB. El eje horizontal son las estaciones de muestreo (boyas).

Observar que B.22' pertenece a una muestra en el medio del canal, la B.22 pertenece a una muestra en el veril norte. La B.24* corresponde a la última muestra colectada, separada temporalmente de B.24 (Ver Figura 13).

Asimismo, la turbidez presentó una alta variación espacial, con un rango de 222,8 FNU, mostrando valores mínimos en la zona más externa (boya 22': 7,2 FNU) y máximos frente al Puerto Belgrano en la (boya 24*: 230 FNU) (Figura 14). El valor medio para el área muestreada fue de 96,31 FNU.

Las máximas concentraciones de TChl-*a* se registraron sobre la zona interna del estuario presentando un máximo de 10,88 mg l⁻¹ (boya 30). Los valores mínimos se observaron en la boya 26 (2,85 mg l⁻¹) (Figura 15). El valor medio para todas las estaciones fue de 6 (±2,82) mg l⁻¹. La FChl-*a* mostró una tendencia similar a la observada en la TChl-*a* aunque con valores relativamente inferiores; presentando un máximo de 7,44 mg l⁻¹ (boya 32) y un mínimo de 2,46 mg l⁻¹ (boya 26) (Figuras 15 y 16). El valor medio observado fue de 4,65 (±1,75) mg l⁻¹.

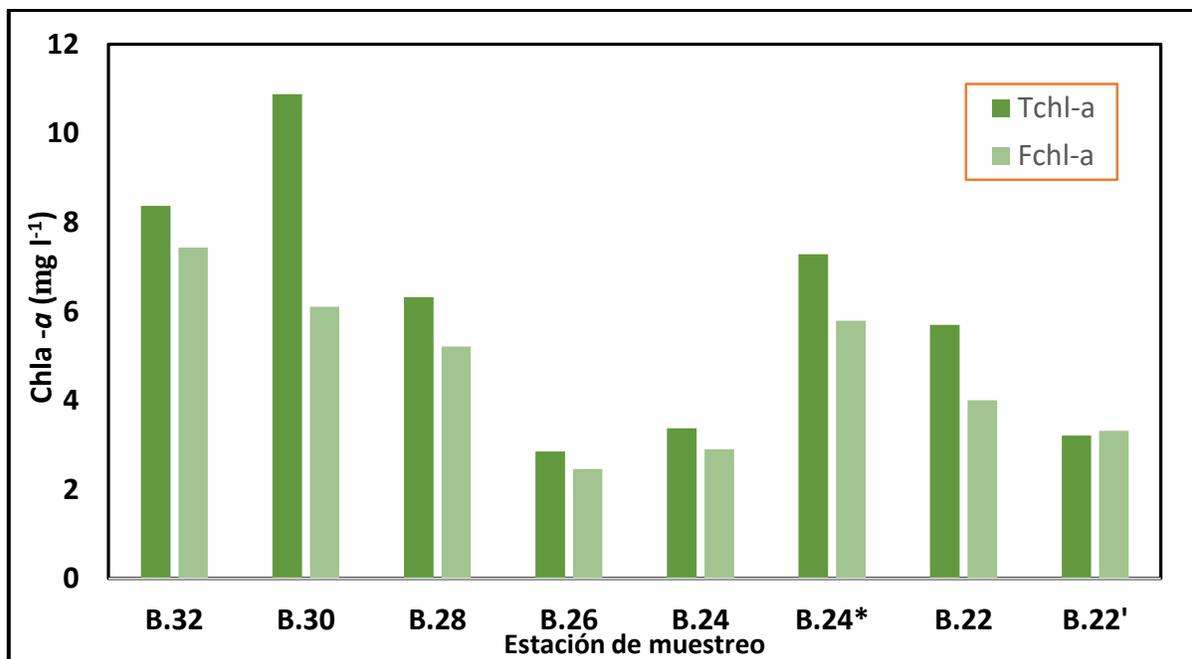


Figura 15. Variación espacial de Clorofila-*a* total (Tchl-*a*; barras verde oscuro) y fraccionada (Fchl-*a*; barras verde claro) en mg l⁻¹ a lo largo del Canal Principal del EBB.

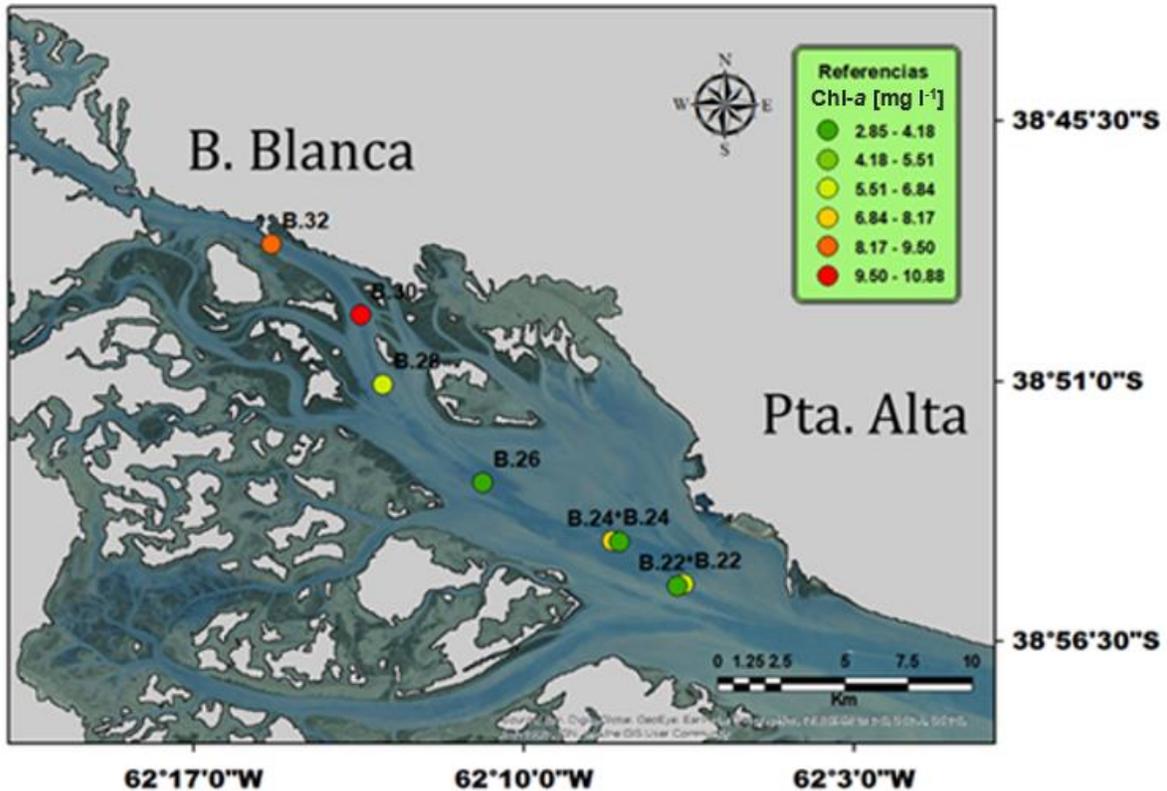


Figura 16. Variación espacial de la concentración de Clorofila-a (mg l^{-1}) a lo largo del Canal Principal del EBB.

3.1.2. Análisis temporal

En líneas generales se observó que las propiedades físico-biológicas variaron en función al estado de marea. Los muestreos cercanos al estado de marea alta registraron los valores más bajos de temperatura y salinidad superficial del mar $11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (11:00 hs) y $39,4$ (10:15 hs), respectivamente. Durante el estado de marea bajante, se observó un aumento progresivo de estas dos variables con máximos de $12,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $41,2$ a las 15:00 hs (Figura 17, A y B). Los valores medios de temperatura y salinidad durante el intervalo muestreado fueron de $11,6 (\pm 0,29)\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $39,9 (\pm 0,68)$.

El material particulado en suspensión (MPS) también se encontró influenciado por el estado de marea. Las mínimas concentraciones se registraron una hora y media después de la pleamar predicha ($113,33\text{ mg l}^{-1}$; 10:15 hs). Posteriormente, a medida que se desarrollaba el

estado de marea bajante, se observó un aumento progresivo en la concentración del MPS (168,67 mg l⁻¹; 13:00 hs) (Figura 18). La concentración media fue de 148,86 (±18,67) mg l⁻¹.

La turbidez presentó gran variabilidad durante el período muestreado con un rango que osciló entre 16,8 FNU (15:00 hs) y 110 FNU (13:00 hs) y un valor medio de 35,6 (± 3,4) FNU. El máximo valor observado se aleja notablemente de la tendencia general de los datos. Un segundo máximo relativo puede observarse sobre las 10:15 con un valor de 36,6 FNU (Figura 19).

La TChl-*a* (mg l⁻¹) se mostró asimismo influenciada por la dinámica mareal. Las concentraciones mínimas se registraron 27 minutos luego de la pleamar predicha (7,5 mg l⁻¹), mientras que en el transcurso de la bajamar los valores aumentaron alcanzando un máximo de 12,63 mg l⁻¹ a las 12:00 hs (Figura 20). El valor medio obtenido para todo el período fue de 9,77 (±1,76) mg l⁻¹. La FChl-*a* no presentó importantes fluctuaciones, oscilando entre 6,27 y 8,62 mg l⁻¹ (media = 7,28 ± 0,9 mg l⁻¹) (Figura 20).

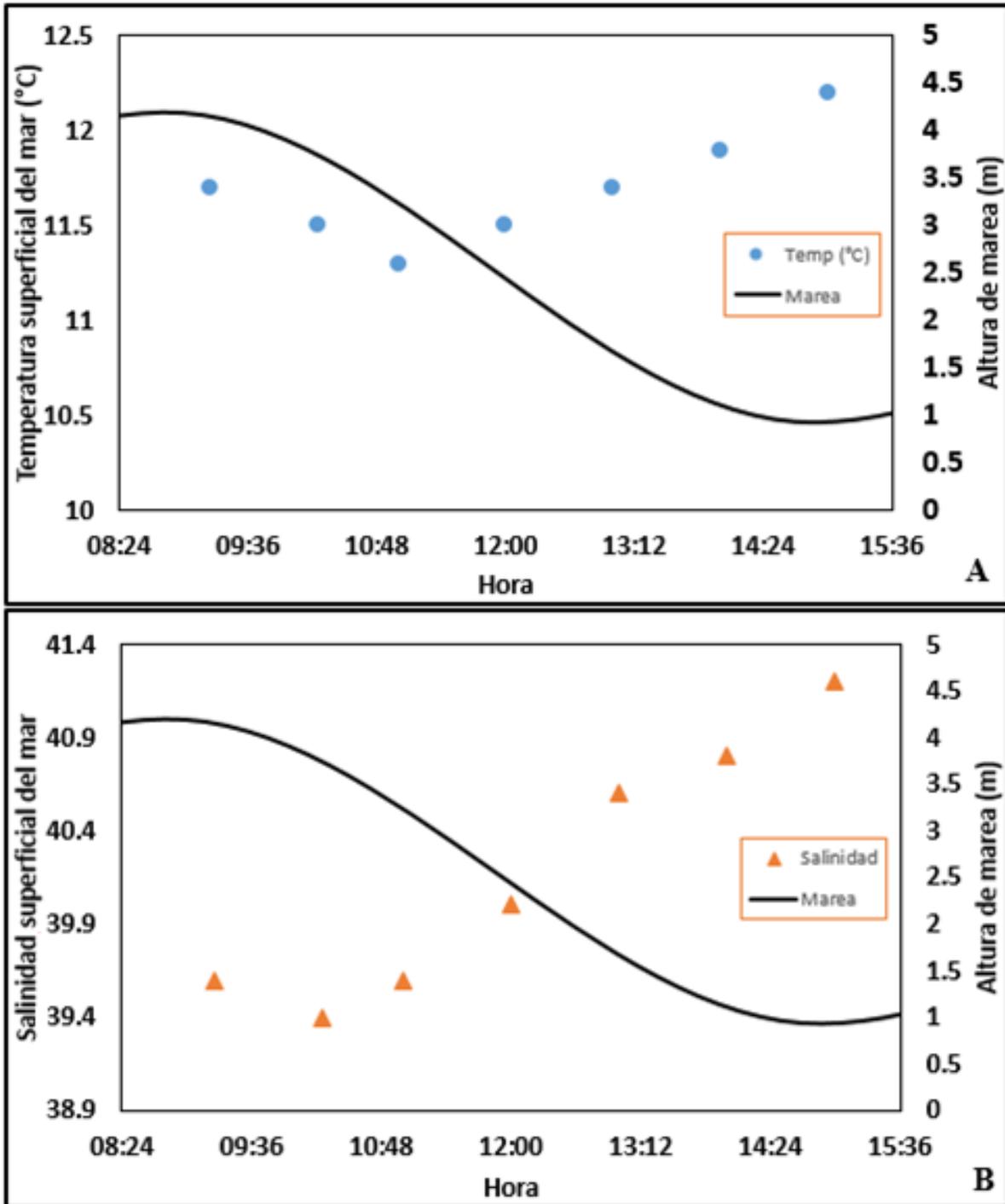


Figura 17. Variación de la temperatura superficial del mar en °C (A) y de la Salinidad superficial del mar (B), en función a la altura de marea en metros (eje vertical derecho) para el Canal del Medio.

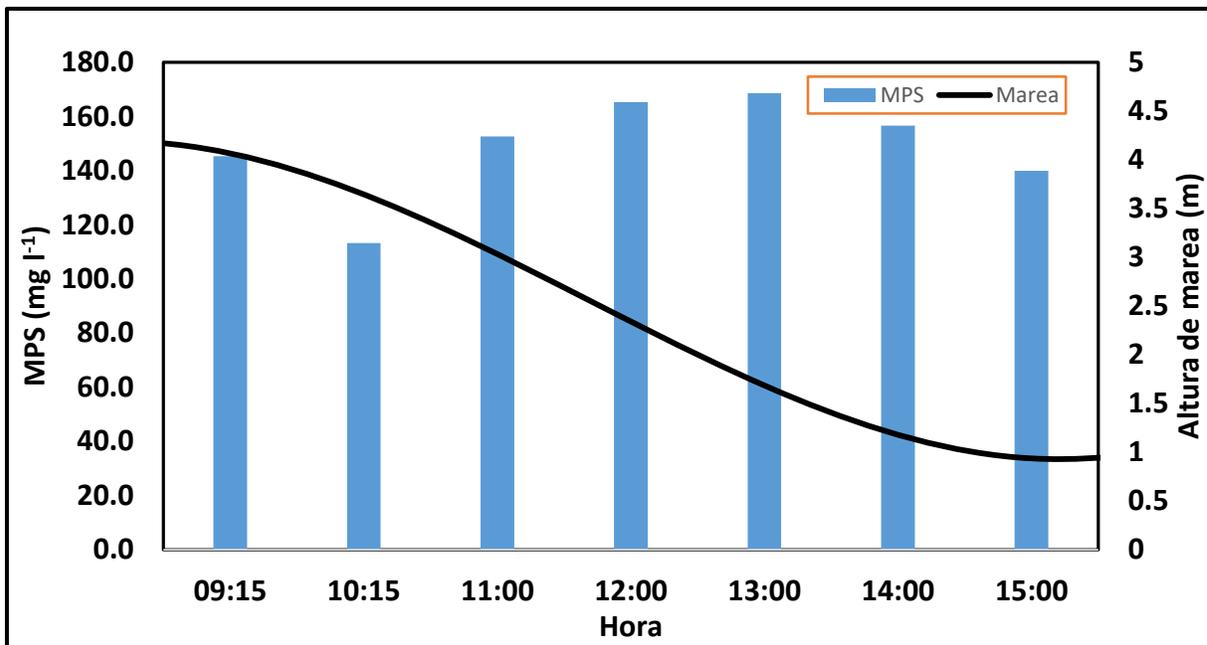


Figura 18. Variación de la concentración del material particulado en suspensión (MPS) en mg l⁻¹ (Barras celestes) en función a la altura de marea en m (línea negra).

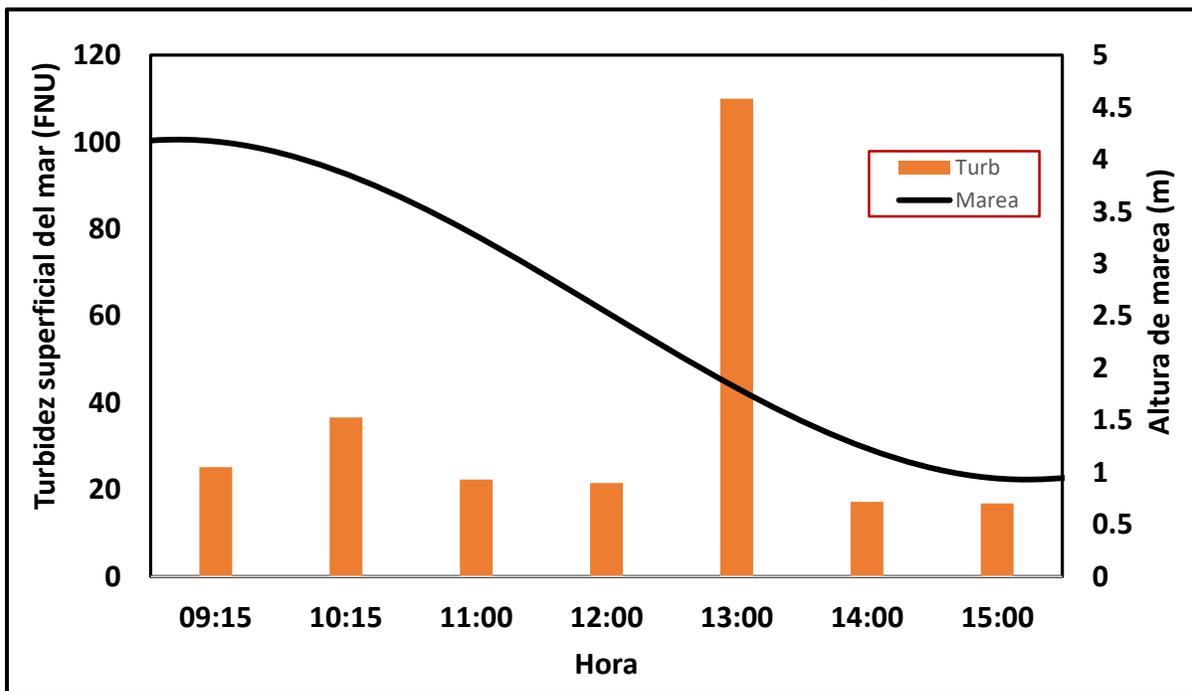


Figura 19. Variación de la Turbidez medida en FNU (líneas naranjas) en función a la altura de marea en m (línea negra). Turb=Turbidez.

