



## *Utilización de tecnología espacial asociada a floraciones algales y presencia de Vibrios*

**Por Biol. Marina Valeria Compagnucci**

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física  
y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich  
como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y  
RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

**Diciembre, 2011**

©IG - CONAE/UNC 2012  
© FaMAF - UNC 2012

Dra. María del Mar Lleó y Dra. Ximena Porcasi.

## Índice

<u>Agradecimientos.....</u>	<u>4</u>
<u>Resumen.....</u>	<u>5</u>
<u>1. Capítulo 1.....</u>	<u>6</u>
<u>Marco Teórico, Metodología y Descripción del Área de Estudio.....</u>	<u>6</u>
1.1 Marco teórico.....	7
1.1.1 El Color del Océano.....	7
1.1.2 Clasificaciones del Agua.....	9
1.1.3 FAN (Floraciones Algales Nocivas).....	11
1.1.4 Vibrios.....	14
1.1.5 Aplicaciones de Sensores Remotos.....	15
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Metodología.....	18
1.3.1 Zona de estudio.....	18
1.3.3. Sitios de Relevamiento.....	20
1.3.4. Red de relevamiento.....	21
1.3.5. Método de recolección y procesamiento de muestras.....	21
1.3.6. Datos de sensores remotos.....	22
<u>2. Capítulo 2.....</u>	<u>28</u>
<u>Descripción y análisis de variables físicas medidas por sensores remotos y su relación con datos in-situ.....</u>	<u>28</u>
2.1 Introducción.....	29
2.2 Análisis Descriptivo de los Datos.....	29
2.3 Clorofila-a.....	31
2.4 Materia en Suspensión (TSM, Total Suspended Matter).....	- 35 -
2.5 Temperatura Superficial del Mar (Sea Surface Temperature, SST).....	37
2.6 Concentración de vibrios.....	39
2.7 Conclusiones.....	42
<u>3. Capítulo 3.....</u>	<u>44</u>
<u>Análisis de la variación espacial y temporal de la Temperatura Superficial del Mar, Clorofila-a y Materia Total en Suspensión.....</u>	<u>44</u>
3.2 Clorofila-a.....	45
3.2.1 Comparación Estacional:.....	45
3.2.2 Comparación Espacial:.....	46
3.3 Temperatura Superficial del Mar.....	47
3.3.1 Comparación Estacional:.....	47
3.3.2 Comparación Espacial:.....	48
3.4 Materia en Suspensión.....	50
3.4.1 Comparación Estacional:.....	50
3.4.2 Comparación Espacial:.....	51
3.5 Conclusiones.....	52
<u>4. Capítulo 4.....</u>	<u>53</u>
<u>Análisis de la tendencia espacial de las variables bio-físicas.....</u>	<u>53</u>
4.1 Introducción.....	54
4.2 Metodología.....	54
4.3 Evaluación espacial del año 2007.....	56
4.3.1 Evaluación espacial del Otoño del 2007.....	57
4.3.2 Evaluación espacial de la Primavera del 2007.....	58
4.3.3 Evaluación espacial del Verano del 2007.....	58

4.4 Evaluación espacial del año 2006.....	59
4.4.1 Evaluación espacial del Verano 2006.....	59
4.4.2 Evaluación espacial de la Primavera 2006 .....	60
4.5 Conclusiones .....	60
<b>5. Capítulo 5 .....</b>	<b>62</b>
<b><u>Análisis exploratorio de Firmas Espectrales de Laboratorio, Spectrascan y de CHRIS- Proba, para el área de Estudio.....</u></b>	<b><u>62</u></b>
5.1 Introducción .....	63
5.2 Análisis de Microcosmos.....	73
5.3 Conclusiones .....	74
<b>6. Capítulo 6 .....</b>	<b>76</b>
<b>Conclusiones Finales .....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>91</b>

## Agradecimientos

Porque hay diferencia entre saber cuál es el camino y recorrerlo, a quienes me guiaron a través de él:

¡¡Gracias!!

- ✚ A mi familia, como siempre, por su eterna paciencia.
- ✚ A los compañeros de “la primer camada” AEARTE, por sus horas de risas, peleas, enseñanzas y música.
- ✚ A Mariela, Diego y Nani.
- ✚ A “la Xime” Porcasi y “el Cami” Rotela por sus conocimientos, ayuda, contención, orientación y paciencia (durante los dos años de la maestría y la etapa final extra).
- ✚ A María del Mar Lleó, por su asesoramiento, su experiencia, sus ganas, por su orientación y paciencia.
- ✚ A María Carla Tafi, Micol Genari, Valentina Ghidini.
- ✚ A Marcelo Scavuzzo por su “y para cuándo la tesis?” sin el cual todavía no escribiría esta parte ☺
- ✚ A Mario Lanfri por su ayuda e indescifrable calma ☺
- ✚ A Gabriel Platzeck por su inesperada comprensión
- ✚ A Laura Sarrate por su amigable locura
- ✚ A TODA la gente del Instituto Gulich
- ✚ A la gente de la cátedra de Microbiología la Universidad de Verona
- ✚ A las Instituciones que hicieron posible el desarrollo de la maestría AEARTE: CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), IG (Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich), FAMAFA (Facultad de Matemática, Astronomía y Física), ASI (Agenzia Spaziale Italiana).

¡¡Nuevamente Gracias a TODOS!!

## Resumen

Las Floraciones Algales Nocivas (FAN o HABs: Harmful Algal Blooms, en inglés) son consideradas como desastres para los ecosistemas marinos en el mundo. Es un fenómeno cuya existencia se conoce hace siglos y continúa afectando a varios países alrededor del mundo.