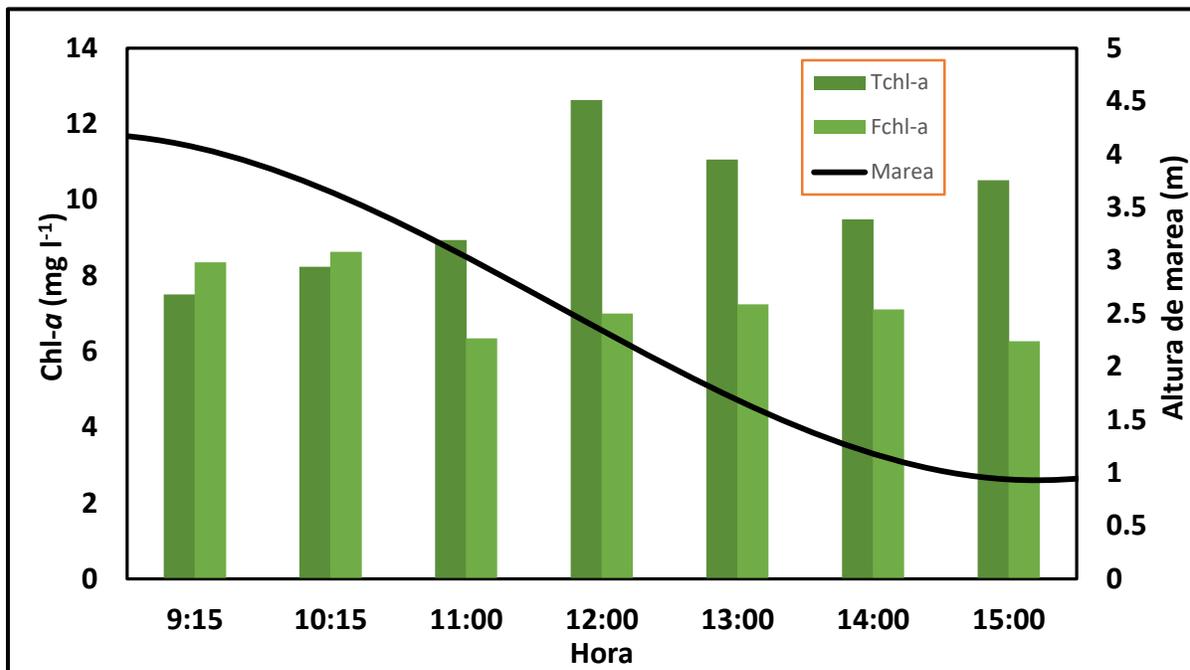


Figura 20. Variación de la Clorofila-*a* (mg l⁻¹) en función a lo altura de marea (m). Tchl-*a*: Clorofila-*a* total; barra verde oscura. Fchl-*a*: Clorofila-*a* fraccionada; barra verde claro.

3.2. Propiedades ópticas inherentes: absorción del fitoplancton (a_{ph}), absorción del CDOM (a_{cdom}) y absorción del material no pigmentado (a_{nap})

La Figura 21 presenta la contribución relativa de las propiedades ópticas inherentes (a_{ph} , a_{nap} , y a_{cdom}) sobre la absorción total del material disuelto y particulado en la región del azul (443 nm) para el EBB (n=13). Los datos mostraron una clara dominancia por parte del material no pigmentado (a_{nap}) (~70%), seguido por las partículas algales (a_{ph}) (~20%) y, por último, el material coloreado disuelto que presenta el menor aporte relativo (a_{cdom}) (~10%).

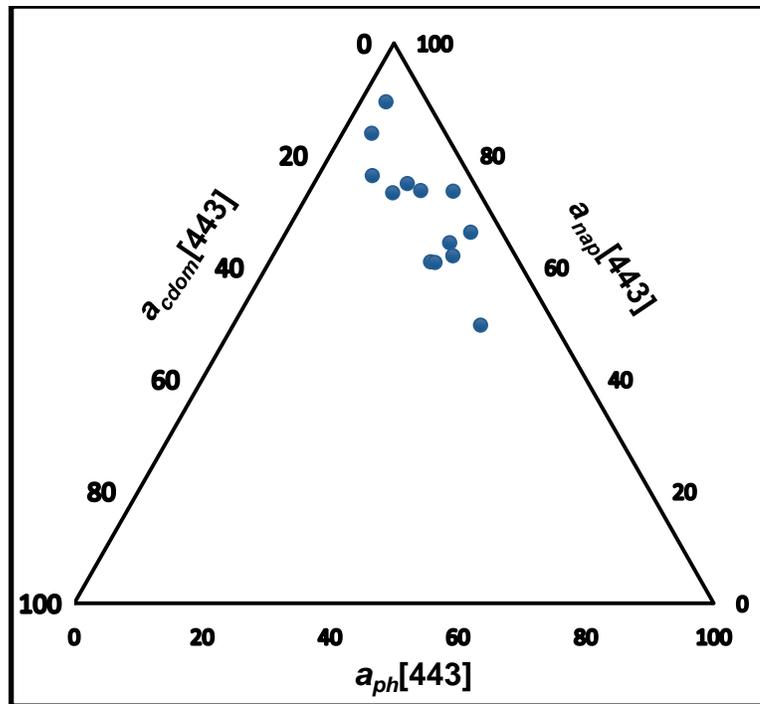


Figura 21. Porcentaje de contribución de las partículas no algales (a_{nap}); fitoplancton (a_{ph}); y materia orgánica disuelta (a_{cdom}) sobre el coeficiente total de absorción del material disuelto y particulado en 443 nm para el EBB.

3.2.1. Análisis espacial

A lo largo del área estudiada la a_{ph} (443) varió espacialmente presentando un mínimo de $0,039 \text{ m}^{-1}$ (boya 22) y un máximo de $0,90 \text{ m}^{-1}$ (boya 30), el valor medio para el sitio muestreado fue de $0,36 \text{ m}^{-1}$ (Figura 22). Asimismo, la a_{nap} (443) se caracterizó por presentar gran variación espacial, oscilando entre $0,51 - 2,07 \text{ m}^{-1}$ (boyas 26 y 30, respectivamente), el valor medio fue de $1,32 \text{ m}^{-1}$ (Figura 23). La a_{cdom} (443) mostro la menor variación con un máximo de $0,16 \text{ m}^{-1}$ (B.32) y un mínimo de $0,06 \text{ m}^{-1}$ (B.22) (Figura 24), el valor medio fue de $0,10 \text{ m}^{-1}$.

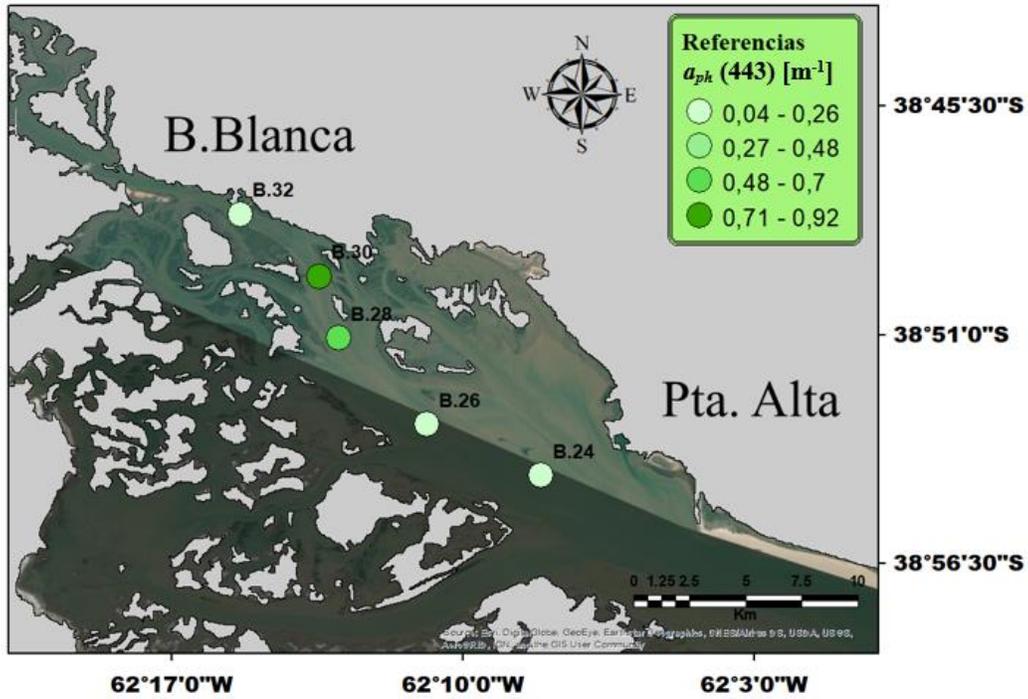


Figura 22. Distribución espacial de la a_{ph} (443) en m^{-1} sobre el Canal Principal. Obs: por cuestiones metodológicas no se incluyen en este análisis a las boya 24*, 22 y 22'.

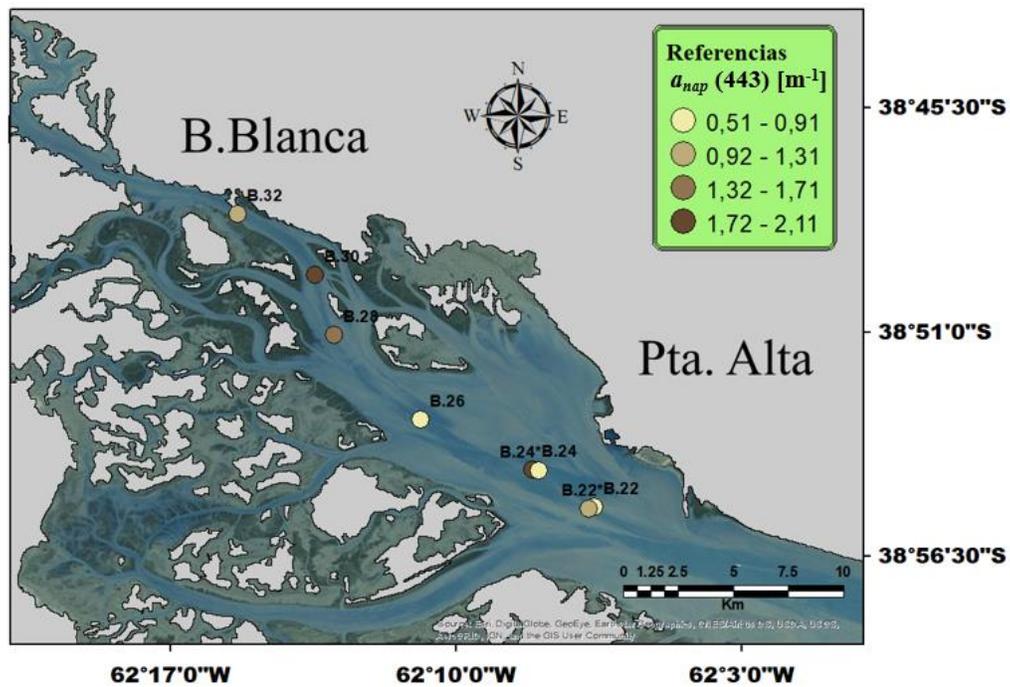


Figura 23. Distribución de la a_{nap} (443) en m^{-1} sobre el Canal Principal.

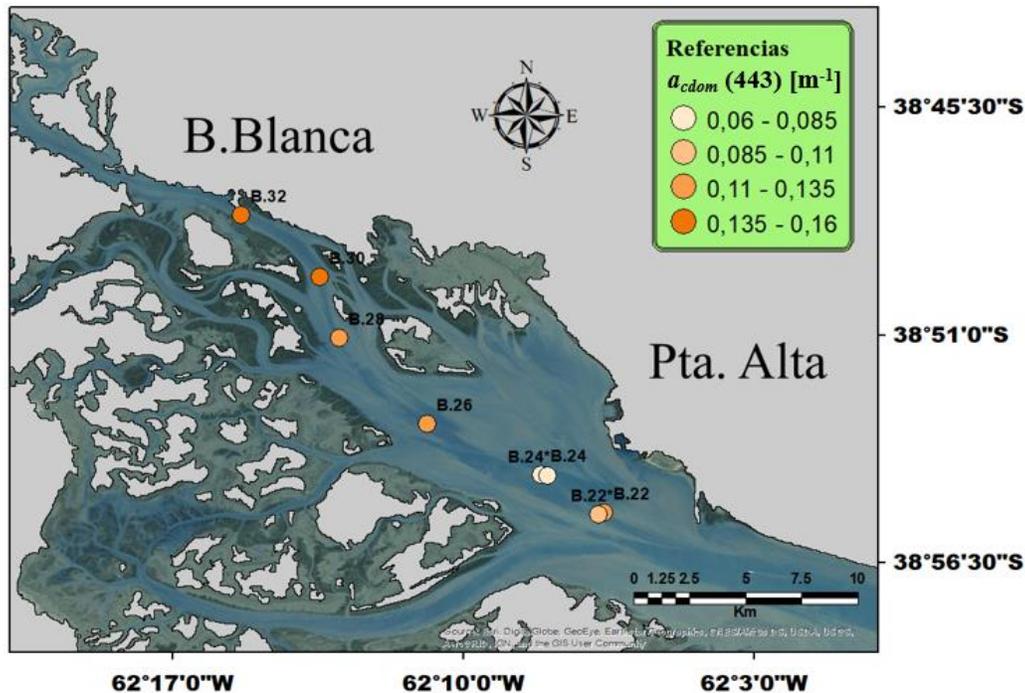


Figura 24. Distribución de la a_{cdom} (443) en m^{-1} sobre el Canal Principal.

La Figura 25 muestra la absorción acumulada del material disuelto y particulado a 443 nm a lo largo del Canal Principal, donde puede observarse que el material no pigmentado (a_{nap}) domina la absorción total de la luz por sobre el resto de los componentes. En torno a la boya 22 la contribución relativa del a_{nap} resulta máxima (89,5 %) y la menor contribución se observa en la boya 30, donde representa un 66,2 % de la muestra.

El coeficiente de absorción específico del fitoplancton, a_{ph}^* (443) ($m^2 mg l^{-1}$), definido por la a_{ph} (443, m^{-1}) normalizado con la concentración de Chl-*a* presente en la muestra ($mg l^{-1}$), es relativamente elevado en las estaciones más internas (boyas 32:28) en comparación a las estaciones más externas (boyas 26:B.22) (Figura 26). El valor máximo se obtuvo en la boya 28 ($0,094 m^2 mg l^{-1}$) y el mínimo en la boya 22 ($0,007 m^2 mg l^{-1}$). La a_{ph}^* (443) media fue de $0,046 m^2 mg l^{-1}$. No se incluyen en este análisis a las boyas 24; 24* y 22', dado que la elevada dispersión molecular generada por la composición intrínseca de la muestra durante la medición arrojó valores erróneos.

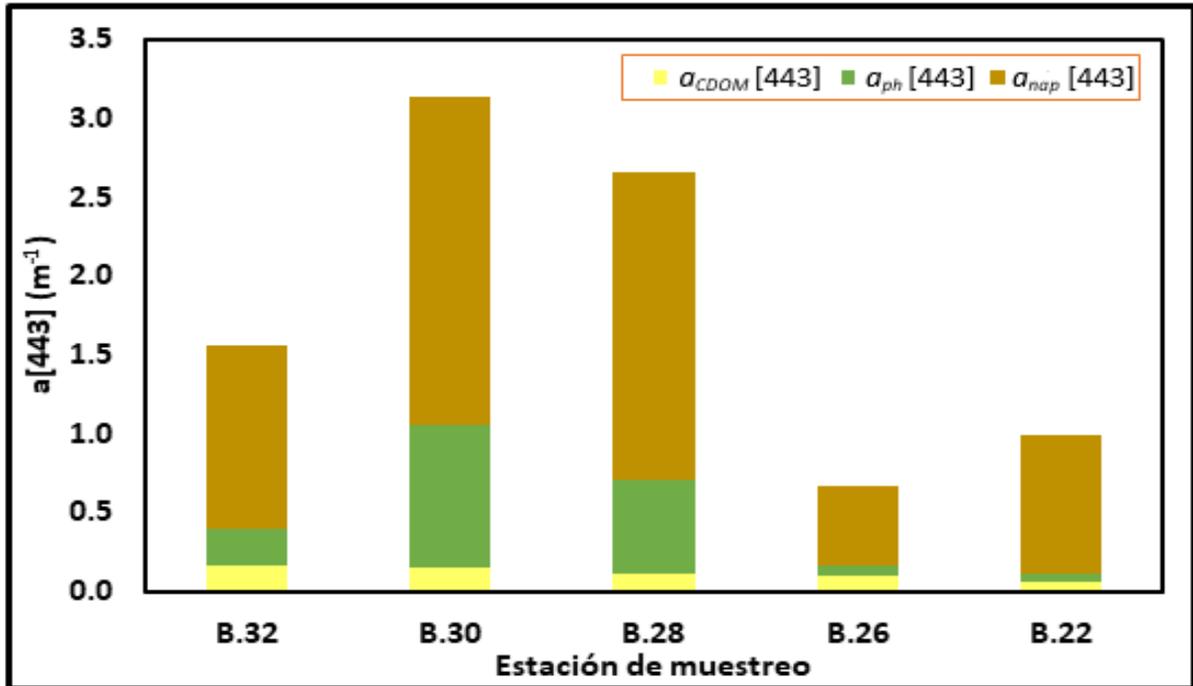


Figura 25. Absorción conjunta de los distintos componentes ópticamente activos a 443 nm para el EBB a lo largo del Canal Principal. Las barras amarillas representan la a_{CDOM} , las barras verdes la a_{ph} y las barras marrones la a_{nap} .

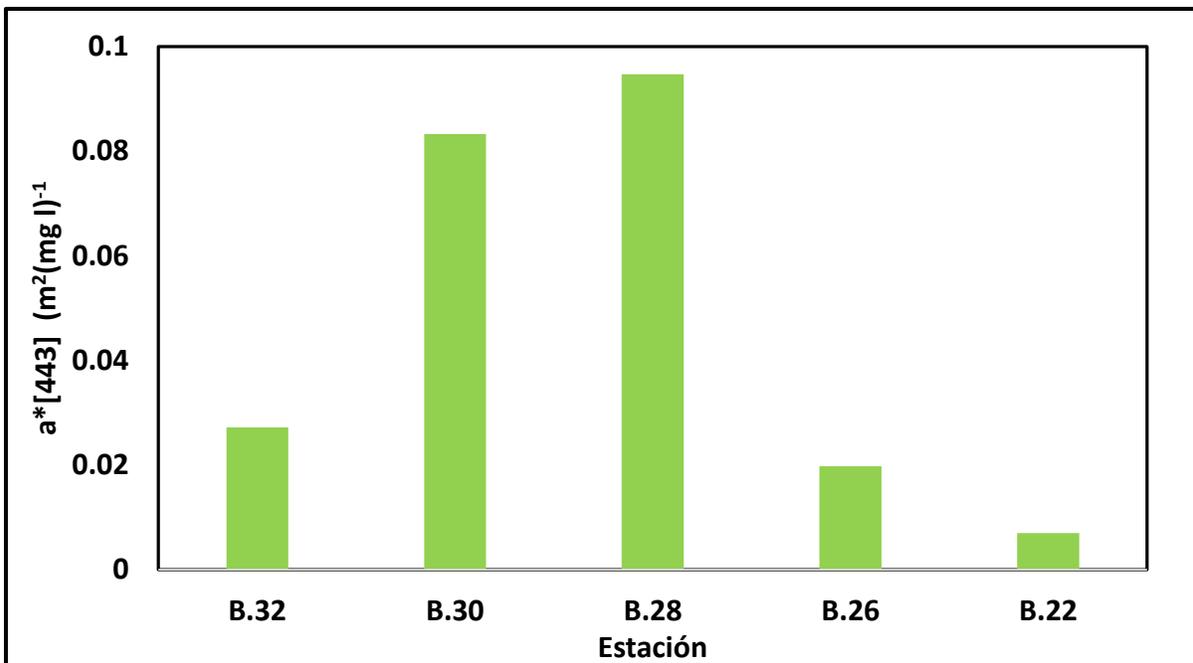


Figura 26. Variación del coeficiente de absorción del fitoplancton específico (a_{ph}^*) (443) en [m²(mg l)⁻¹] a lo largo del Canal Principal.

Espectros de absorción

Las Figuras 27, 28, y 29 muestran los espectros individuales de absorción para las distintas IOP's analizadas en este estudio. $a_{cdom}(\lambda)$ y $a_{nap}(\lambda)$ exhibieron curvas exponenciales típicas, mientras que $a_{ph}(\lambda)$ mostró dos picos clásicos de máxima absorción, uno en la región del azul (~443 nm) y otro en la región del rojo (~665nm). Asimismo, las estaciones más internas generalmente presentaron las máximas absorciones para $a_{ph}(\lambda)$ en todo el espectro; para disminuir conforme nos alejamos de la cabecera del estuario donde las curvas representan valores menores (Figura 27). La $a_{nap}(\lambda)$ presenta un comportamiento similar, dominando el espectro en longitudes de onda menores a 550 nm (Figura 28).

Las curvas de absorción de CDOM se dispusieron en orden decreciente desde la zona interna hacia la zona externa. Las boyas 32 y 30 mostraron las máximas absorciones, mientras que las mínimas absorciones se obtuvieron en las boyas 24 y 22. Existen diferencias entre las boyas 24 y 24* ya que ambas se encuentran en distinto estado de marea bajante. Las muestras correspondientes a las boyas 22 y 22' no presentaron diferencias (Figura 29).

Los espectros de $a^*_{ph}(\lambda)$ (Figura 30), reflejan las diferencias existente en las relaciones $a_{ph}/\text{Chl-}a$ de las células fitoplanctónicas. Las boyas 28 y 30 mostraron una alta absorción en todo el espectro y dominaron el pico en la región del rojo (boya 28: $a^*_{ph}(676) = 0,051 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$; boya 30: $a^*_{ph}(676) = 0,041 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$.) Asimismo, la estación más externa (boya 22) mostró la menor absorción de toda el área estudiada y no presentó diferencias entre la región del azul y roja ($a^*_{ph}(443)$ y $a^*_{ph}(676) \sim 0,07 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$). El promedio obtenido de $a^*_{ph}(676)$ para el Canal Principal fue de $0,024 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$.

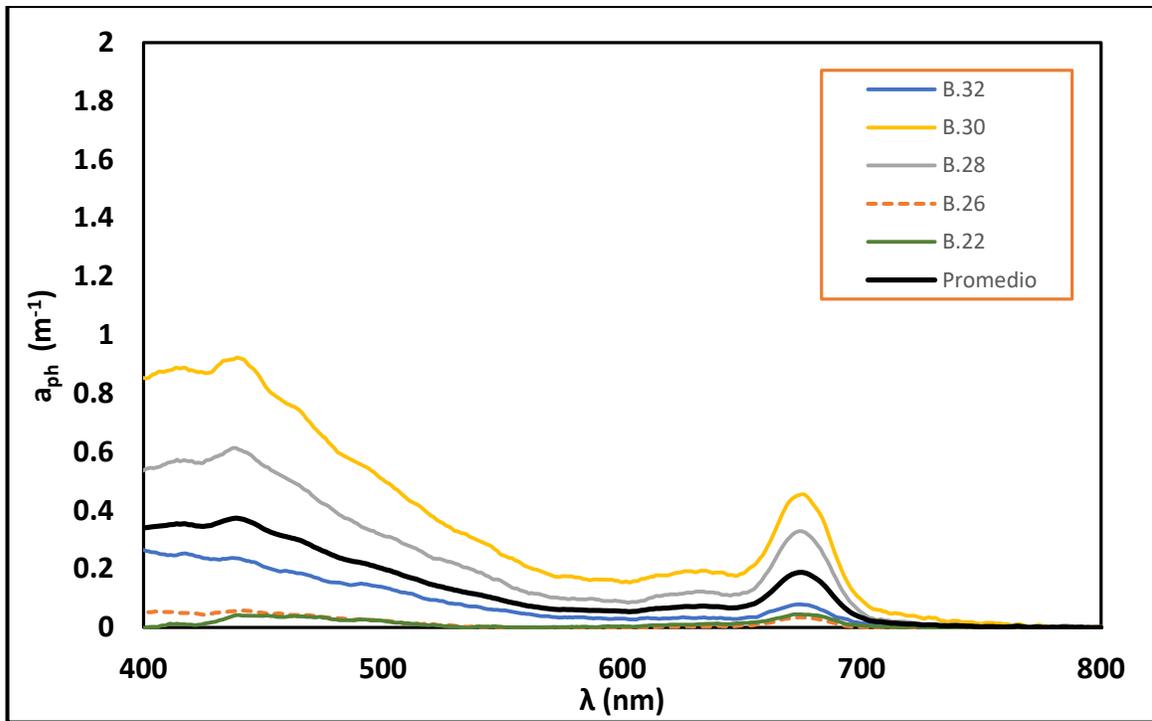


Figura 27. Espectros de absorción de fitoplancton (a_{ph}) ($\lambda \text{ m}^{-1}$) a lo largo del Canal Principal.

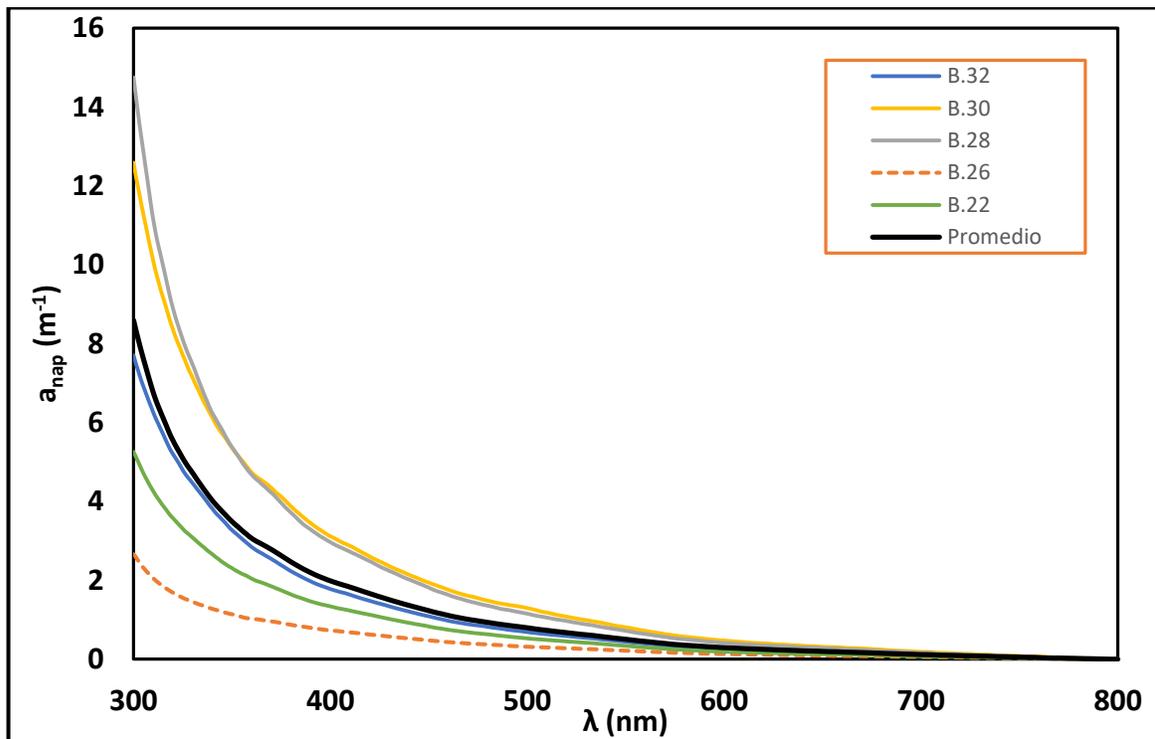


Figura 28. Espectros de absorción del material no pigmentado (a_{nap}) ($\lambda \text{ m}^{-1}$) a lo largo del Canal Principal.

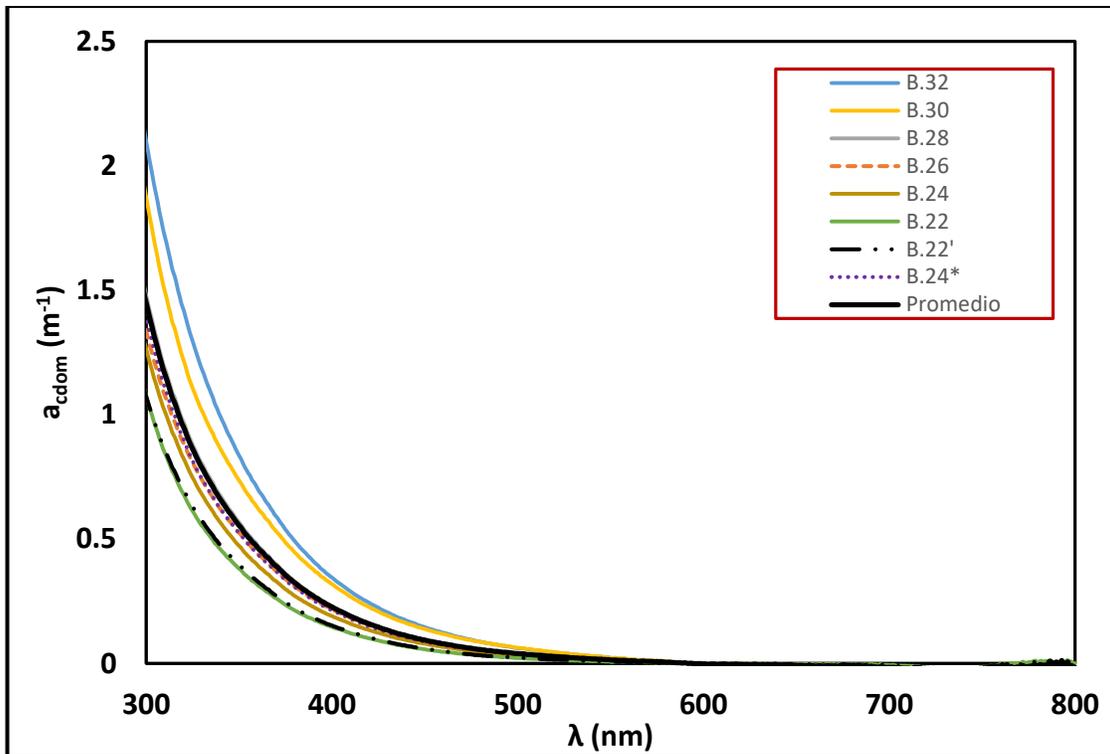


Figura 29. Espectros de absorción de la materia orgánica coloreada disuelta (a_{cdom}) ($\lambda \text{ m}^{-1}$) a lo largo del Canal Principal.

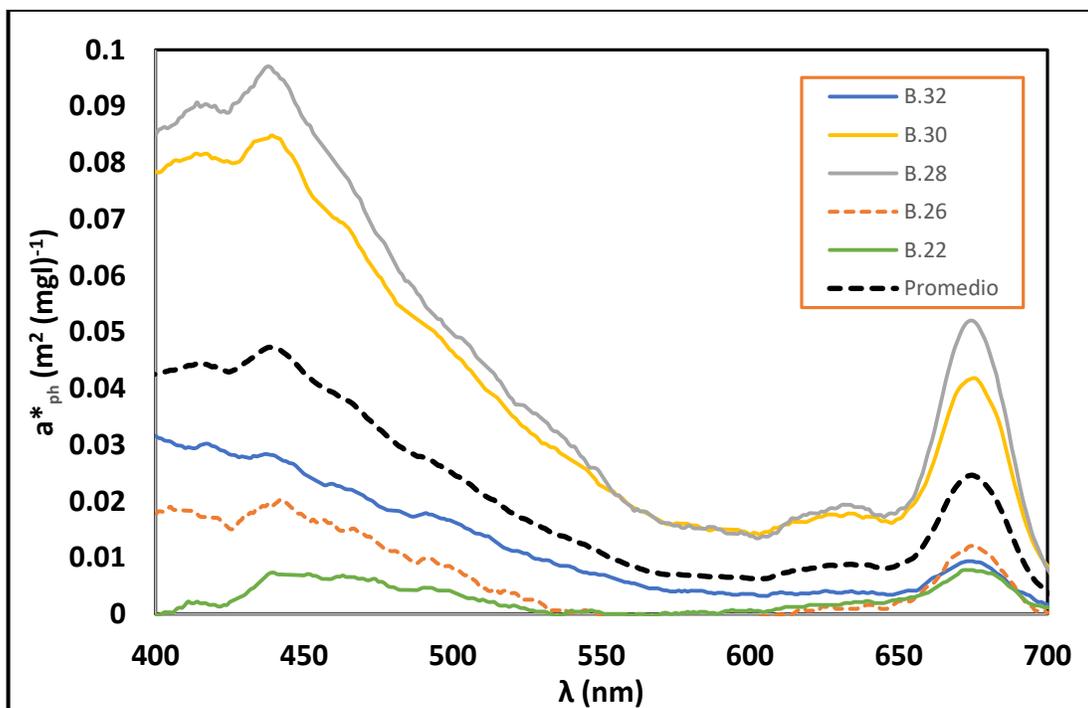


Figura 30. Espectros de absorción específica del fitoplancton (a_{ph}^*) ($\lambda \text{ m}^{-1}$) a lo largo del Canal Principal.

3.2.2. Análisis Temporal

Dentro del período estudiado todos los parámetros mostraron variaciones en función al estado de marea, la a_{ph} (443) alcanzó un máximo de $0,512 \text{ m}^{-1}$ a las 15:00 hs (bajamar) y un mínimo de $0,051 \text{ m}^{-1}$ a las 09:15 hs (pocos minutos después de la pleamar predicha), con una media de $0,329 \text{ m}^{-1}$ (Figura 31). La a_{nap} (443) fue el parámetro con mayor variación, alcanzando un máximo de $1,34 \text{ m}^{-1}$ y un mínimo de $0,651 \text{ m}^{-1}$ a las 11:00 (bajante) y a las 10:15 hs (inicio de bajante), respectivamente ($089 \pm 0,26 \text{ m}^{-1}$). Por otro lado, la absorción correspondiente al material disuelto coloreado (a_{cdom} (443)) presentó una leve variación temporal oscilando entre $0,130 - 0,163 \text{ m}^{-1}$ (09:15; 12:00 hs), la media obtenida fue de $0,148 \text{ m}^{-1}$. La Figura 31 presenta la absorción acumulada a 443 nm de los distintos componentes ópticamente activos en donde se observa la clara dominancia del material no pigmentado sobre el resto. El máximo se alcanza a las 12:00 hs con una magnitud de $1,82 \text{ m}^{-1}$, donde la a_{nap} representa un 73,7 % de la absorción total. Los valores mínimos fueron obtenidos a las 10:15 hs ($1,06 \text{ m}^{-1}$) y a las 14:00 hs ($1,08 \text{ m}^{-1}$) en los cuales, para ambos casos el material particulado no pigmentado representó un 60,9 % de la absorción.