El trabajo está basado en el análisis de datos recabados en salidas a lo largo de siete sitios de muestreo en la costa Véneta del Mar del Norte Adriático, Italia y sus correspondientes datos de sistemas de sensoramiento remoto durante los años 2006 y 2007, con el objetivo de identificar y modelar condiciones ambientales que favorecen las floraciones algales y la presencia de bacterias asociadas a las mismas. Dichos datos se refieren a tres variables oceanográficas: concentración de clorofila-a (Chlo-a), concentración de materia total en suspensión (TSM) y temperatura superficial del mar (SST), con sus correspondientes valores de pixeles del sensor MERIS y MODIS, para las dos primeras y la última, respectivamente. Asimismo se analizan los datos de concentración de Vibrios sp. dispersos en el agua y adheridos al plancton y sedimentos.

Se realizaron análisis de correlación entre las mediciones de ambos sistemas y se analizó la distribución de carácter espacial y temporal de la totalidad del conjunto de datos. Finalmente, se dio inicio a un análisis exploratorio de firmas espectrales obtenidas a campo en la zona se estudio y aquellas obtenidas por imágenes del sensor hiperespectral Chris-PROBA.

La correlación entre los valores de sonda y MERIS, tanto para Chlo-a como para TSM, es muy baja. MERIS sobrestima los valores in-situ para Chlo-a y TSM. Por otra parte correlación entre los valores de sonda y MODIS para SST alcanza un 92% (R: 0. 92), resultado a resaltar debida la relevante influencia de esta variable en la distribución de *Vibrios*.

La conjunción de estos datos, facilitaría el discernimiento de aquellas situaciones que involucren floraciones algales de aquellas que merezcan medidas de prevención para la salud humana.

## Abstract

Harmful Algal Blooms (HABs) are considered as disasters through marine ecosystems. It is a phenomenon known from centuries ago that nowadays keeps affecting several countries worldwide.

The data shown and analyzed were collected in field trips during 2006 and 2007 along seven sampling stations in the Venetian coast in the Northern Mediterranean Sea. Alongside, data from remote sensors on similar dates and sites were acquired, in order to identify and model environmental conditions favoring habs and the presence of bacteria attached to them.

That data involved three variables: chlorophyll-a concentration (Chlo-a), sea surface temperature (SST) and total suspended matter (TSM) as well as their equivalents in remote sensing values from MERIS and MODIS sensors. All the while, vibrios concentration in water as well as attached to plankton and sediments was analyzed.

Correlation analysis was done between values from both measurements systems in addition to temporal and spatial analysis of total data. Field values and those from MERIS regarding chlo-a and TSM had low correlation in opposition to those regarding temperature and MODIS SST. This result being of importance due to the dependence of Vibrios distribution on SST.

Finally, spectral signatures from field trips were compared to those from Chris-PROBA hyperspectral images. These data analyzed as an all would improve the discrimination of situations where HABs prove to be a matter of public health concern.

# 1. Capítulo 1

Marco Teórico, Metodología y Descripción del Área de Estudio.

## 1.1 Marco teórico

### 1.1.1 El Color del Océano

La teledetección es la observación remota de la superficie terrestre, incluyendo no solo a los sensores a bordo de plataformas espaciales, sino también a la fotografía aérea, videografía y a los sensores aerotransportados.

El hecho de que entre nuestro planeta y los sensores en el espacio exista interacción energética, es lo que permite la adquisición de imágenes de la superficie terrestre (Chuvieco, 2002).

La medición de la luz que proviene del mar mediante sensores permite, entre otras cosas, mapear la abundancia de fitoplancton marino, técnica conocida como radiometría del Color del Océano (Ocean-Color Radiometry). El color del océano es un buen indicador del contenido de pigmento y partículas en el agua, ya que la clorofila, el agua y las partículas poseen una firma espectral bien definida. El agua es transparente para las longitudes de onda del verde y azul, pero absorbe en longitudes de onda mayores. Clorofila- *a*, el principal pigmento fotosintético asociado a fitoplancton, posee un pico de absorción a los 440nm. Las partículas aumentan su absorción a medida que el espectro electromagnético se acerca a la región ultravioleta. El resultado neto es un cambio de agua azul a marrón a medida que la concentración de los pigmentos y las partículas aumenta.

Ahora bien, cabe preguntarse si este cambio que se refleja en la firma espectral, está lo suficientemente correlacionado con un único pigmento como sería la clorofila-*a* como para ser útil cuantitativamente. Si así fuera, la siguiente pregunta sería si podrían realizarse mediciones de la reflectancia (proporción de luz incidente y reflejada) oceánica, de tal modo que amplias áreas pudiesen ser monitoreadas rápido y rutinariamente.

Esas preguntas comenzaron a ser respondidas en la década del '70. A final de la misma, en 1978, se lanzó un sensor experimental en la misión Nimbus-7, el Coastal Zone Color Scanner (CZCS), el primero que demostró que la concentración de un pigmento se puede derivar de un instrumento bien diseñado (McLain, 2009).

Debajo se enseña una imagen adquirida el 9 de Octubre de 1984, resaltando la pluma de sedimentos de la desembocadura del río Po en Italia, descargando en el Adriático. A su derecha, una imagen de la misma zona, tomada por la tripulación del Space Shuttle Challenger adquirida en la misma fecha (Figura 1 a b) (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

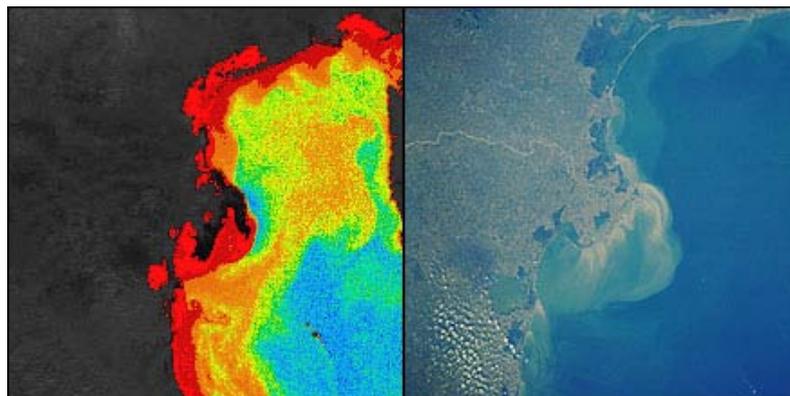


Fig. 1: Sedimentos del río Po, siendo descargados al mar Adriático. Italia, como fue registrado por el CZCS (a) y el Space Shuttle Challenger (b).

En términos generales, un sistema de sensoramiento remoto pasivo que registre el color del océano, utiliza un sensor con un Field of View angosto, capaz de monitorear el flujo radiométrico que alcanza al detector en varias bandas del rango visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético.

Son sensores que operan durante el día, por lo que su fuente principal de luz es la solar. Sin embargo, ésta llega al sensor a través de diferentes vías (Figura 2):

- Luz que alcanza al sensor luego de reflejar en la atmósfera
- Luz que alcanza al sensor luego de reflejarse especularmente en la superficie
  
- Luz que se alza de la superficie del mar luego de interactuar en el agua

Esta última es la que porta información útil y es la que usualmente les atenuada en su camino hacia el sensor remoto debido a la absorción y reflexión de la atmósfera entre ellos. Por ésta razón es que la contribución atmosférica y la reflexión especular son consideradas ruido y deben ser corregidas (IOCCG reporte 3, 2000).

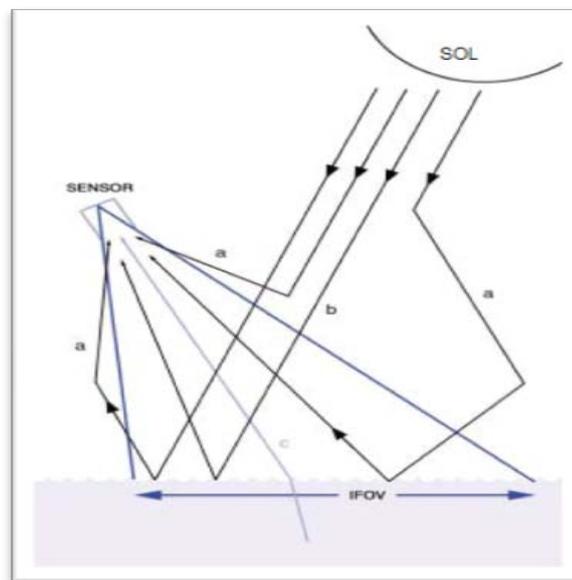


Fig. 2: ¿Cómo llega la luz al sensor remoto?  
Adaptado de Sathyendranath (1986).

- (a) Luz reflejada por la atmósfera. Es posible que parte de la luz que alcance al sensor se haya reflejado en la superficie del mar, antes o después de reflejarse en la atmósfera
- (b) Reflexión especular directa de la luz solar
- (c) Luz que interactúa en el mar y alcanza el sensor.

Si se examina en mayor detalle la señal que proviene del agua, se pueden apreciar varios factores influenciándola (Figura 3). La luz directa del sol y aquella dispersada que penetran la superficie pueden ser absorbidas o reflejadas por las moléculas del agua o por varios de los elementos suspendidos o disueltos presentes en el medio. Asimismo, en aguas de escasa profundidad, una porción de la luz puede alcanzar el fondo del cuerpo de agua y ser reflejada por él. Finalmente, parte de la luz dispersada puede alcanzar el detector remoto.

Por lo anterior, se podría afirmar que el sensoramiento remoto involucra el análisis de los cambios en magnitud y calidad espectral de la radiación proveniente del agua para obtener información de que sustancias están presentes y en que concentración en el agua (IOCCG reporte 3, 2000).

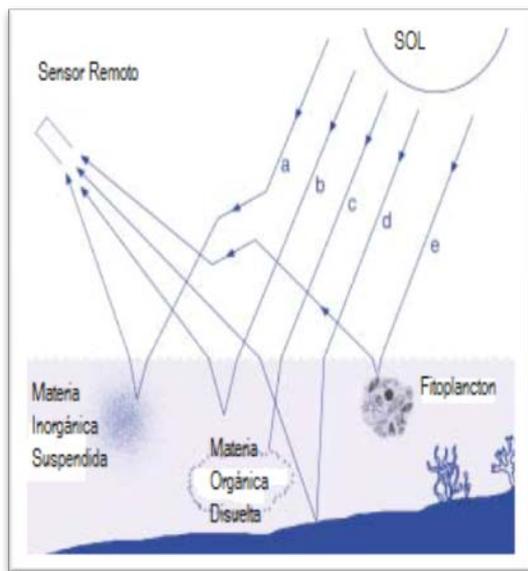


Fig. 3: Factores que influyen la Luz que alcanza al sensor. Adaptado de Sathyendranath (1986).