La Figura 32 presenta el coeficiente de absorción del fitoplancton (a_{ph}^*) a 443 nm en $\text{m}^2 \text{ mg l}^{-1}$, en el mismo se observan dos máximos uno a las 11:00 hs ($0,050 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$) y otro a las 15:00 hs ($0,049 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$), como así también un mínimo al comienzo del muestreo (09:15 hs) de $0,007 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$. El valor medio para todo el ciclo estudiado fue de $0,03 \text{ m}^2 \text{ mg l}^{-1}$.

Espectros de absorción

Todos los espectros de absorción individuales presentaron variaciones asociadas al ciclo mareal. La a_{ph} mostró dos picos clásicos de máxima absorción, aunque con baja respuesta en la región azul ($\sim 443 \text{ nm}$), donde el máximo coeficiente se obtuvo a durante la marea baja (15:00 hs), mientras que en la región del rojo ($\sim 665 \text{ nm}$) el máximo se obtuvo durante la bajante (11:00 hs) (Figura 33). Las curvas de a_{nap} mostraron un comportamiento típico con máximas absorciones durante el desarrollo de la bajamar (11:00 y 12:00 hs) y mínimos al inicio y final del muestreo (10:15; 14:00 y 15:00 hs) (Figura 34).

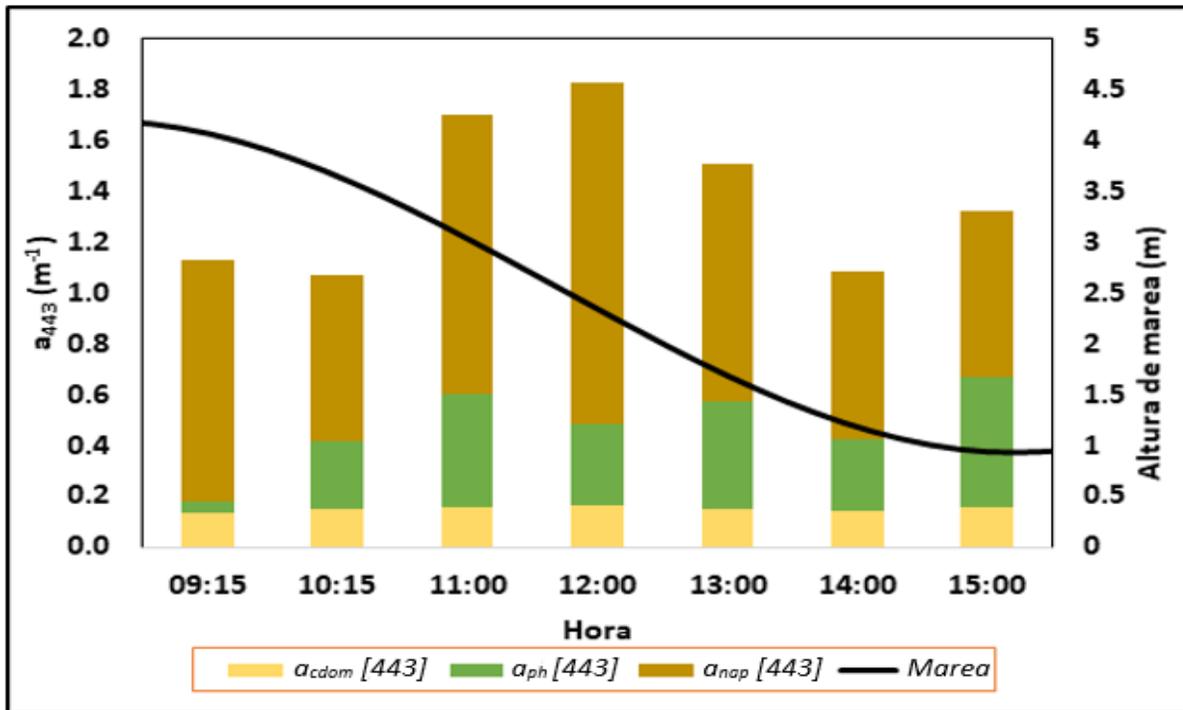


Figura 31. Variación de la absorción conjunta de las IOP's a 443 nm en función del estado de marea en el EBB. Las barras amarillas representan la a_{cdom} (443), las barras verdes la a_{ph} (443) y las barras marrones la a_{nap} (443). La línea negra representa la altura de marea (m).

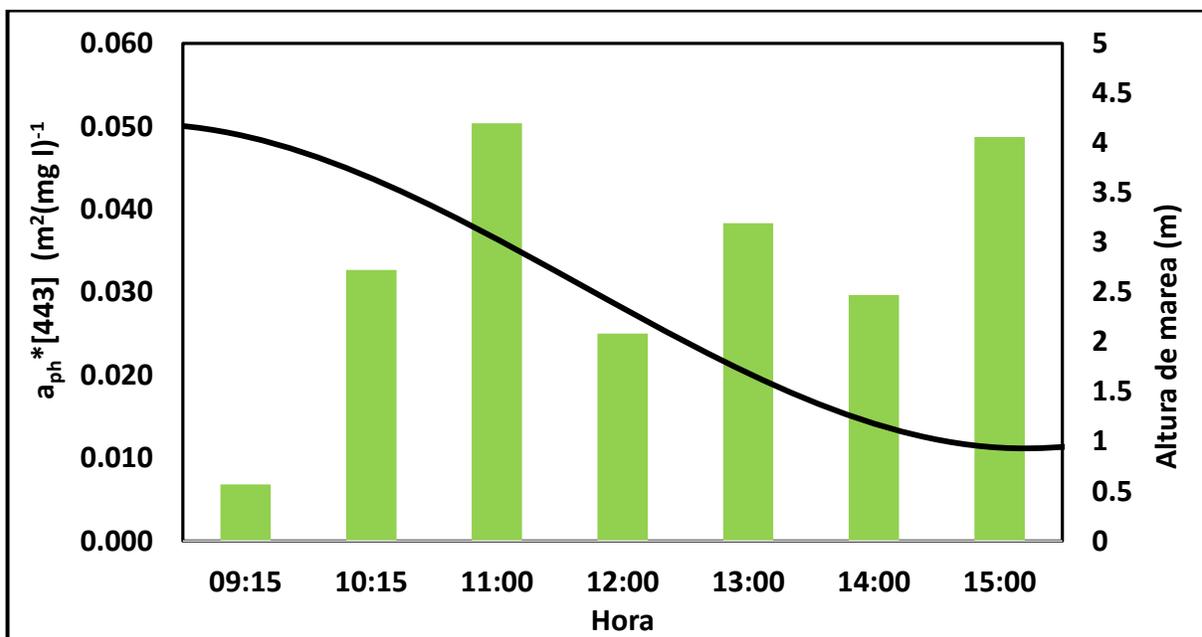


Figura 32. Variación del coeficiente de absorción específica del fitoplancton (a_{ph}^*) ($m^2\ mg\ l^{-1}$) a 443 nm en función del estado de marea (m), para el Canal del Medio, EBB.

Las curvas de a_{cdom} se ajustaron temporalmente conforme evoluciona la onda de marea, obteniendo los menores valores sobre las 9:15 hs (minutos posteriores a la pleamar predicha). Durante el estado de marea bajante, la absorción del CDOM aumenta progresivamente hasta alcanzar máximos valores a las 14:00 y 15:00 hs (bajamar) (Figura 35).

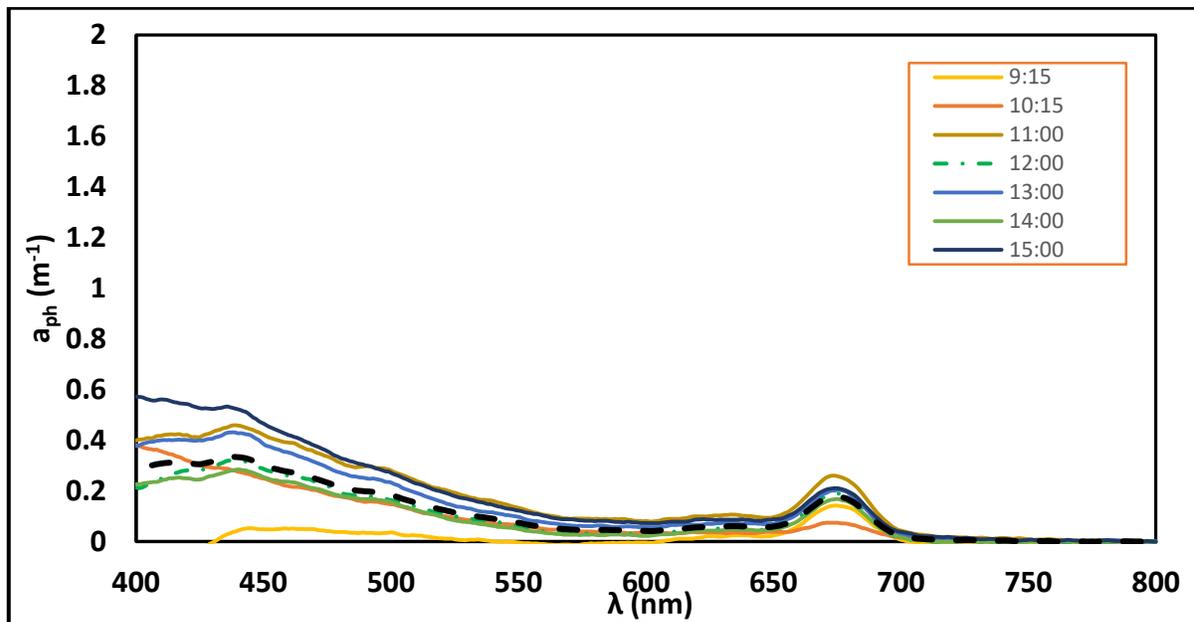


Figura 33. Absorción del fitoplancton (λ) en función a los distintos estados de marea (hs) en el Canal del Medio, EBB.

Las variaciones espectrales del coeficiente de absorción específico del fitoplancton ($a^*_{ph}(\lambda)$) se muestran en la Figura 36. Dicho coeficiente varió conjuntamente con el estado de marea. La muestra de las 11:00 hs presentó la máxima absorción con valores de 0,05 y 0,028 $\text{m}^2 \text{mg}^{-1}$ para 443 nm y 676 nm, respectivamente. La menor $a^*_{ph}(676)$ se obtuvo a las 10:15 con una magnitud de 0,088 $\text{m}^2 \text{mg}^{-1}$, seguida por la muestra de las 12:00 hs que arrojó un valor de 0,014 $\text{m}^2 \text{mg}^{-1}$. Las muestras restantes mantuvieron sus valores en torno al valor promedio sobre dicha longitud de onda (0,018 $\text{m}^2 \text{mg}^{-1}$).

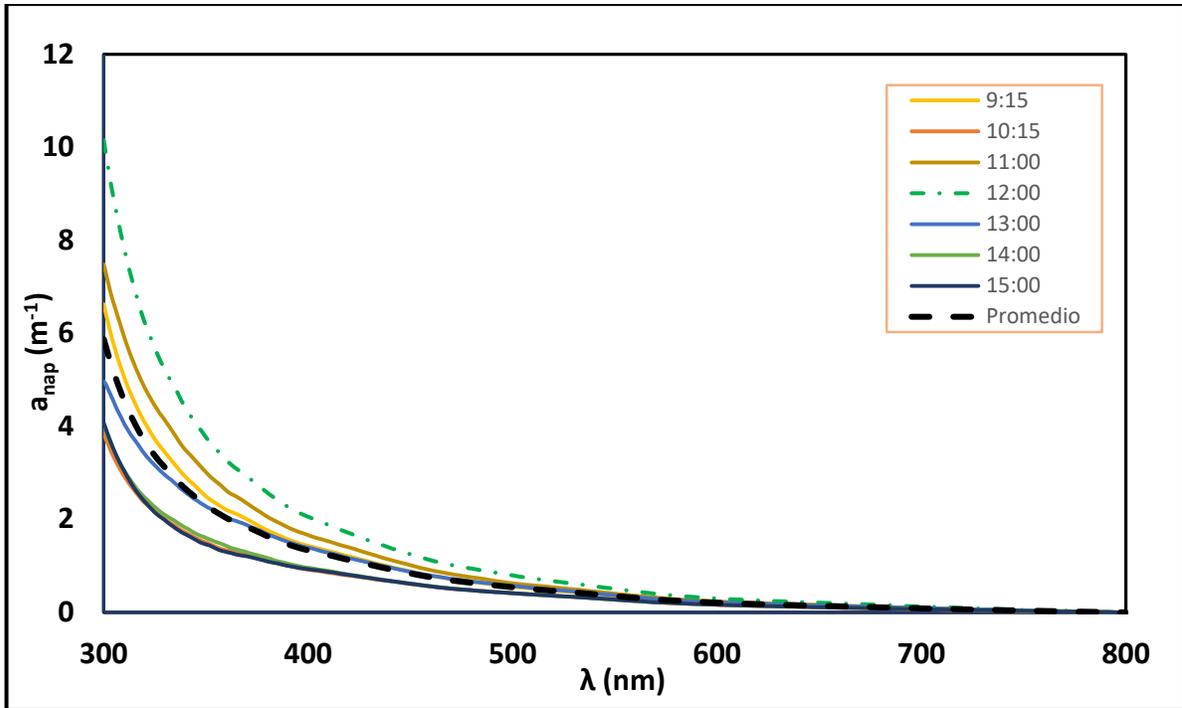


Figura 34. Absorción del material no pigmentado (a_{nap}) (λ) en función a los estados de marea (hs) en el Canal del Medio, EBB.

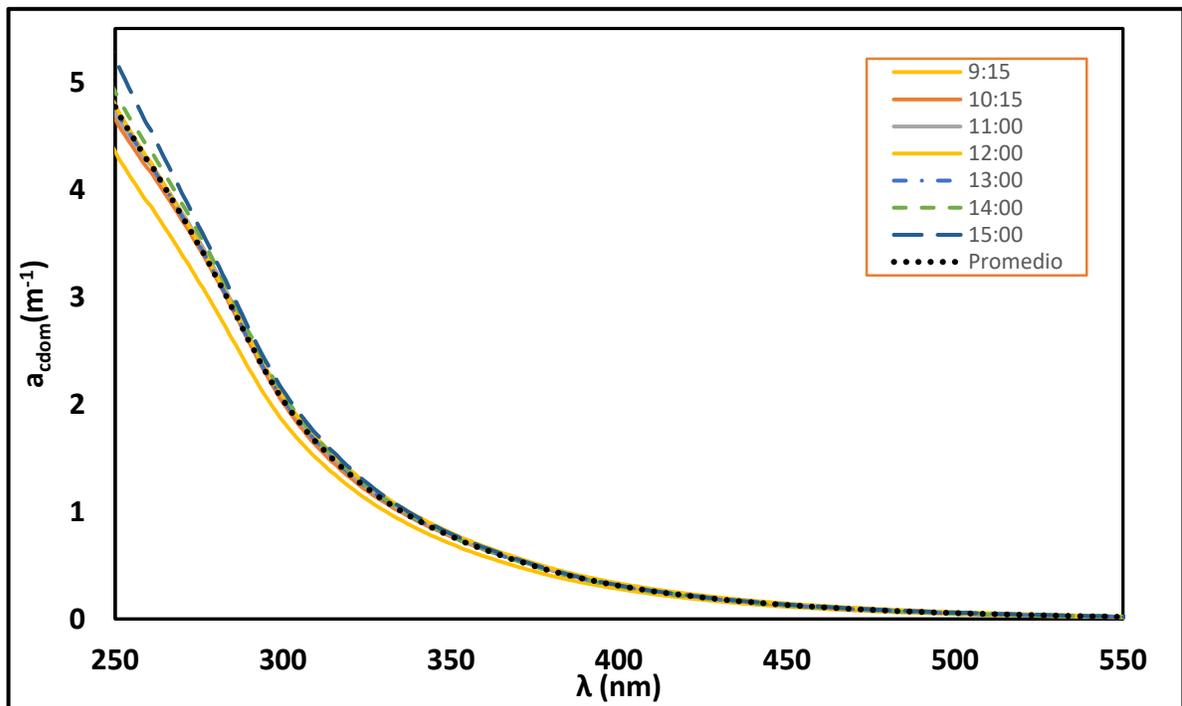


Figura 35. Absorción de la materia orgánica disuelta (a_{cdom}) (λ) en función a los distintos estados de marea (hs) en el Canal del Medio, EBB.