- (a) dispersión por material inorgánico suspendido
- (b) dispersión por moléculas de agua
- (c) absorción por sustancia amarilla
- (d) reflexión del fondo marino
- (e) dispersión y absorción por fitoplancton

### 1.1.2 Clasificaciones del Agua

En varias ocasiones se utiliza el término “Agua Pura” para definir un medio desprovisto de otras sustancias que no fuesen las moléculas de agua y las sales disueltas en el agua. Sin embargo, en adición al “agua pura” las propiedades ópticas de cualquier cuerpo de agua están influenciada por varias sustancias, divididas en las siguientes categorías a los fines prácticos:

- **Fitoplancton:** incluye fitoplancton y a otros microorganismos, si bien el primero posee la mayor influencia en las propiedades ópticas. Estos son organismos unicelulares que se hallan en la zona eufótica de los cuerpos de agua. Son los productores en la red alimenticia marina y principales actores en el ciclo del carbono. La clorofila-a se utiliza como índice de biomasa del fitoplancton, por ser el pigmento fotosintético principal, si bien existen varios pigmentos auxiliares. Si bien el fitoplancton y sus células con alta pigmentación dominan la señal en el grupo de microorganismos, no están solos en el ambiente acuático. Zooplancton, virus y bacterias heterotróficas contribuyen en la señal, pero usualmente no se distinguen del fitoplancton.
- **Materia Inorgánica Suspendida:** todo material particulado inorgánico, que no sea fitoplancton. Las zonas costeras poco profundas, cuerpos de agua internos son susceptibles a la modificación del color de sus aguas, por los sedimentos alzados sea por oleaje y/o corrientes. Estuarios, aguas oceánicas influenciadas por la desembocadura de ríos, áreas con diferencia de mareas son áreas donde la influencia de la materia inorgánica suspendida juega un rol importante en el color del océano. No incluye a un único material sino a una familia con sus propias características. Arena blanca de corales y arcilla por salida de un río no tendrán el mismo efecto en el color del océano al ser suspendidas. Incluye también polvo continental, cenizas volcánicas.

- **Sustancia Amarilla:** es una categoría de división discutida. Son sustancias coloreadas, disueltas y orgánicas (ácidos húmicos y fúlvicos) (CDOM: coloured, dissolved organic matter)". También conocidas como "gelbstoff" o "gilvin".  
Se originan de la degradación por senescencia del fitoplancton u otras partículas orgánicas. Poseen una absorción variable y se conoce que sufren la foto-degradación.  
Son incluidos los detritos, ya que poseen una absorción similar a la sustancia amarilla.
- **Efecto del Fondo:** si el cuerpo de agua es poco profundo y el agua lo suficientemente clara, el fondo puede influenciar el color del agua, dependiendo también de las sustancias presentes en el agua y el tipo de fondo.

De acuerdo a que sustancia es la que presenta mayor influencia en las propiedades ópticas, es que el agua oceánica se divide en dos clases: **Casos 1 y Casos 2**. Clasificación introducida por Morel y Prieur (1977). Las aguas Casos 1 son aquellas donde el fitoplancton es el principal agente involucrado en la variación de las propiedades ópticas.

Por otra parte, las propiedades ópticas de las aguas Casos 2 están influenciadas por la sustancia amarilla y las partículas inorgánicas en suspensión variando independientemente al fitoplancton, que igualmente contribuye al color de esta clasificación del agua. Si se calcula la contribución de estas sustancias en un cuerpo de agua, los resultados podrían ser vistos en un triángulo como el que representa la figura 4.

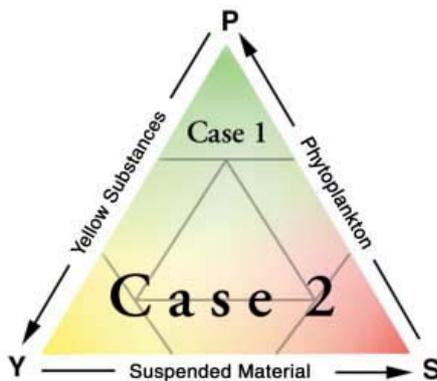


Fig. 4: Representación esquemática de aguas Caso 1 y caso 2 adaptado de Prieur y Sathyendranath (1981)

Las posibles situaciones resultantes:

- Dominancia de un único elemento  
P: fitoplancton, Y: sustancia amarilla o S: materia en suspensión. En este caso las aguas estarían en los triángulos cercanos a los vértices.
- Dominancia de dos elementos
- Los tres elementos son importantes, por lo cual las aguas de este caso estarían dentro del triángulo central. Serían las aguas más complejas desde un punto de vista óptico.

Las aguas Caso 1 serían ejemplo de casos dominados por el único elemento fitoplancton. Las aguas Caso 2, serían cualquiera de las otras posibles situaciones.

Se debe tener en cuenta que no es la magnitud de la contribución de cada elemento en la clasificación, sino la cantidad de elementos que intervienen para definir la categoría de un cuerpo de agua.

El color del océano presenta una respuesta no-lineal a esta amplitud en la concentración de pigmento, basándose en una proporción entre las longitudes de onda azul-verde (445-565nm) reflejadas por el mar (MERIS Product Handbook).

El desarrollo de nuevos algoritmos demanda aumentos en los requerimientos tecnológicos de los nuevos sensores del color del océano, mayoritariamente relacionado a precisión y exactitud radiométrica y la resolución espectral (Figura 5).

No es posible para las Caso 2 la simplicidad que podría asumirse en el modelado de las aguas Caso 1 para la relación uno-a-uno entre una longitud de onda y las propiedades ópticas y una concentración de pigmento, (IOCCG reporte 3, 2000).