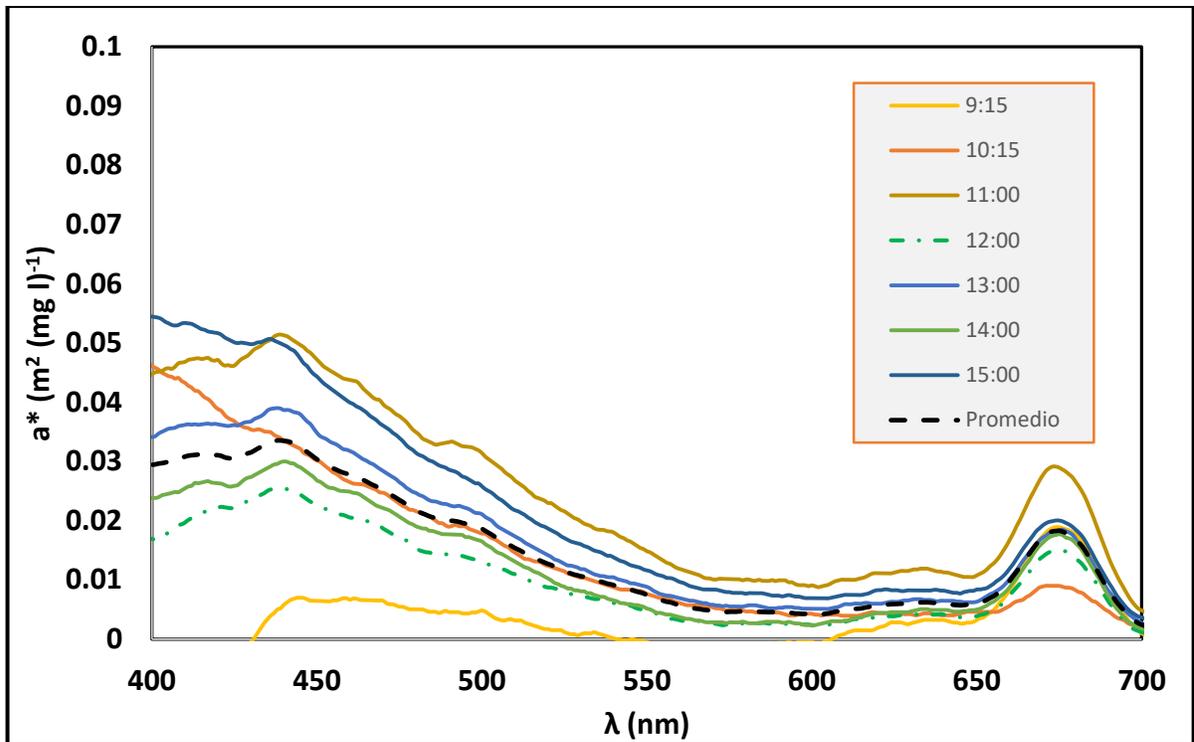


Figura 36. Variación temporal del coeficiente de absorción específico del fitoplancton (a_{ph}^*) (λ) En el Canal del Medio, EBB.

3.3. Propiedades ópticas aparentes: Reflectancia del agua

3.3.1. Análisis espacial

Los datos de reflectancia de la superficie $R(0^+; PAR)$ presentaron diferencias a lo largo del Canal Principal. La principal diferencia entre las firmas espectrales es la presencia de un pico de reflectancia a ~ 690 nm, que es máximo para las boyas 24* y 22', y mínimo en las boyas 24 y 26. Asimismo, se observan diferencias significativas entre las boyas 22 y 22' y una tendencia similar entre las muestras 24 y 24*. (Figura 37).

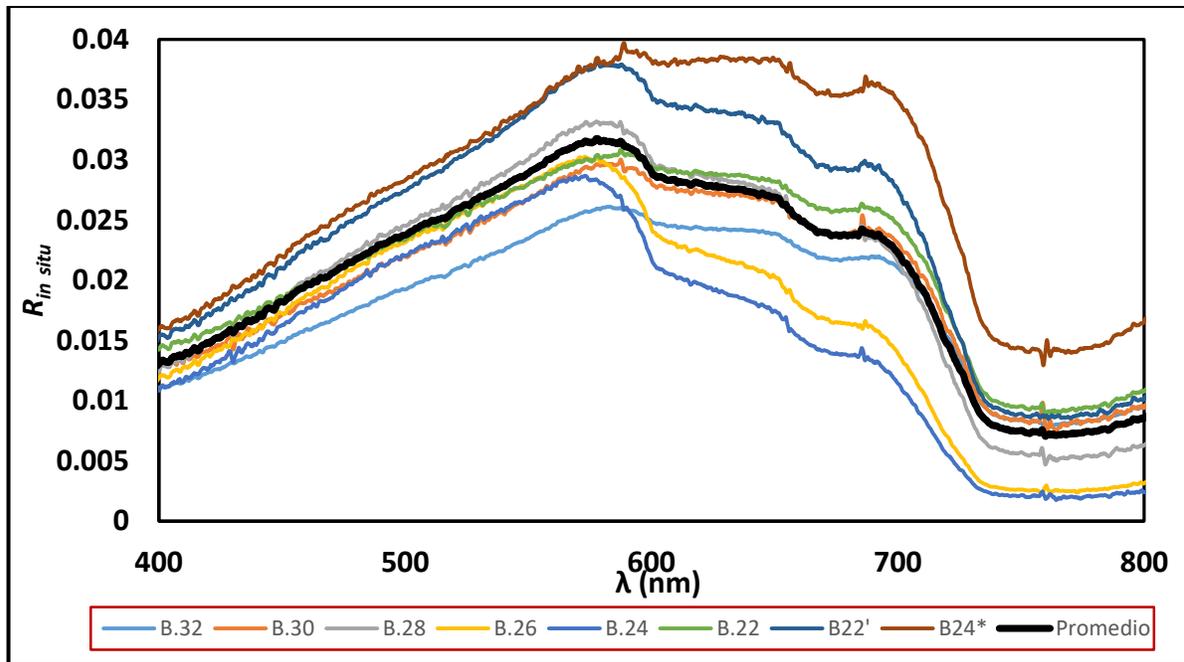


Figura 37. Espectro de $R_{in\ situ}$ (0^+ ; λ) para el Canal Principal del EBB.

3.3.2. Análisis temporal

La R (0^+ ; PAR) mostro valores mínimos para todas las longitudes de onda en la muestra correspondiente a las 9:15 hs, minutos después de la pleamar predicha, mientras que los valores máximos se registraron a las 12:00 hs. Las mayores reflectancias para todas las curvas se registraron en torno a los 570 nm, región verde del espectro en la cual refleja la clorofila-a. La reflectancia en esta región fue mayor en las muestras 12:00 y 14:00 hs y fue mínima para la muestra de las 09:15 hs. Se observan diferencias en torno a los ~ 690 nm, donde existe un pico que es máximo para muestras pertenecientes a situación de máxima velocidad de marea bajante (12:00 – 13:00 hs) y es mínimo para la muestra más próxima a situación de pleamar (9:15 hs) (Figura 38).

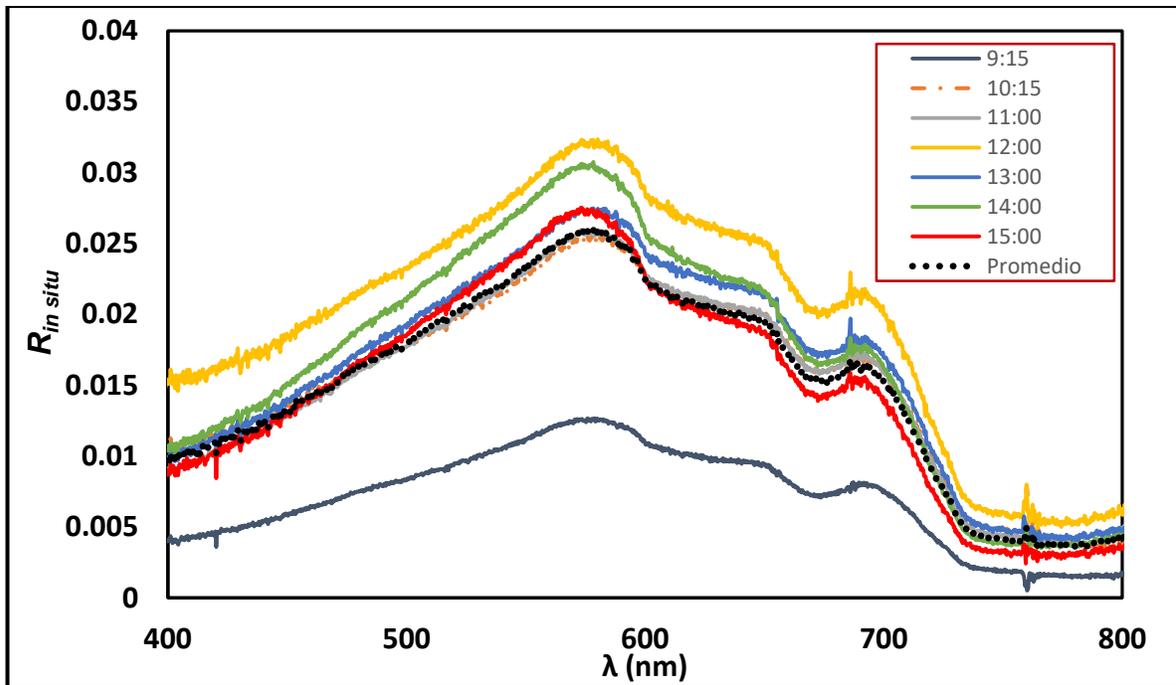


Figura 38. Espectro de $R_{in\ situ}$ (0^+ ; λ) en función del estado de marea para el Canal del Medio, EBB.

4. DISCUSION

En la siguiente sección se discutirán los principales resultados obtenidos en base a la dinámica observada en los parámetros físico-biológicos (temperatura superficial del mar, salinidad superficial del mar, MPS, turbidez y Chl-*a*) dentro del área de estudio y posteriormente su influencia sobre las propiedades ópticas inherentes y aparentes, en función de su variabilidad espacial y temporal.

4.1. Aspectos Físicos y Biológicos

4.1.1. Análisis Espacial

Temperatura y Salinidad superficial

La temperatura al igual que la salinidad superficial del mar presentaron variaciones espaciales a lo largo del Canal Principal (1,6 °C y 1,9, respectivamente). Los resultados denotan un aumento de temperatura desde la boya 32 (14 °C) hacia la boya 24 (14,7 °C), con un posterior descenso hacia la boya 22' (14,4 °C) (Figura 12). El gradiente térmico observado se encuentra condicionado por la baja profundidad del ambiente y por la constante interacción del agua con la atmósfera y planicies de marea (Beigt *et al.*, 2003; Freije *et al.*, 2008). La onda de marea tiene una fuerte influencia sobre la temperatura del agua del estuario, debido a que ingresa al sistema aportando agua de la plataforma interior con sus respectivas características. La temperatura del agua presente en la plataforma interior contigua presenta una amplitud térmica de aproximadamente 16,6 °C, con mínimos valores en Julio (6,1 °C) y máximos en Enero (22,7 °C) (Delgado *et al.*, 2016). Por otro lado, en el EBB los intercambios de calor mar-atmósfera ocurren con gran velocidad permitiendo una mayor amplitud térmica anual registrando un rango de 21,3 °C con mínimos valores en Julio (5,1 °C) y máximos en Enero (26.4 °C) (Freije *et al.*, 2008). Durante los meses fríos la zona interna estuarial posee menor temperatura que el área marina adyacente, aumentando progresivamente hacia la plataforma interior, como se observó en el presente estudio.

La salinidad superficial del EBB presentó un comportamiento típico con un leve gradiente que disminuye hacia la cabecera (Perillo y Piccolo, 1990; Popovich y Marccovechio, 2008) (Figura 12), situación característica de estuarios debido a la descarga de agua dulce en la zona interna. Particularmente, el gradiente salino observado en el EBB se considera mínimo

en relación a otros estuarios templados (Kocum *et al.*, 2002; Calliari *et al.*, 2005; Adolf *et al.*, 2006) debido a la leve descarga de agua dulce existente. Los bajos valores obtenidos en torno a las boyas 32 (31) y 30 (32,2) son producto de la descarga del arroyo Napostá Grande (descarga media anual: $0,8 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$; Perillo *et al.*, 2004) y la influencia antrópica de la región industrial (Puerto Ingeniero White y desagüe cloacal). Conforme se avanza hacia el sector externo aumentando la influencia marina aumenta progresivamente la salinidad hasta alcanzar el máximo valor registrado sobre la boya 22 (39,2).

Material particulado en suspensión

Sobre el área de estudio el MPS presentó una marcada variabilidad a lo largo del Canal Principal ($183,33 \text{ mg l}^{-1}$), las diferencias observadas no solamente mostraron tener una influencia espacial sino que además dejaron en evidencia el efecto de la marea sobre el canal ya que, aunque será detallado posteriormente, se observa que ante distintos estados de marea el MPS puede llegar a quintuplicar su concentración sobre el canal (boya 24 vs 24*). Las mareas y los vientos resultan los principales forzantes que inducen turbulencia en el agua del estuario, con la consecuente resuspensión de materiales sobre la columna de agua, de esta forma se logra un transporte horizontal de los mismos desde las planicies de marea y marismas hacia el medio del canal, aumentando la turbidez sobre la columna de agua (Piccolo y Perillo, 1990; Cuadrado *et al.*, 2004; Gelós *et al.*, 2004; Guinder *et al.*, 2009b).

En la mayoría de los ecosistemas costeros, el MPS es controlado por la descarga de los ríos, olas y vientos, mareas y tiempo de residencia, o la conjunción de todos ellos (De Jonge, 1995; May *et al.*, 2003). Dada la leve descarga continental presente en el estuario, se considera que no existen aportes externos de sedimento por lo que todo el material suspendido se originaría en regiones intermareales (planicies y marismas), la cuales poseen un mayor potencial de resuspensión en comparación con áreas submareales. La acción de las corrientes de marea, sobretodo en situación de marea bajante, erodan los sedimentos ubicados en los flancos de los canales de marea y los transportan hacia el Canal Principal (Campuzano y Pierini, 2008). Como el rango de marea aumenta progresivamente desde la boca (2,2 m), hacia la cabecera alcanzando 3,6 m en el puerto de Ingeniero White (Perillo *et al.*, 2004), el proceso de erosión se acrecentaría en la zona más interna del estuario explicando los elevados valores observados al inicio de la transecta (B.32: 95 mg l^{-1} ; B.30: 137 mg l^{-1}). Posteriormente, el

ensanchamiento cada vez más pronunciado del Canal Principal aumenta el caudal de agua drenada por el mismo, disminuyendo de forma significativa la concentración del MPS (B.26: 57 mg l⁻¹; B.24: 48 mg l⁻¹) (Figuras 13 y 14) . Además, a medida que nos alejamos de la región interna, las áreas intermareales se vuelven menos abundantes, por lo que el MPS tiende a presentar menores concentraciones relativas, situación que explicaría las bajas concentraciones observadas hacia el final de la transecta (boya 22).

Los resultados evidencian un activo transporte de materiales cohesivos sobre el Canal Principal, desplazándose suspendidos en la masa de agua y solo pudiendo ser depositados bajo condiciones de muy baja energía (Cuadrado *et al.*, 2004). Asimismo, las diferencias observadas transversalmente en torno a la boya 22 (boya 22: 98,5 mg l⁻¹; boya 22': 81,4 mg l⁻¹) muestran que dicho transporte no es homogéneo sino que se dispone en forma de plumas o manchones concentrados de sedimento que desembocan sobre el Canal Principal y se desplazan a través del mismo. Si bien parte del material movilizado es reubicado en el estuario, gran parte de los mismos son exportados del ambiente durante la bajamar, diluyéndose con el agua de la zona adyacente al estuario (aguas de plataforma interna de Pehuen Co y Monte Hermoso) donde se han registrado altas concentraciones de MPS durante todo el año, cuya mineralogía coincide con la observada dentro del EBB. (Cuadrado *et al.*, 2002; Delgado *et al.*, 2016).

Clorofila-a

En cuanto a la concentración de Chl-*a* en el Canal Principal, los resultados obtenidos concuerdan con lo observado por Popovich y Marccovechio (2008) y Guinder *et al.*, (2009), quienes identificaron una marcada tendencia en la Chl-*a* a disminuir desde la cabecera hacia la boca del estuario. Las estaciones más internas mostraron máximas concentraciones (B.30: 10,88 mg l⁻¹), que luego fueron disminuyendo a lo largo de la transecta (B.26: 2,85 mg l⁻¹), dado que la zona interna del estuario posee un mayor número de tributarios que aportarían gran concentración de nutrientes inorgánicos disueltos, particularmente acentuado hacia la primavera cuando el río Sauce Chico aumenta su descarga hacia el estuario. Asimismo, la zona interna del EBB resulta un ambiente altamente eutrófico ya que posee fuentes puntuales antropogénicas a partir de las cuales materia orgánica y nutrientes ingresan al ambiente, como residuos urbanos e industriales y fertilizantes derivados de la agricultura (Piccolo y Perillo, 1990; Botté *et al.*, 2007; Popovich y Marccovechio, 2008). Además, las corrientes residuales

muestran una marcada diferencia en la dirección del transporte de masa sobre la zona interna y media del estuario, donde el transporte neto suele ser hacia la cabecera en zonas poco profundas permitiendo la retención de los nutrientes en dicha región logrando la elevada productividad presente en términos de biomasa fitoplanctónica (Picollo y Perillo, 1990; Guinder *et al.*, 2008). Además, los fuertes vientos típicos del área de estudio, asociados a las corrientes de marea y la baja profundidad del ambiente generan las condiciones ideales (poca luz, elevada concentración de nutrientes y alta turbulencia) para la presencia y dominancia de diatomeas en el estuario, específicamente de *Thalassiosira curviseriata* (Popovich y Marccovechio, 2008; Guinder *et al.*, 2009).

A su vez, los resultados del fraccionamiento de la Chl-*a* arrojaron una clara dominancia de las tallas menores a 20 μm , que en promedio representó el 77,5 % de la clorofila-*a* muestreada a lo largo del canal. Esta fracción se encuentra representada por especies del nano y picoplancton y las menores tallas del microplancton. Entre ellos se encuentran los fitoflagelados y dinoflagelados (Sabatini 1987; Gayoso 1988); además de las diatomeas *Cyclotella spp.*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros spp.*, *Thalassiosira spp.* y *Lepctocylindrus minimus* (Guinder *et al.*, 2015).

4.1.2. Análisis Temporal

El ciclo de marea semidiurno en el EBB mostró ser el principal forzante que induciría la variabilidad sobre las propiedades físico-biológicas a corto plazo.