Las aguas costeras, generalmente un ejemplo de aguas Caso 2, representan las zonas de mayor densidad poblacional en el mundo, en consecuencia sus aguas se encuentran muy influenciadas por la actividad humana. Las contribuciones a través de ríos de desechos agrícolas, residuos industriales y cloacas, puede inhibir o al contrario estimular la productividad de los ecosistemas marinos.

Es de particular relevancia el monitoreo de esas áreas, pero dada la extensión de las mismas, la teledetección constituiría un medio único para llevar a cabo estudios de esa magnitud, teniendo en cuenta, como previamente se expuso, que los elementos que intervienen tanto en la ecología de mares y estuarios y que a su vez pueden ser monitoreados en su concentración y distribución por sensores remotos, son el fitoplancton, la sustancia amarilla y la materia en suspensión.

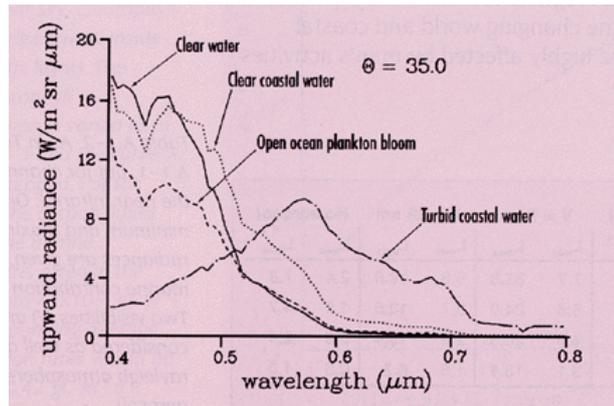


Fig. 5 – Radiancias multispectrales simuladas, para una resolución espectral de 5nm, por encima de la superficie del agua

### 1.1.3 FAN (Floraciones Algales Nocivas)

Las Floraciones Algales Nocivas (FAN o HABs: Harmful algal blooms, en inglés) son consideradas como desastres para los ecosistemas marinos en el mundo. Es un fenómeno cuya existencia se conoce hace siglos y continúa afectando a varios países alrededor del mundo.

Asimismo aparentan estar incrementando sus niveles de extensión y nocividad (Anderson et al., 1995) ([GEOHAB 2001](#)).

Estos eventos, que pueden o no colorear el agua dependiendo de la especie predominante (Sar, et al., 2002), poseen una causa natural, sin embargo en las últimas décadas, tanto su frecuencia, intensidad como distribución geográfica, han afectado la salud y economía humana, principalmente turismo y pesca (Anderson, 1989; Granéli, et al., 1998).

Es importante resaltar un error usual en términos. Marea roja es un término falaz, ya que usualmente se utiliza para referirse a todo evento de floración que confiere una sombra roja en aguas continentales como oceánicas (Figura 8). Sin embargo, estas floraciones no siempre son tóxicas. Por el contrario muchas floraciones ocurren sin evidenciar un cambio en la coloración del agua, por un incremento en la biomasa insuficiente, pero con una toxicidad suficiente para arriesgar la salud humana y la vida marina.

Usualmente la nitrificación incrementada por actividades humanas (Shumway, 1990; Burkholder, 1998) o en otros casos, el empinamiento de la nutriclina por intervención de fenómenos físicos (Falkowski *et al.*, 1991; Olaizola *et al.*, 1993) es decir una eutrofización acelerada produce una tasa de crecimiento del fitoplancton que excede la tasa de dispersión celular, favoreciendo la ocurrencia de una floración.

Por ejemplo, el constante crecimiento de la actividad acuícola, que en ciertas zonas del mundo ha demostrado ser capaz de enriquecer el agua aledaña y estimular el crecimiento de algas en la misma, o quizás nuevos recursos de pesca que revelan simplemente la presencia de floraciones que previamente permanecían desconocidas.

Del mismo modo, el cambio climático y ciertos procesos oceánicos pueden favorecer la ocurrencia de floraciones, conjuntamente con otros factores relevantes como la irradiación solar, la transparencia del agua, la concentración de dióxido de carbono y otros nutrientes minerales como el fósforo y el nitrógeno.

Como, ya se mencionó, el fitoplancton está compuesto por organismos autotróficos fotosintetizantes, que constituyen los productores de la red alimenticia marina.

El patrón de crecimiento de estos organismos es definido y estacional para aguas polares y templadas, regulado por procesos químicos, físicos y biológicos (Figura 6). La temperatura de la superficie del mar varía a lo largo del año, durante la primavera el sol calienta la superficie, que se vuelve menos densa y en consecuencia flota sobre la otra capa de agua más fría, sin intercambio entre ellas. El fitoplancton permanece atrapado en la capa superior, que le provee de luz solar y nutrientes suficientes, estos últimos obtenidos de las aguas frías del invierno. Estas condiciones favorecen el rápido crecimiento del fitoplancton y en consecuencia ocurren floraciones.

En el verano, el crecimiento del fitoplancton continúa, pero los nutrientes comienzan a escasear en la capa superior. Dada la ausencia de intercambio entre la capa superior y las inferiores una vez que los nutrientes se acabaron, el fitoplancton detiene su crecimiento. Algunos factores atmosféricos pueden ocasionar un aumento en el crecimiento, pero la magnitud nunca alcanza aquella de la primavera.

El sol del otoño no alcanza a calentar la superficie del mar como lo hace en primavera, lo cual provoca un cambio en densidades del agua e inicia un intercambio entre las capas de agua con el consecuente aporte de nutrientes. Estos conjuntamente con la luz que aun incide, son suficientes para provocar otra floración

pero de menor relevancia que la primaveral. Finalmente durante el invierno, el enfriamiento de la capa superior al ser mayor que las inferiores, permite una redistribución de nutrientes, sin embargo no se cuenta con la suficiente luz como para favorecer el crecimiento del fitoplancton (Arrieta y De Elia, 2008) y menos aun la aparición de floraciones.



Fig. 6: crecimiento estacional del fitoplancton, con los dos picos anuales estimados para otoño y primavera

Los daños originados por estos fenómenos poseen aristas muy diversas, como las económicas, las sanitarias y las ecológicas. Estos, son particularmente evidentes cuando afecta a recursos marinos, como los de la acuicultura, ocasionando pérdidas económicas debido a la reducción en la cosecha de la maricultura, en el stock de peces, y en el turismo mortalidad en masa de peces y mamíferos marinos. En 1998, en Chile una floración de la microalga *Heterosigma akashiwo*, produjo la pérdida de varios millones de dólares en la actividad acuícola del citado país principalmente por mortandad por anoxia (Suarez y Guzmán, 1998) (Figura 7).



Fig. 7: foto aérea de una floración de la microalga *Heterosigma akashiwo* y varias jaulas de sembrado de bivalvos en el sur de Chile en Diciembre 2002 (Rodríguez-Benito C, Haag C, Alvia A, 2004). El área fue vedada para la explotación acuícola temporalmente al momento de la detección de *Vibrio sp.*

Asimismo ocurren un conjunto de problemas sanitarios por la ingestión humana de peces y moluscos contaminados con toxinas, es decir contacto directo, aunque también puede ser indirecto ya que muchas toxinas son propensas a ser aerosolizadas y transmitidas por el viento hacia la costa.

Desafortunadamente, la contaminación en los frutos de mar no es de detección inmediata por pescadores o consumidores, ya que no muestran ningún tipo de alteración en su aspecto por acumulación de toxinas en sus órganos, esto sumada al hecho de que las toxinas no son lábiles al calor por cocción o a ácidos como al limón, que usualmente se usan en el consumo de moluscos. Se necesitan análisis de laboratorio para determinar el tipo y concentración de toxinas.

En 1972 se registraron las primeras muertes por intoxicación con alimentos con toxinas en la región de Magellan, Chile y desde ese momento más de 30 personas han fallecido en la región y centenares han padecido un envenenamiento con la "toxina paralizante de molusco", una de las más poderosas toxinas marinas (Rodríguez-Benito y Haag, 2004).

En referencia a los daños que afectan a la fauna marina, los efectos pueden ser tanto directos como indirectos. Los eventos de blooms provocan sombra, anoxia por exceso en el crecimiento de fitoplancton y también efectos adversos en varias etapas de la vida en mamíferos y peces (Anderson et al., 1995; Shumway, 1990).



Fig. 8: floración de *Dinophysis* en lago de Italia, como una marea roja

La temperatura y la salinidad son dos factores importantes en la distribución de los organismos. La salinidad tiene escasa variación espacio-temporal, pero pequeños cambios en la salinidad tienen grandes consecuencias. Al contrario, ya se exhibió la influencia que posee la variación estacional de la temperatura, al igual que la espacial, sea vertical u horizontal. La temperatura superficial del mar estaría indicando una serie de disturbios en las zonas más profundas. Asimismo, la temperatura es de vital importancia para la regulación metabólica, crecimiento y reproducción de los organismos (White y Walker, 1974).

Si bien, la salinidad y la temperatura son factores importantes en la distribución de organismos, también lo son las corrientes marinas, la batimetría y el perfil de costas (Simpson, 1994). La mayoría de las veces los organismos tienden a moverse dentro de los límites impuestos por las masas de agua (Laurs y Lynn, 1977), formando grupos para reproducirse, alimentarse y migrar (Simpson, 1994).

Como ejemplos de la influencia de las características ambientales en las agregaciones de organismos podemos nombrar que a principios de Junio del 2004, se registró la presencia de una línea de color rosáceo frente a la región de Punta Sabbioni (Venezia, Italia). Era una floración del orden del millón de células por litro de *Noctiluca miliaris* (*scintillans*). Esa misma floración fue detectada en el transcurso de la primera quincena del mismo mes a lo largo de la región del Lido y Malamocco. Finalmente la floración y los materiales a su alrededor se disgregó por la acción de corrientes y vientos de la zona.

En la primera quincena del mes de Julio del 2004, se evidencia a lo largo de algunos balnearios de la zona costera de Venecia, Italia, la presencia tanto en superficie como en la columna de agua, de agregaciones "espumosas y blancas" (figura 9). Estos agregados mucilaginosos se disgregaron hacia mediados de agosto del mismo año.



Fig. 9: agregados mucilaginosos del mes de julio del 2004 en la zona de balnearios de Venecia

#### 1.1.4 Vibrios

Inundaciones, lluvias extremas, con el consecuente incremento en las aguas de escorrentía en el agua potable, temperaturas de agua en aumento y la altura del mar (SSH) están asociadas al incremento en la transmisión de enfermedades como el cólera, la criptosporidiosis, leptospirosis y floraciones algales nocivas (FAN) (Epstein 1995, 1999; Abramovitz et al., 1998).

La presencia de especies de *Vibrios*, patogénicas para el hombre podría servir como un indicador de la seguridad para la salud pública tanto del agua como alimentos derivados de ambientes costeros destinados al consumo humano (Colwell and Kaper, 1977) así como en lo relativo a la seguridad de las aguas recreacionales y en consecuencia, podría plantear un problema sanitario a la población humana que haría uso de éstos (Hsieh et al., 2007).