Temperatura y Salinidad superficial

La temperatura y salinidad superficial del mar no variaron significativamente durante el intervalo muestreado (0,9 °C; 1.8) pero mostraron respuestas ante el paso de la onda de marea. Los resultados muestran una disminución en la temperatura superficial del mar durante los primeros muestreos (post-pleamar) (9:15 hs: 11,7 °C; 11:00 hs: 11,3 °C), al mismo tiempo que la salinidad presentó sus mínimos valores (39,4) (Figura 17). Posteriormente, con el transcurso de la bajante, la temperatura y la salinidad aumentan progresivamente hacia sus máximos valores (15:00 hs: 12.2 °C; 41.2). Estos resultados son similares a los obtenidos por Menéndez (2015) en el muelle de puerto Cuatrerros, donde también se encontró una fuerte influencia de la

marea sobre la temperatura del agua. En el trabajo de Menéndez se observó que el ingreso de agua durante la creciente disminuyó la temperatura y a medida que el agua se retiró del canal la temperatura aumentó hasta alcanzar el máximo durante la bajamar, consecuencia del calentamiento radiativo diurno (Menéndez, 2015). En nuestro caso, el muestreo se desarrolló durante un día particularmente cálido y con alta radiación solar, por lo que el agua extremadamente somera que ocupaba las planicies de marea durante horas del mediodía se habría sobrecalentado con respecto al agua del Canal del Medio, provocando el aumento de temperatura observado durante el reflujó.

Los cambios en la salinidad también pueden explicarse por la circulación restringida del agua en el estuario y los procesos de evaporación que tienen lugar en la zona interna de este ambiente (Perillo y Piccolo, 1990; Menéndez *et al.*, 2016). La estación de muestreo en el canal del Medio está conectada con el canal Cabeza de Buey, que no tiene influencia de ninguna fuente de agua dulce. Por el contrario, durante la pleamar se produce la inundación de las extensas planicies de marea y salitrales, que quedaron expuestas a la alta radiación diurna y a los procesos evaporativos asociados. Esto podría explicar el incremento de la salinidad en una columna de agua muy somera durante la marea bajante. Asimismo, se ha registrado que en ocasiones las aguas del EBB son una fuente de aguas salinas para la región marina adyacente como consecuencia de la presencia de salitrales (30 km² de planicie salina, Salitral de la Vidriera) y la relativa baja descarga del río Sauce Grande (2 m³ s⁻¹; Piccolo and Perillo, 1990). En años secos, se han observado valores de salinidad mayores a 41 (Freije y Marcovecchio, 2004). Además, se ha comprobado que las mayores salinidades se alcanzan en proximidades a la región estuarial (> 35,4) en comparación con las registradas sobre la región marina (34,9 – 34,7) (Delgado *et al.*, 2016).

Material particulado en suspensión

El MPS presentó una importante variación temporal (55.3 mg l⁻¹) alcanzando sus mayores concentraciones durante el desarrollo de la marea bajante (168,67 mg l⁻¹). En líneas generales, durante la marea creciente el agua inunda progresivamente la planicie de marea, permitiendo la deposición de material fino aún antes de alcanzar la estoa de pleamar y luego de alcanzarla cuando las velocidades de corriente son muy bajas. Este proceso de sedimentación se ve favorecido por la presencia de “espartillares” (*Spartina alterniflora*), ya que los mismos

disipan ampliamente la energía del agua. Posteriormente en situación de media marea creciente o bajante, momento en el cual se alcanzan las máximas velocidades, estos materiales logran removilizarse a la columna de agua (Cuadrado *et al.*, 2004). Asimismo, Perillo *et al.* (2005) concluyen que las olas generadas por el viento durante la marea alta resuspenderían gran parte del sedimento fino ubicado en la planicie de marea que luego sería transportado por los canales durante la bajante, proceso que explicaría la relativa elevada concentración de MPS observada en la muestra durante dicho estado (09:14 hs; 145.3 mg l^{-1}) (Figura 18).

Los resultados obtenidos demuestran que, al igual que en otros estuarios dominados por mareas, la variación temporal del MPS se encuentra fuertemente condicionada por la advección horizontal y la resuspensión (Velegrakis *et al.*, 1997). Dado que las mayores concentraciones se asociaron a las máximas velocidades de corriente, estas últimas resultan ser el factor hidrodinámico que regula la dinámica del MPS en el área de estudio. Situaciones similares han sido estudiadas en otros estuarios del mundo por Cloern *et al.* (1989) y Velegrakis *et al.* (1997) sobre la bahía de San Francisco (USA) y el canal de la Mancha (UK) quienes observaron que las máximas concentraciones de sedimento ocurrían sobre los picos de energía del ciclo de marea (Menendez *et al.*, 2015). Asimismo, en el mar de Wadden (Alemania) se observó que las máximas concentraciones de MPS no solo respondieron a la energía de la marea sino que además ocurrían sobre la marea bajante (Grossart *et al.*, 2004).

Clorofila-a

La Chl-*a* mostró estar influenciada por el ciclo de marea presentando mayores concentraciones durante el desarrollo de la bajamar (12.63 mg l^{-1} ; 12:00 hs) (Figura 20). Diversos mecanismos suelen estar asociados a la variación de la Chl-*a* en estuarios, entre los que se destacan la resuspensión por viento y mareas, crecimiento, migraciones verticales y grazing (Cloern *et al.*, 1989; Menéndez *et al.*, 2016). Las altas concentraciones de Chl-*a* superficial observadas en este estudio se asocian a desplazamientos advectivos de la masa de agua generados durante el desarrollo de la marea, los procesos de resuspensión derivados de este mecanismo representan el principal elemento envuelto en la variabilidad a corto plazo de la Chl-*a* (Menéndez *et al.*, 2016). Como se explicó anteriormente, la comunidad fitoplanctónica del EBB es representada mayormente por diatomeas (Popovich y Marccovechio, 2008; Guinder *et al.*, 2009), las mismas poseen movimientos pasivos de tipo partícula, de modo tal

que su concentración y distribución se encuentra ampliamente condicionada por los desplazamientos del agua. Además, suele ser común encontrar en suspensión organismos pertenecientes al fitobentos como *Fragilaria spp.*, *Gyrosigma spp.*, y *Nitzschia spp.*, entre otros, como producto de los efectos de vientos y marea (Guinder *et al.*, 2009b). El incremento observado en la concentración de Chl-*a* durante la bajante podría explicarse en parte por el ingreso de estas especies típicamente bentónicas a la columna de agua, debido a un aumento en la velocidad de la corriente y la resuspensión de sedimentos.

Elevadas concentraciones de nitratos, silicatos y fosfatos han sido registradas sobre el Canal del Medio (Hoffmeyer y Barría de Cao, 2007). Freije *et al.* (2008) observaron que sobre la zona interna del estuario, los silicatos disueltos se encuentran en mayor concentración en los sedimentos que sobre la columna de agua. De esta forma, la turbulencia generada por la corriente de marea con la consecuente resuspensión del sedimento, permitiría una adecuada concentración de silicatos aumentando la productividad de la región y permitiendo el adecuado desarrollo de especies fitoplanctónicas, en las que se destacan las diatomeas (Popovich, 2004; Guinder *et al.*, 2009b; Menéndez *et al.*, 2016).

A lo largo del período estudiado la concentración de FChl-*a* (<20 μm) mostró dominar en un 74,48 %. Estos resultados coinciden con lo observado por Guinder *et al.* (2009b) quienes determinaron que dicha fracción suele ser más abundante en la comunidad fitoplanctónica del EBB. Existen sin embargo distintas adaptaciones del fitoplancton para hacer frente a la dinámica mareal. Las especies de mayor tamaño (p.e. las diatomeas *Thalassiosira spp.* (10 – 45 μm) y *Chaetoceros spp.* (8 - 34 μm) presentan arreglos en cadena con hilos y setas de silicio que les otorga una ventaja ante situaciones de turbulencia, ya que logran estar mayor tiempo suspendidas en la columna de agua. De esta forma, la gran turbulencia y resuspensión producida durante la bajante aumenta la abundancia de esta fracción sobre la columna de agua.

4.2. Propiedades ópticas inherentes (IOP's)

A partir de los resultados obtenidos fue posible describir por primera vez la variación espacial de las propiedades bio-ópticas a lo largo del Canal Principal y durante medio ciclo de marea en el estuario de Bahía Blanca. El análisis de los diagramas ternarios reafirma lo

presupuesto por las condiciones físicas observadas del estuario, que las aguas son ópticamente complejas (caso 2), según la clasificación de Morel y Prieur (1997). A su vez, se determinó que el material no pigmentado en primer lugar y el material pigmentado (fitoplancton) en segundo lugar, dominan la variabilidad en los constituyentes ópticamente activos, lo cual es información clave para la futura elaboración de algoritmos regionales para el área de estudio.

4.2.1. Análisis Espacial

La tendencia general observada en las IOP's a lo largo del Canal Principal es que los coeficientes de absorción disminuyen a medida que nos alejamos de la cabecera, dicho comportamiento también fue observado en otros estuarios como la bahía de Tampa (Le *et al.*, 2013) y Kangerlussuaq (Lund-Hansen *et al.*, 2010).

La a_{nap} (443) presentó una tendencia similar al MPS dado que, sobre la boya 30 ambos parámetros alcanzan máximos valores (a_{nap} (443): 2.07 m^{-1} ; MPS: 137 mg l^{-1}) mientras que, de forma análoga, la boya 26 muestra bajos valores relativos de MPS coincidentes con la baja absorción del material particulado no algal sostenida en todo el espectro (a_{nap} (443): 0.51 m^{-1} ; MPS: 57 mg l^{-1}) (Figuras 14, 25 y 28). De esta forma se asume que la calidad del MPS sería uno de los factores que más afecta a esta propiedad. Por un lado, las partículas minerales presentan una elevada absorción, situación que resulta característica de ambientes costeros turbios (Astoreca *et al.*, 2006; Prieur y Sathyendranath, 1981). A su vez, se cree que otra fuente de incremento de absorción de las partículas no algales es el aumento de detrito no vivo posterior a la floración fitoplanctónica de invierno y primavera temprana característica del EBB producida por un aumento en la actividad del zooplancton (Popovich *et al.*, 2008). Además, el crecimiento de bacterias y otros heterótrofos planctónicos contribuirían al incremento de dicha absorción (Gallegos *et al.*, 2005). Esta situación fue también estudiada en estuarios someros y eutróficos por Gallegos y Jordan (2002) y Gallegos *et al.*, (2005), quienes observaron en el río Rhode (Maryland) sobre la bahía de Chesapeake un elevado aporte de a_{nap} a lo largo del año y un aumento significativo del mismo una vez culminado el bloom de primavera.

Las máximas absorciones producidas por material coloreado disuelto (a_{cdom}) se registraron en torno a las boyas 32 y 30 que luego fueron disminuyendo conforme se avanza

hacia la región más externa, alcanzando sus mínimos valores sobre las boyas 24 y 22 (Figura 29). Sin embargo, la $a_{cdm}(443)$ no mostró importantes variaciones a lo largo del Canal Principal (0.10 m^{-1}) concluyendo que su aporte en la absorción conjunta de las IOP's a 443 nm (Figura 25) es mínimo variando entre 10,2 y 6 % (boyas 32 y 22, respectivamente). El CDOM suele ingresar a los ambientes costeros por medio de la descarga fluvial y aportes antrópicos, excreción y lisis celular o remineralización de la materia orgánica en los sedimentos (actividad bacteriana y fotodegradación) (Del Vecchio *et al.*, 2002; Blough *et al.*, 2002; Gallegos *et al.*, 2005). Como se detalló anteriormente, la descarga de agua dulce dentro del EBB es muy reducida, por lo que no se la considera como una principal fuente de a_{cdm} . Sin embargo, los aportes urbanos e industriales que ingresan al sistema sobre la región interna suelen ser mayúsculos (Popovich y Marccovechio, 2008) y serían responsables de los máximos observados sobre la zona interna del estuario (boyas 32 y 30). Asimismo, la circulación residual en el estuario favorecería esta situación tendiendo a acumular los materiales disueltos sobre los canales más internos (Campuzano *et al.*, 2008).

Los espectros de absorción del fitoplancton ($a_{ph}(\lambda)$) y absorción específica del fitoplancton ($a_{ph}^*(\lambda)$) presentaron grandes variaciones, correspondientes a la alta variabilidad espacial de abundancia de fitoplancton, en este estudio asociada a la concentración de Chl-*a* total. Por otro lado, el tamaño de las células es responsable de la capacidad de absorción de luz de las mismas, acentuando o disminuyendo los valores totales de absorción específica y también la forma de los espectros. En este estudio, como se mencionó anteriormente, la principal fracción encontrada de Chl-*a* corresponde al nano-plancton o microplancton pequeño (Fchl-*a* < 20 μm) seguido por microplancton de tamaño mediano o grande (> 20 μm). La forma de la curva los espectros se producen por una combinación de variables; en primer lugar el tamaño de célula y en segundo lugar los pigmentos accesorios (Yentsch y Phinney, 1989; Stuart *et al.*, 1998; Ciotti *et al.*, 1999-2002). La forma de los espectros promedio observados a lo largo del Canal Principal también coinciden con los espectros típicos de nanoplancton observados en otros estudios (p.e. Bricaud *et al.*, 1995-2004; Ciotti *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2013). Cuando las muestras se encuentran dominadas por células grandes (> 20 μm) suelen presentar espectros relativamente planos, debido a una disminución en la eficiencia de absorción en relación a la Chl-*a* presente por “efecto de empaquetamiento”. Este fenómeno se produce normalmente en

este tamaño de célula por la sombra intercelular (los cloroplastos están todos amontonados adentro de una misma célula grande) que se produce entre los pigmentos que las componen (i.e. Sathyendranath *et al.*, 2001; Ciotti *et al.*, 2002). El relativo “achatamiento” del espectro tomado de la boya 30 ($a_{ph}^*(\lambda)$), en comparación con el correspondiente espectro de $a_{ph}(\lambda)$ representa un claro ejemplo de dicho efecto dado que esta estación se encuentra representada en un 43 % por células de gran tamaño ($> 20 \mu\text{m}$).

En el caso contrario, en la muestra correspondiente a la boya 28 la fracción $> 20 \mu\text{m}$ representa sólo un 11 % de la [TChl-*a*], y el espectro de $a_{ph}(\lambda)$ y $a_{ph}^*(\lambda)$ (ver Figuras 27 y 30) corresponde a la forma descrita para muestras dominadas por la fracción nanoplanctónica, producto de una mayor eficiencia por parte de estas especies en la absorción de la luz con respecto a la cantidad de Chl-*a* contenida (p.e. Bricaud *et al.*, 1995-2004; Ciotti *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2013). A su vez, también tienen efecto sobre las curvas espectrales la variabilidad de pigmentos accesorios contenidos en las distintas especies (no descriptos en este estudio) (Hoepffner y Sathyendranath, 1992).

Los elevados coeficientes de $a_{ph}^*(\lambda)$ en la región azul del espectro podrían también relacionarse con altas concentraciones de feopigmentos en el agua, lo que podría provocar cambios significativos sobre las máximas absorciones a bajas longitudes de onda ($< \sim 430 \text{ nm}$), hecho que coincidiría con el colapso/disminución de la floración en el estuario (Hoepffner y Sathyendranath, 1992).

4.2.2. Análisis Temporal

La variación observada sobre las IOP's estuvo estrechamente relacionada con la onda de marea, ya que las mismas respondieron a las desviaciones observadas en los elementos ópticamente activos (SPM, turbidez, Chl-*a*). Durante el ciclo de marea las partículas responden a procesos advectivos, gracias a mecanismos de resuspensión y sedimentación que producen cambios intrínsecos sobre la parcela de agua mientras esta se traslada lateralmente provocando variaciones en las concentraciones del material disuelto y particulado (Oubelkheir *et al.*, 2006).

Tanto los espectros de absorción como los coeficientes de absorción a 443 nm, indicaron la clara dominancia de las partículas no pigmentadas por sobre el resto de los componentes a lo

largo del período estudiado. Sin embargo, durante la marea baja (15:00 hs) se produce un aumento del aporte de a_{ph} (443) hasta casi igualar el aporte de a_{nap} (443), asociado a una acumulación de organismos fitoplanctónicos (*Talassiosira* etc, comunicación personal de Valeria Guinder) sobre el canal de marea. Se cree que este fenómeno es producto del arrastre y la resuspensión provocada por las corrientes de marea, en conjunto con la disminución del ancho y profundidad del canal, concentrándose en una menor parcela de agua todo el material suspendido. Asimismo, los coeficientes de absorción acumulados a 443 nm mostraron una magnitud similar para todos los componentes entre la muestra de las 10:15 hs y 14:00 hs reflejando el carácter oscilatorio de la onda de marea.

Como sucedió a lo largo del Canal Principal, se observa una tendencia similar entre el MPS y la a_{nap} (443), siendo este un importante modulador en la absorción de las partículas no pigmentadas. Como se explicó anteriormente, las corrientes generadas durante la bajante logran las mayores velocidades en el estuario (Cuadrado *et al.*, 2005), ejerciendo mayor esfuerzo de corte sobre áreas intermareales, logrando resuspender gran parte del material depositado sobre el fondo y flancos de los canales de marea, permitiendo de esta forma obtener máximas concentraciones de MPS y finalmente, de a_{nap} (443) durante el período de máximas velocidades de marea (11:00 hs: 13:00 hs).

Las curva espectral de $a_{nap}(\lambda)$ colectada a las 12:00 hs (marea bajante) presentó los valores más elevados en todo el espectro, aunque dicha muestra no represente el máximo de MPS (mg l^{-1}). Por otro lado, la muestra perteneciente al máximo de MPS (mg l^{-1}) (13:00 hs) presenta valores menores al promedio. Ambos casos representan un indicio de que si bien la cantidad de material en suspensión sería el principal modulador de dicha absorción, también se debe considerar el tipo de partícula. Los movimientos advectivos y la importante resuspensión de material concentrarían en la parcela de agua una gran cantidad de elementos diferentes (p.e. partículas minerales, pellets fecales y células muertas) que contribuirían en forma diferente a dicha absorción. La leve variación relativa del material coloreado disuelto a lo largo del ciclo de marea refleja una situación de homogeneidad en cuanto a este parámetro, influenciado asimismo por la altura de marea ya que los espectro de absorción de $a_{cdom}(\lambda)$ fueron aumentando conforme se desarrollaba el estado de bajamar, producto de la resuspensión del fondo y el

arrastré desde zonas internas con elevada concentración de restos orgánicos en avanzado estado de descomposición por medio de las corrientes de marea.