La familia Vibrionaceae contribuye con el 60% de la población bacteriana en ecosistemas costeros, que son parte a su vez de patógenos humanos de agua y alimento (Simidu y Tsukamoto, 1985). Se la considera parte de la microflora autóctona marina y estuarina, por el hecho de que se la puede aislar de muestras de agua, sedimentos, invertebrados y peces (Grimens et al., 1986)

Entre las bacterias del género *Vibrio* de ocurrencia endémica para estuarios y costas mundiales, se encuentran *Vibrio cholerae*, *Vibrio vulnificus* y *Vibrio parahaemolyticus*, todos ellos patógenos de humanos, siendo *V. vulnificus* uno de los más virulentos, relacionado a enfermedades transmitidas por alimentos. *Vibrio parahaemolyticus* da origen a infecciones con mortalidad menor, sin embargo es causante de un mayor número de enfermedades, resultando ocasionalmente en brotes pandémicos (Mead et al. 1999, Strom y Paranjpye 2000, Wong et al. 2000).

La población microbiana es afectada por los cambios en la temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes y su asociación con animales marinos. La temperatura óptima para su desarrollo es entre 20°C y 30° C, la que permite una mayor concentración de bacterias; bajo 20° C disminuye su densidad y a 10° C “desaparece” de la columna de agua, pero se mantiene en el sedimento desde donde reemerge cuando las condiciones son otra vez favorables (Ej. meses cálidos en regiones templadas) (Hervio-Heath et al., 2002).

La salinidad requerida es entre 5 y 30‰ (bacterias halofílicas), concentración que puede variar dependiendo de la temperatura ambiental y disponibilidad de nutrientes. Se asocia a la presencia de plancton y moluscos bivalvos para sobrevivir en agua de mar, los que acumulan *Vibrio* durante el proceso de filtración y alimentación, alcanzando concentraciones hasta 100 veces superiores a las del agua. Puede colonizar la superficie o formar parte de la flora comensal de algunos peces (Draft risk assessment, Diciembre 2000; Martínez-Urtaza et al., 2004)

*Vibrio cholerae* continua siendo una amenaza global ya que es el agente causante del cólera. Se ha propuesto que su reservorio en el ambiente estuarino jugaría un importante rol en la supervivencia y transporte de cepas patogénicas (Huq et al. 1990, Chakraborty et al. 2000, Binsztein et al. 2004).

Sin embargo, no existe un consenso general sobre que parámetros son determinantes en el favorecimiento de la persistencia, abundancia y/o brotes de cólera u otros brotes relacionados a vibrios (Lleó et al., 2010) aun así, estudios previos han demostrado una fuerte relación entre la abundancia de *Vibrio spp* y condiciones ambientales como salinidad, temperatura y adhesión a organismos planctónicos (Lipp et al. 2003, Louis et al. 2003, Maugeri et al. 2004). Existe una fuerte correlación positiva entre la concentración de Vibrios y la salinidad del agua. Asimismo, la concentración de vibrios adheridos al fitoplancton, en el estuario del río Neuse en Carolina del Sur Estados Unidos, aumenta con el incremento en la concentración de fitoplancton y disminuye con el aumento de la salinidad (Hsieh et al., 2007). Si bien los vibrios requieren de agua salada para crecer, pueden sobrevivir en la superficie de los cuerpos de agua dulce si hallan algo a lo que adherirse (Colwell y Spira, 1992).

La asociación con fitoplancton del *Vibrio cholerae*, mayoritariamente a copépodos, provee evidencia para un nuevo origen del cólera, que a su vez explicaría la naturaleza esporádica y errática de los brotes de cólera (Colwell y Huq, 1999).

Las floraciones algales que prosiguen a los monzones de la zona del Ganges poseen una extensión muy amplia, facilitando un crecimiento explosivo de vibrios. Tradicionalmente, el agua se ha obtenido de pozos en las zonas rurales cercanas al Ganges, pozos que se llenan con agua de los monzones. Luego, en la temporada de sequía, las algas y plantas acuáticas otorgan una ambiente propicio para el desarrollo de vibrios, que provienen de las aguas de inundaciones o por contaminación fecal de las aguas de letrinas cercanas (Colwell y Spira, 1992).

Condiciones adversas, usualmente temperaturas extremas o bajas concentraciones de nutrientes para *Vibrio spp*, estimulan en la población bacteriana la activación del estado viable pero no cultivable (VBNC, por sus siglas en inglés *Viable, but non-culturable*) (Binsztein et al. 2004). Estado que favorece la persistencia de las bacterias durante el invierno, y que constituye una preocupación para la salud pública (Oliver y Bockian 1995, Maugeri et al. 2004).

### 1.1.5 Aplicaciones de Sensores Remotos

Desde el lanzamiento del Coastal Zone Color Scanner (CZCS) en 1978, varias misiones para la observación del color del océano han sido desarrolladas (MERIS Product HandBook).

Sin embargo cabría preguntarse cuál es la justificación de esas misiones.

Se cree que los océanos transportan desde 1/3 hasta la mitad del calor desde el ecuador a los polos de nuestro planeta, siendo este flujo lo que mantiene las regiones de latitud media habitables.

Asimismo el océano es el mayor sumidero para la producción en incremento de dióxido de carbono y otros gases invernaderos.

Actualmente la tecnología espacial está considerada una herramienta importante, facilitando el monitoreo de parámetros hidrológicos y oceanográficos, permitiendo a la comunidad científica analizar las tendencias en la actividad, estado y productividad oceánica (Behrenfeld et al., 2006).

La naturaleza y la extensión de los problemas asociados con FANs, ha adquirido mayor prominencia en las últimas décadas. Sin embargo, la dificultad existe para cuantificar esos brotes, para documentar tendencias, debido a las diferentes floraciones y sus diferentes efectos (Anderson, 1989).