Los cambios observados a lo largo del ciclo de marea en cuanto a la absorción del fitoplancton mostraron estar relacionados al “*efecto de empaquetamiento*”. Luego de la pleamar, la $a_{ph}^*(\lambda)$ presenta un espectro variable, con alta respuesta en la región del azul, representando una clara dominancia por parte de los organismos $< 20 \mu\text{m}$ (10:15 hs). Sobre las 11:00 hs dichos organismos representan un 71 % de la muestra y la a_{ph}^* (443) alcanza su máximo (0.05 m^{-1}), reflejando el momento en el que la corriente de marea comienza influir sobre la abundancia del fitoplancton en la superficie del agua, transportando y resuspendiendo material y arrastrando consigo a los organismos de menor tamaño.

Una hora más tarde, los movimientos advectivos asociados a la corriente de marea ejercen su máxima influencia sobre la [Chl-*a*] aumentando 3.27 mg l^{-1} , al mismo tiempo que la a_{ph}^* disminuye un 50 % (a_{ph}^* (443): 0.025 m^{-1}) mostrando un claro pico en la región del azul. Para dicha muestra, el espectro de $a_{ph}^*(\lambda)$ no solo se muestra disminuido en magnitud sino que además, se vuelve relativamente plano indicando una disminución en la fracción nanoplanctónica, que representa ahora ~55 % de la muestra, incrementando la proporción de células mayores y el asociado efecto de empaquetamiento.

Durante el período de bajante, se mantuvo una relación inversa entre la [Chl-*a*] y la a_{ph}^* (443) y el espectro de absorción osciló en función a los valores medios. Finalmente, llegada la bajamar la contribución relativa de la absorción del fitoplancton alcanza su máximo (~39 %; Figura 31) dado que el mismo se encontraría concentrado en el canal de marea, mostrando una elevada absorción a lo largo del espectro, con fuertes picos en la región del azul y del rojo (a_{ph}^* (443): 0.51 ; a_{ph}^* (676): 0.21 m^{-1}) asociado a la alta diversidad de tamaños y pigmentos presentes en la comunidad.

4.3. Propiedades ópticas aparentes: Reflectancia del agua

4.3.1. Análisis Espacial

La Reflectancia obtenida fue altamente variable a lo largo del área muestreada aportando información sobre las concentraciones de material disuelto y particulado presente en

la masa de agua. Los espectros observados en este estudio son similares en magnitud y forma a otros espectros típicos tomados en aguas turbias y productivas (Giltelson *et al.*, 2000; Dall'Ollmo y Giltelson, 2005; Schalles, 2006; Gitelson *et al.*, 2007).

Todos los constituyentes presentes en el agua mostraron una importante actividad óptica entre los 400 – 500 nm, rango en donde se producen las máximas absorciones por parte del *nap* y el CDOM. En consecuencia, la reflectancia en torno a los 440 nm resulta menos sensible en términos de Chl-*a*. Como es esperable, las estaciones que presentaron máximas absorciones de CDOM y *nap* presentan valores más bajos de reflectancia (boyas 32, 30 y 24). Sobre los 580 nm se registraron elevados valores de reflectancia correspondientes a la mínima absorción de fitoplancton en la región verde (la Chl-*a* refleja en el verde) y a la elevada dispersión de las partículas (Gitelson *et al.*, 2000; Gitelson *et al.*, 2007). A medida que aumenta la concentración de partículas suspendidas (MPS y células fitoplanctónicas), también lo hace la dispersión de la luz produciendo un aumento en la reflectancia (p.e. las diferencias en torno al verde entre las boyas 32 y 30 radican en que esta última posee mayor concentración de Chl-*a* y MPS, resultando en un aumento de la reflectancia por aumento de la dispersión molecular) expresado a lo largo de todo el espectro.

Sobre la región roja del espectro (≈ 670 nm) la $a_{ph}(\lambda)$ aumenta disminuyendo la reflectancia en todas las curvas, donde las diferencias en magnitud se encuentran asociadas al contenido de material suspendido. Asimismo, se observa un pico clásico en torno a los 700 nm como resultado de la mínima absorción de todos los constituyentes en esta región del espectro. En particular, la $a_{ph}(\lambda)$ comienza a descender hacia longitudes de onda mayores mientras la absorbancia del agua pura aumenta. Los resultados obtenidos concuerdan con lo observado por Gitelson *et al.*, (2007) quien realizó el mismo análisis para las aguas turbias de la bahía de Chesapeake, aunque obteniendo magnitudes de reflectancia superiores a los de la presente tesis, por la elevada dispersión asociada a elevados valores en términos de Chl-*a* (7 – 65 mg l⁻¹).

Asimismo, el efecto de empaquetamiento mostró tener repercusiones sobre la reflectancia dado que aquellas estaciones que mostraron estar dominadas por mayores tamaños celulares (> 20 μ m) obtuvieron picos menos pronunciados asociados a la repuesta del pigmento en la región del espectro del azul y el rojo (boya 32 vs boya 26).

4.3.2. Análisis Temporal

Las variaciones observadas en las propiedades ópticas inherentes producto de los movimientos advectivos y la turbulencia generada por la marea influyeron a su vez sobre la reflectancia del agua del EBB. Nuevamente, se destaca el hecho de que la Chl-*a* no resultó ser el único parámetro fuente de variabilidad en este estudio sino que, tanto las propiedades disueltas como particuladas influyen en las curvas de reflectancia tanto espectral como temporalmente.

La curva de marea reflejó su carácter oscilatorio en la reflectancia del agua de mar obteniendo mínimos valores tanto al comienzo como al final del ciclo. Asimismo, como la acción de las olas no fue significativa durante el período estudiado, la resuspensión observada fue producto de la acción de las corrientes de marea en bajante permitiendo que la concentración de material suspendido sea elevada y por lo tanto, la dispersión generada por dichas partículas sea mayor, provocando que las muestras tomadas en estado de media marea bajante tiendan a dominar en magnitud la reflectancia a lo largo del espectro.

Como se mencionó en el análisis espacial, se observa un aumento progresivo de la reflectancia desde la región azul hacia mayores longitudes de onda, producto de la disminución en la absorción del CDOM y *nap*. Sobre la región verde se alcanza la máxima reflectancia asociado a un mínimo de $a_{ph}(\lambda)$ en torno a los 580 nm y máxima dispersión de las partículas en esta región del espectro. Sobre los 676 nm la $a_{ph}(\lambda)$ alcanza un máximo que se observa como un mínimo en la reflectancia, para aumentar en torno a los 700 nm ocasionado por fluorescencia de pigmentos fitoplanctónicos y mínima absorción de todos los componentes (Gitelson *et al.*, 2007).

5. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de las propiedades bio-ópticas en el estuario de Bahía Blanca. A su vez se describió el comportamiento de dichas propiedades en base a coeficientes específicos y curvas espectrales de absorción y reflectancia. Se concluyó que se trata de aguas ópticamente complejas (caso 2), donde la contribución relativa de los componentes ópticamente activos estuvo dominada por la a_{nap} en primer lugar, y por la a_{ph} , en segundo lugar.

Las propiedades físico-biológicas del área de estudio mostraron una estrecha relación con los forzantes físicos del ambiente (mareas y corrientes resultantes), evidenciando una significativa variación dentro del estuario tanto espacial, como temporal. Asimismo, la geomorfología del ambiente y la disponibilidad de regiones intermareales (las cuales cumplen un rol fundamental en la resuspensión de material hacia la columna de agua), influyeron significativamente sobre las propiedades ópticas, constatando que las variaciones observadas sobre dichas propiedades se encuentran en relación directa con las desviaciones presentadas por los componentes ópticamente activos presentes en la columna de agua (MPS y Chl-*a*). Asimismo, se observó a través del análisis de la a_{ph} y Chl-*a* la importante diversidad de tallas y pigmentos presentes en la comunidad fitoplanctónica del estuario, que a su vez varían con la marea y en el espacio.

Cabe destacar que en base a la elevada variabilidad espacio-temporal de las propiedades bio-ópticas observadas en el EBB es necesario intensificar y sostener los muestreos en el tiempo con el objetivo de incluir a estos estudios en el marco de un análisis estacional.

En cuanto a la validación de algoritmos empíricos a partir de imágenes del color del mar (Landsat 8 y OLCI), se propone que los muestreos *in situ* sean realizados sobre canales lo suficientemente anchos que permitan ser captados por la resolución espacial del sensor. El muestreo debe coincidir estrictamente con el paso del satélite sobre la región a muestrear, dado que la elevada variabilidad observada sobre las propiedades físico-biológicas y ópticas en este estudio impiden la utilización de una ventana horaria para la toma de datos, buscando de esta forma reducir los posibles errores.

6. BIBLIOGRAFIA

- Aceituno, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface climate. *Mon. Weather Rev.* (1988), 116, 505–524.
- Acha, E.M., Mainzan, H.W., Guerrero, R.A., Favero, M. & Bava, J., (2004). Marine fronts at the continental shelves of Austral South America Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 44: 83-105.
- Adolf, J. E., Yeager, C. L., Miller, W. D., Mallonee, M. E., & Harding, L. W. (2006). Environmental forcing of phytoplankton floral composition, biomass, and primary productivity in Chesapeake Bay, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(1), 108-122.
- Aliotta, S., Farinati, E., Lizasoain, G., & Spagnuolo, J. (1998). Sedimentos superficiales y del subsuelo marino en el Canal Cabeza de Buey-Bahía del Medio, Estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, V. Actas, 145-154.
- Almandoz, G.O., Ferrario, M.E., Ferreyra, G.A., Schloss, I.R., Esteves, J.L., Paparazzo, F.E. (2007). The genus *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) in continental shelf waters of Argentina (Southwestern Atlantic Ocean, 38–55°S). *Harmful Algae* 6: 93-103.
- Arias, A., Vazquez-Botello, A., Tombesi, N., Ponce-Vélez, G., Freije, H., Marcovecchio, J., (2010). Presence, distribution, and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Bahía Blanca estuary, Argentina. *Environmental Monitoring Assessment*, 160: 301–314.
- Astoreca, R., Ruddick, K., Rousseau, V., Van Mol, B., Parent, J. Y., & Lancelot, C. (2006). Variability of the inherent and apparent optical properties in a highly turbid coastal area: impact on the calibration of remote sensing algorithms. *EARSeL eProceedings*, 5(1), 1-17.
- Babin M, Roesler CS, Cullen JJ (Eds) (2008). Real-time coastal observing systems for marine ecosystem dynamics and harmful algal blooms: Theory, instrumentation and modelling. Paris: UNESCO.

- Beigt, D., Píccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2003). Soil heat exchange in Puerto Cuatrerros tidal flats, Argentina Intercambio de calor en el suelo en las planicies de marea de Puerto Cuatrerros, Argentina. *Ciencias Marinas*, 29(4B), 595-602.
- Biancalana, F., Menéndez, M., Berasategui, A., Fernández-Severini, M., Hoffmeyer, M., (2012). Sewage pollution effects on mesozooplankton structure in a shallow temperate estuary. *Environ. Monit. Assess.* 184, 3901–3913, <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-2232-2>.
- Blough, N. V., & Del Vecchio, R. (2002). Chromophoric DOM in the Coastal Environment-Chapter 10.
- Botté, S. E., Freije, R. H., & Marcovecchio, J. E. (2007). Dissolved heavy metal (Cd, Pb, Cr, Ni) concentrations in surface water and porewater from Bahía Blanca estuary tidal flats. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 79(4), 415-421.
- Bricaud A & Morel A (1986) Light attenuation and scattering by phytoplanktonic cells: a theoretical modeling. *Appl. Opt.* 25(4): 571-580
- Bricaud, A., Babin, M., Morel, A., & Claustre, H. (1995). Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100(C7), 13321-13332.
- Bricaud, A., Claustre, H., Ras, J., & Oubelkheir, K. (2004). Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C11).
- Bricaud, A., Morel, A., & Prieur, L. (1981). Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnology and oceanography*, 26(1), 43-53.
- Brown CW & Podestá GP (1997) Remote sensing of Coccolithophore blooms in the Western South Atlantic Ocean. *Remote Sens Environ* 60: 83-91
- Calliari, D., Gómez, M., & Gómez, N. (2005). Biomass and composition of the phytoplankton in the Río de la Plata: large-scale distribution and relationship with environmental variables during a spring cruise. *Continental Shelf Research*, 25(2), 197-210.

- Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A., & Diez, P. (2004). El clima del suroeste bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Campuzano, F., Pierini, J. O., & Leitão, P. (2008). Hydrodynamics and sediments in Bahía Blanca estuary. Data analysis and modelling. Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America, IST Scientific Publishers, Lisbon, 483, 503.
- Carroza, C., Aráoz, N. F., & Pájaro, M. (2009). Variado costero y su interacción con especies pelágicas. Informe Asesor. Transf. INIDEP, 2(09), 6.
- Chen, Z., Hu, C., Muller-Karger, F. E., & Luther, M. E. (2010). Short-term variability of suspended sediment and phytoplankton in Tampa Bay, Florida: observations from a coastal oceanographic tower and ocean color satellites. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 89(1), 62-72.
- Ciotti, A. M., Lewis, M. R., & Cullen, J. J. (2002). Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. *Limnology and Oceanography*, 47(2), 404-417.
- Cloern, J. E., Powell, T. M., & Huzzey, L. M. (1989). Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay (USA). II. Temporal changes in salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity over tidal time scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 28(6), 599-613.
- Cole, J. J., Caraco, N. F., & Peierls, B. L. (1992). Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid, freshwater, tidal estuary? *Limnology and Oceanography*, 37(8), 1608-1617.
- Cuadrado, D. G., Ginsberg, S. S., & Gómez, E. A. (2004). Geomorfología. Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 29-38.
- Cuadrado, D.G.; Gomez, E.A., & Ginsberg, S.S., (2005). Tidal and longshore sediment transport associated to a coastal structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(1), 291-300.

- Dall'Olmo, G., & Gitelson, A. A. (2005). Effect of bio-optical parameter variability on the remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters: experimental results. *Applied optics*, 44(3), 412-422.
- Davies-Colley, R. J., Vant, W. N., & Smith, D. G. (2003). Colour and clarity of natural waters. Blackburn Press.
- De Jorge, V. N., & Van Beusekom, J. E. E. (1995). Wind-and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnology and oceanography*, 40(4), 776-778.
- Del Vecchio, R., & Blough, N. V. (2002). Photobleaching of chromophoric dissolved organic matter in natural waters: kinetics and modeling. *Marine Chemistry*, 78(4), 231-253.
- Delgado, A. L., Loisel, H., Jamet, C., Vantrepotte, V., Perillo, G. M., & Piccolo, M. (2015). Seasonal and inter-annual analysis of chlorophyll-a and inherent optical properties from satellite observations in the inner and mid-shelves of the south of Buenos Aires Province (Argentina). *Remote Sensing*, 7(9), 11821-11847.
- Delgado, A. L., Menéndez, M. C., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2016). Hydrography of the inner continental shelf along the southwest Buenos Aires Province, Argentina: influence of an estuarine plume on coastal waters. *Journal of Coastal Research*.
- Delucchi, F., Tombesi, N., Freije, R., Marcovecchio, J., (2007). Butyltin compounds in sediments of the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Environ. Monit. Assess.* 132, 445–451.
- Dickey, T., & P. Falkowski (2002), Solar energy and its biological- physical interactions in the sea, in *The Sea*, vol. 12, *Biological-Physical Interactions in the Sea*, edited by A. Robinson, J. J. McCarthy, and B. J. Rothschild, pp. 401– 440, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- Dogliotti, A. I. (2007). Estimación de la biomasa fitoplanctónica mediante el sensoramiento remoto del color del mar y datos de campo en la Plataforma Continental Patagónica (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires).

- Dogliotti, A. I., Lutz, V. A., & Segura, V. (2014). Estimation of primary production in the southern Argentine continental shelf and shelf-break regions using field and remote sensing data. *Remote sensing of environment*, 140, 497-508.
- Dogliotti, A. I., Schloss, I. R., Almandoz, G. O., & Gagliardini, D. A. (2009). Evaluation of SeaWiFS and MODIS chlorophyll-a products in the Argentinean Patagonian continental shelf (38 S–55 S). *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), 251-273.
- Dutto, M.S., Kopprio, G.A., Hoffmeyer, M.S., Alonso, T.S., Graeve, M., Kattner, G., (2014). Planktonic trophic interactions in a human impacted estuary of Argentina: a fatty acid marker approach. *Journal of Plankton Research*, <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbu012>.
- Falkowski PG, Oliver M. (2007). Mix and match: how climate selects phytoplankton. *Nature* 5: 813 -819.
- Fernández-Severini, M., Hoffmeyer, M., Marcovecchio, J., (2013). Heavy metals concentrations in zooplankton and suspended particulate matter in a southwestern Atlantic temperate estuary (Argentina). *Environmental Monitoring Assessment* 185: 1495–1513.
- Ferreira, A., D. Stramski, C. A. E. Garcia, V. M. T. Garcia, A. M., Ciotti & C. R. B. Mendes, (2013). Variability in light absorption and scattering of phytoplankton in Patagonian waters: Role of community size structure and pigment composition. *J. Geophys. Res. Oceans*, 118: 698–714.
- Ferreira, A., Garcia, V. M., & Garcia, C. A. (2009). Light absorption by phytoplankton, non-algal particles and dissolved organic matter at the Patagonia shelf-break in spring and summer. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(12), 2162-2174.
- Freije, R. H. & Marcovecchio, J. (2004). *Oceanografía Química. Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*, 69-78.
- Freije, R. H., Spetter, C. V., Marcovecchio, J. E., Popovich, C. A., Botté, S. E., Negrín, V., ... & Asteasuain, R. O. (2008). Water chemistry and nutrients of the Bahía Blanca Estuary. *Perspectives on integrated coastal zone management in South America*. Neves, R.,

- Baretta, J. & Mateus, M. (Eds.). IST Press. Scientific Publishers, Lisboa, Portugal, 243-256.
- Freije, R.H. & Marcovecchio, J.E., (2004). Oceanografía química. In: Piccolo, M.C. and Hoffmeyer, M.S. (eds.), El Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca. Bahía Blanca, Argentina: Instituto Argentino de Oceanografía, pp. 69–78.
- Gagliardini, D. A., Aliotta, S., Dogliotti, A. I., & Clemente-Colón, P. (2005). Identification of bed forms through ERS SAR images in San Matías Gulf, Argentina. *Journal of coastal research*, 193-201.
- Gagliardini, D.A., Clemente Colón, P., Bava, J., Milovich, J.A. & L.A. Frulla. (2001). Complementary use of SAR and Thermal IR observations in the Brazil-Malvinas Confluence Region. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, 6, 643-650.
- Gagliardini, D.A., Dogliotti, A.I., Karszenbaum, H. y F. Grings. (2004). Comparison of bathymetric features detected by ERS-2 SAR and Landsat TM data over San Matías Gulf, Argentina. *Gayana*, 68, 2, supl, p.201-208.
- Gallegos, C. L., & Jordan, T. E. (2002). Impact of the spring 2000 phytoplankton bloom in Chesapeake Bay on optical properties and light penetration in the Rhode River, Maryland. *Estuaries and Coasts*, 25(4), 508-518.
- Gallegos, C. L., Correll, D. L., & Pierce, J. W. (1990). Modeling spectral diffuse attenuation, absorption, and scattering coefficients in a turbid estuary. *Limnology and Oceanography*, 35(7), 1486-1502.
- Gallegos, C. L., Jordan, T. E., Hines, A. H., & Weller, D. E. (2005). Temporal variability of optical properties in a shallow, eutrophic estuary: Seasonal and interannual variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64(2), 156-170.
- Garcia, C. A. E., Garcia, V. M. T., & McClain, C. R. (2005). Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans. *Remote Sensing of Environment*, 95(1), 125-137.
- Garcia, V. M., Garcia, C. A., Mata, M. M., Pollery, R. C., Piola, A. R., Signorini, S. R.,... & Iglesias-Rodriguez, M. D. (2008). Environmental factors controlling the phytoplankton

- blooms at the Patagonia shelf-break in spring. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(9), 1150-1166.
- Gayoso, A. M. (1988). Variación estacional del fitoplancton de la zona más interna del estuario de Bahía Blanca (Prov. Buenos Aires, Argentina). *Gayana Bot*, 45, 241-247.
- Gayoso, A. M. (1999). Seasonal succession patterns of phytoplankton in the Bahía Blanca estuary (Argentina). *Botanica Marina*, 42(4), 367-375.
- Gelós, E. M., Marcos, A. O., Spagnolo, J. O., & Schillizi, R. A. (2004). Textura y mineralogía de sedimentos. *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina, 43-50.
- Gitelson, A. A., Schalles, J. F., & Hladik, C. M. (2007). Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. *Remote Sensing of Environment*, 109(4), 464-472.
- Gitelson, A. A., Yacobi, Y. Z., Schalles, J. F., Rundquist, D. C., Han, L., Stark, R., & Etzion, D. (2000). Remote estimation of phytoplankton density in productive waters. *Advances in limnology*. Stuttgart, (55), 121-136.
- Gordon, H.R., & Morel A. (1983). Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery. A review. *Lectures notes on coastal and estuarine studies*, 4, Springer Verlag, New York (USA).
- Gossn, J. I., Frouin, R., Dogliotti, A. I., & Grings, F. M. (2016). SWIR-based atmospheric correction for Satellite Ocean Color using Principal Component Analysis decomposition over the la Plata River highly turbid waters. In *Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2016 IEEE (pp. 1-6). IEEE.
- Gregg, W. W., Casey, N. W., & McClain, C. R. (2005). Recent trends in global ocean chlorophyll. *Geophysical Research Letters*, 32(3).
- Grimm, A.M., Barros, V.R. & Doyle, M.E., (2000). Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13: 35–58.

- Grossart, H. P., Brinkhoff, T., Martens, T., Duerselen, C., Liebezeit, G., & Simon, M. (2004). Tidal dynamics of dissolved and particulate matter and bacteria in a tidal flat ecosystem in spring and fall. *Limnology and oceanography*, 49(6), 2212-2222.
- Guinder, V. A., López-Abbate, M. C., Berasategui, A. A., Negrin, V. L., Zapperi, G., Pratolongo, P. D., ... & Popovich, C. A. (2015). Influence of the winter phytoplankton bloom on the settled material in a temperate shallow estuary. *Oceanologia*, 57(1), 50-60.
- Guinder, V. A., Popovich, C. A., & Perillo, G. M. (2009). Particulate suspended matter concentrations in the Bahía Blanca Estuary, Argentina: implication for the development of phytoplankton blooms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85(1), 157-165.
- Guinder, V. A., Popovich, C. A., & Perillo, G. M. (2009b). Short-term variability in the phytoplankton and physico-chemical variables in a high-tidal regime, Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(3), 249-258.
- Hoepffner, N., & Sathyendranath, S. (1992). Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 37(8), 1660-1679.
- Hoepffner, N., Sathyendranath, S., (1992). Bio-optical characteristics of coastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic. *Limnology and Oceanography* 37, 1660-1679.
- Hoffmeyer, M. S., & Barría de Cao, M. S. (2007). Zooplankton assemblages from a tidal channel in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(2), 97-107.
- Højerslev, N. K., & Aas, E. (1998). Spectral light absorption by gelbstoff in coastal waters displaying highly different concentrations. *Ocean Optics XIV CD-ROM*.
- IOCCG, 2000, Remote sensing of ocean colour in coastal and other optically complex waters. Editado por Sathyendranath, S. Reporte N° 3 del International Ocean Colour Coordinating Group, IOCCG, Dartmouth, Canada.

- IOCCG, 2006. Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms, and Applications. Lee, Z.-P. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 5, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jerlov, NG (1976) Marine Optics. New York, Elsevier.
- Johnson, M.S., Meskhidze, N., Kiliyanpilakkil, V.P., Gasso, S., 2011. Understanding the transport of Patagonian dust and its influence on marine biological activity in the South Atlantic Ocean. *Atmos. Chem. Phys.*, 11: 2487–2502.
- Kari, E., Kratzer, S., Beltrán-Abaunza, J. M., Harvey, E. T., & Vaiciute, D. (2017). Retrieval of suspended particulate matter from turbidity–model development, validation, and application to MERIS data over the Baltic Sea. *International Journal of Remote Sensing*, 38(7), 1983-2003.
- Kirk, J. T. (1994) Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 509p
- Kocum, E., Underwood, G. J., & Nedwell, D. B. (2002). Simultaneous measurement of phytoplanktonic primary production, nutrient and light availability along a turbid, eutrophic UK east coast estuary (the Colne Estuary). *Marine ecology progress series*, 231, 1-12.
- Kopprio, G.A., Biancalana, F., Fricke, A., Garzon Cardona, J.E., Martinez, A., Lara, R.J., (2015). Global change effects on biogeochemical processes of Argentinean estuaries: An overview of vulnerabilities and ecohydrological adaptive outlooks. *Marine Pollution Bulletin*, 91(2): 554-552.
- Le Floch, J. F. (1961). Propagation de la marée dans l'estuaire de la Seine et en Seine-Maritime: propositions données par la Faculté. Université de Paris.
- Le, C., Hu, C., English, D., Cannizzaro, J., Chen, Z., Kovach, C., & Carder, K. L. (2013). Inherent and apparent optical properties of the complex estuarine waters of Tampa Bay: what controls light? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117, 54-69.

- Le, C., Hu, C., English, D., Cannizzaro, J., Chen, Z., Kovach, C., & Carder, K. L. (2013). Inherent and apparent optical properties of the complex estuarine waters of Tampa Bay: what controls light? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117, 54-69.
- Loisel, H., Jamet, C. & Riedi, J., (2009). Remote sensing. In: Le Quéré, C., and Saltzman, E.S. (Eds.). *Surface Ocean – Lower Atmosphere Processes*. Geophysical Monograph 187. American Geophysical Union. Washington, DC, 329 pp.
- Lund-Hansen, L. C., Andersen, T. J., Nielsen, M. H., & Pejrup, M. (2010). Suspended matter, Chl-a, CDOM, grain sizes, and optical properties in the Arctic fjord-type estuary, Kangerlussuaq, West Greenland during summer. *Estuaries and coasts*, 33(6), 1442-1451.
- Lund-Hansen, L. C., Andersen, T. J., Nielsen, M. H., & Pejrup, M. (2010). Suspended matter, Chl-a, CDOM, grain sizes, and optical properties in the Arctic fjord-type estuary, Kangerlussuaq, West Greenland during summer. *Estuaries and coasts*, 33(6), 1442-1451.
- Lutz, V. A., Segura, V., Dogliotti, A. I., Gagliardini, D. A., Bianchi, A. A., & Balestrini, C. F. (2009). Primary production in the Argentine Sea during spring estimated by field and satellite models. *Journal of Plankton Research*, 32(2), 181-195.
- Lutz, V. A., Subramaniam, A., Negri, R. M., Silva, R. I., & Carreto, J. I. (2006). Annual variations in bio-optical properties at the ‘Estación Permanente de Estudios Ambientales (EPEA)’ coastal station, Argentina. *Continental Shelf Research*, 26(10), 1093-1112.
- Lutz, V., Frouin, R., Negri, R., Silva, R., Pompeu, M., Rudorff, N.,... & Martinez, G. (2016). Bio-optical characteristics along the Straits of Magallanes. *Continental Shelf Research*, 119, 56-67.
- Marques, S. C., Pardal, M. A., Pereira, M. J., Gonçalves, F., Marques, J. C., & Azeiteiro, U. M. (2007). Zooplankton distribution and dynamics in a temperate shallow estuary. *Hydrobiologia*, 587(1), 213-223.
- Marques, S.M.; Pardal, M.A.; Pereira, M.J.; Goncalves, F.; Marques, J.C., & Azeiteiro, U.M., 2007. Zooplankton distribution and dynamics in a temperate shallow estuary. *Hydrobiologia*, 587(1),

- May, C. L., Koseff, J. R., Lucas, L. V., Cloern, J. E., & Schoellhamer, D. H. (2003). Effects of spatial and temporal variability of turbidity on phytoplankton blooms. *Marine Ecology Progress Series*, 254, 111-128.
- Menéndez, M. C. (2015). Distribución del mesozooplankton y su relación con el ciclo de mareas en la zona interna del estuario de Bahía Blanca (Puerto Cuatrerros).
- Menéndez, M.C.; Delgado, A.L.; Berasategui, A.A.; Piccolo, M.C., & Hoffmeyer, M.S., (2015). Seasonal and tidal dynamics of water temperature, salinity, chlorophyll-a, suspended particulate matter, particulate organic matter, and zooplankton abundance in a shallow, mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Journal of Coastal Research*, 32(5).
- Morel A & Prieur L (1977) Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.* 22:709-722
- Morel, A & Bricaud, A (1981) Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep-Sea Research* 28: 1375-1393
- Nechad, B., Ruddick, K.G., Park, Y., (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of Total Suspended Matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment* 114, 854-866.
- Odermatt, D., Gitelson, A., Brando, V. E., & Schaepman, M. (2012). Review of constituent retrieval in optically deep and complex waters from satellite imagery. *Remote sensing of environment*, 118, 116-126.
- Oubelkheir, K., Clementson, L. A., Webster, I. T., Ford, P. W., Dekker, A. G., Radke, L. C., & Daniel, P. (2006). Using inherent optical properties to investigate biogeochemical dynamics in a tropical macrotidal coastal system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C7).
- Parodi, E. R. (2004). Marismas y algas bentónicas. *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*, 101-107.
- Perillo, G. M., & Piccolo, M. C. (1991). Tidal response in the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Journal of Coastal Research*, 437-449.

- Perillo, G. M., Pierini, J. O., Pérez, D. E., & Piccolo, M. C. (2005). Suspended sediment fluxes in the middle reach of the Bahía Blanca Estuary, Argentina. In *High Resolution Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries* (pp. 101-114). Springer, Dordrecht.
- Perillo, G.M.E. & Piccolo, M.C., (1999). Geomorphological and physical characteristics of the Bahía Blanca Estuary, Argentina. In: Perillo, G.M.E.; Piccolo, M.C., and Pino Quiviría, M. (eds.), *Estuaries of South America: Their Geomorphology and Dynamics*. Berlin: Springer, pp. 195–216.
- Perillo, G.M.E., Piccolo, M.C., Palma, E.D., Pérez, D.E. & Pierini, J.O., (2004). Oceanografía física. In: Piccolo, M.C. y Hoffmeyer, M.S. (eds.), *El Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*. Bahía Blanca, Argentina: Instituto Argentino de Oceanografía, pp. 61–67.
- Pettigrosso, R. E., Barría de Cao, M. S., & Popovich, C. A. (1997). Planktonic ciliates during a diatom bloom in Bahía Blanca estuary, Argentina. I. Aloricate ciliates. *Oebalia*, 23, 3-19.
- Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (1990). Physical characteristics of the Bahía Blanca estuary (Argentina). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31(3), 303-317.
- Popovich, C. A. (2004). Fitoplancton. El ecosistema del estuario de Bahía Blanca. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina, 91-100.
- Popovich, C. A., & Marcovecchio, J. E. (2008). Spatial and temporal variability of phytoplankton and environmental factors in a temperate estuary of South America (Atlantic coast, Argentina). *Continental Shelf Research*, 28(2), 236-244.
- Popovich, C.A. & Marcovecchio, J.E., (2008). Spatial and temporal variability of phytoplankton and environmental factors in a temperate estuary of South America (Atlantic Coast, Argentina). *Continental Shelf Research*, 28(2), 236–244.
- Preisendorfer RW (1960) Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea. *Radiant Energy in the Sea*. Boulder, Colorado: International Union of Geodesy and Geophysics: 11-30

- Preisendorfer RW (1976) *Hydrologic Optics* (1st ed., Vol. V. Properties). Honolulu, Hawaii: U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental
- Prieur L. & Sathyendranath S. (1981) An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. *Limnol. Oceanogr.* 26: 671-689.
- Prieur, L., & Sathyendranath, S. (1981). An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. *Limnology and Oceanography*, 26(4), 671-689.
- Rivas, A. L., Dogliotti, A. I., & Gagliardini, D. A. (2006). Seasonal variability in satellite-measured surface chlorophyll in the Patagonian Shelf. *Continental Shelf Research*, 26(6), 703-720.
- Romero, S. I., Piola, A. R., Charo, M., & Garcia, C. A. E. (2006). Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C5).
- Sabatini, M. E. (1982). Estudio preliminar del fitoplancton del estuario de Bahía Blanca. Zona externa. Tesis de Licenciatura en Ocenografía. Biología Marina. Universidad Nacional del Sur, 39 pp.
- Sabatini, M. E. (1987). Fito y zooplancton de un sector de la Bahía Blanca: especies dominantes, standing stock y estimación de la producción, con particular referencia a *Acartia tonsa* Dana, 1849 (Copepoda: Calanoida). Fito y zooplancton de un sector de la Bahía Blanca: especies dominantes, standing stock y estimación de la producción, con particular referencia a *Acartia tonsa* Dana, 1849 (Copepoda, Calanoida).
- Sathyendranath, S., Cota, G., Stuart, V., Maass, H., & Platt, T. (2001). Remote sensing of phytoplankton pigments: a comparison of empirical and theoretical approaches. *International Journal of Remote Sensing*, 22(2-3), 249-273.
- Sathyendranath, S., Gouveia, A.D., Shetye, S.R., Ravindram, P., Platt, T. (1991). Biological control of surface temperature in the Arabian Sea. *Nature*, 349:54-56.

- Schalles, J. F. (2006). Optical remote sensing techniques to estimate phytoplankton chlorophyll a concentrations in coastal. In *Remote sensing of aquatic coastal ecosystem processes* (pp. 27-79). Springer, Dordrecht.
- Scian, B., Labraga, J.C., Reimers, W., Frumento, O., (2006). Characteristics of large-scale atmospheric circulation related to extreme monthly rainfall anomalies in the Pampa Region, Argentina, under non-ENSO conditions. *Theoretical Applied Climatology*, 85: 89–106.
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN), 2004. Tablas de Marea. Buenos Aires. Publicación: H-255 y H-256.
- Stuart, V., Sathyendranath, S., Platt, T., Maass, H., & Irwin, B. D. (1998). Pigments and species composition of natural phytoplankton populations: effect on the absorption spectra. *Journal of Plankton Research*, 20(2), 187-217.
- Uncles, R. J., Stephens, J. A., & Smith, R. E. (2002). The dependence of estuarine turbidity on tidal intrusion length, tidal range and residence time. *Continental Shelf Research*, 22(11), 1835-1856.
- Vantrepotte, V., Brunet, C., Mériaux, X., Lécuyer, E., Vellucci, V., & Santer, R. (2007). Bio-optical properties of coastal waters in the Eastern English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72(1-2), 201-212.
- Velegrakis, A. F., Gao, S., Lafite, R., Dupont, J. P., Huault, M. F., Nash, L. A., & Collins, M. B. (1997). Resuspension and advection processes affecting suspended particulate matter concentrations in the central English Channel. *Journal of Sea Research*, 38(1-2), 17-34.
- Williams, G. N., Dogliotti, A. I., Zaidman, P., Solis, M., Narvarte, M. A., Gonzalez, R. C., ... & Gagliardini, D. A. (2013). Assessment of remotely-sensed sea-surface temperature and chlorophyll-a concentration in San Matías Gulf (Patagonia, Argentina). *Continental Shelf Research*, 52, 159-171.
- Williams, G., Larouche, P., Dogliotti, A. (2016). Bio-optical properties of the San Jorge Gulf (Argentina). Conference paper, Ocean Optics XXII, Victoria, Canada, October 2016.

Yentsch, C. S., & Phinney, D. A. (1989). A bridge between ocean optics and microbial ecology. *Limnology and Oceanography*, 34(8), 1694-1705.