La variabilidad temporal y espacial de estos fenómenos, dificulta su monitoreo a través de cruceros y empobrece nuestro conocimiento de los mismos.

Esta limitación es mucho menor en los sensores remotos, que proveen la información necesaria para detectar, monitorear y pronosticar su desarrollo y movimiento.

Entre esos sensores encontramos aquellos que registran el color del océano, especialmente los que miden concentración de fitoplancton, proporcional a la biomasa de algas (Parsons, et al., 1985). Estos sensores se caracterizan por ser ópticos, sensibles al infrarrojo térmico y/o de microondas.

Dada la acumulación de fitoplancton en una floración, es posible el cambio de coloración en la superficie del mar, cambio que permitiría la detección del fenómeno en aguas costeras y océano abierto.

Asimismo, la temperatura superficial del mar, derivada de satélite, se ha utilizado en el estudio de corrientes, frentes oceánicos, localización de zonas de upwelling, comportamiento de eddies, por ejemplo utilizando el sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (**AVHRR**) (Pearce y Pattiaratchi, 1997; Tang et al., 2003). Dada la importancia de la temperatura superficial del mar, ésta podría ser un indicador en la detección de floraciones. Steidinger y Haddad (1981) fueron unos de los primeros en sugerir el potencial del color del océano en la detección de floraciones algales con el Coastal Zone Color Scanner (**CZCS**) en las aguas del oeste de Florida.

En la actualidad existe un grupo en Seul, Corea el "Ocean Satellite Research Group from the Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI)" que ha desarrollado un índice para mareas rojas (RI) capaz de identificar zonas potenciales de floraciones en las costas chinas y coreanas utilizando datos provenientes de **SeaWiFS** (Ahn et al., 2006).

En la región de Los Lagos en Chile, entre las latitudes 41°S y 45°S, se monitorean floraciones algales de especies como *Gymnodinium spp*, *Leptocylindrus minimus* y *Chaetocerus convolutus* utilizando información oceanográfica in-situ y de sensores como **MERIS** y **AATSR** (Advance Along Track Scanning Radiometer) a bordo del satélite de la ESA, ENVISAT (Rodríguez-Benito y Haag, 2004).

Sin embargo, en otros sitios como los lagos de Mantua, en el norte de Italia, que presentan floraciones de *Oscillatoria*, *Microcystis* y *Pseudoanabena*, plantean un desafío para el desarrollo de algoritmos para sensores remotos hiperespectrales, como el **CHRIS** (Compact High Resolution Imaging Spectrometer) a bordo del PROBA (Project for On-Board Autonomy) por tratarse de aguas Caso 2. Los algoritmos desarrollados para estimar la concentración de clorofila-a y la abundancia de cianobacterias mostraron habilidad limitada en el discernimiento de señales en los componentes del agua (Bresciani et al., 2010).

Otros estudios en zonas costeras demuestran la dificultad en la separación de señales provenientes de componentes en el agua, principalmente aquellos con covarianza demostrada utilizando tanto imágenes del CHRIS-PROBA como de HICO (Hyperspectral Imager of Coastal Ocean a bordo de ISS) (Doerffer et al año).

Sin embargo, en el lago Tangxun, el segundo en extensión en China Central, se establecieron dos métodos para la estimación en la distribución espacial y temporal de la concentración de clorofila-a utilizando información derivada de sensores hiperespectrales (Yaohuan et al 2010).

En la identificación de parámetros ambientales marinos que influyen la presencia, concentración y adhesión de bacterias marinas autóctonas al fitoplancton, la tecnología espacial jugaría un rol complementario en el aporte de datos a aquellos obtenidos *in situ*, permitiendo la creación de una base de datos importante, debido a la posibilidad de monitoreo permanente del ambiente.

Si la temperatura superficial del mar aumenta y este incremento favorece la proliferación anómala de plancton, también lo hacen las bacterias adheridas: la mayor concentración de vibrios aumenta las posibilidades de infección a humanos (Lipp et al., 2002).

El cambio en las condiciones climáticas afecta la abundancia total de vibrios y a su vez también de cepas infecciosas de la familia. Incluso podría llegar a cambiar el rango geográfico de *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus* y *V. vulnificus* por ejemplo por un cambio en la salinidad del agua. Otro factor de alteración en la ecología de estos patógenos devendría de cambios en la población de plancton y otros huéspedes como moluscos bivalvos.

Recientemente se han descrito dos grandes brotes epidémicos de *Vibrio parahaemolyticus* en el sur de Chile, siendo causantes de varios casos registrados de enfermos y pérdidas económicas. Un grupo interdisciplinario intervino durante los brotes en junio del 2004 con la utilización del instrumento AATSR (Along-Track Scanning Radiometer) de ENVISAT. Con las mediciones de SST de el obtenidas, se pudieron determinar las áreas de riesgo para la extracción de marisco portador de *Vibrio parahemolítico*. La información satelital permitió la emisión de una resolución por las autoridades sanitarias regionales, para el cierre de extracción de moluscos en las zonas de mayor riesgo de desarrollo del agente infeccioso y descartar el cierre de áreas de bajo riesgo de infecciones (Rodríguez-Benito et al., 2004 (b)).

En la misma región, desde el 2003, se han aislado por primera vez algunas especies bacterianas, entre ellas *Vibrio parahaemolyticus*. La cepa aislada, fue responsable de 1500 casos de intoxicación humana en el verano del 2004. Con la utilización del instrumento AATSR conjuntamente con datos in-situ se pudieron proteger zonas de extracción de recursos marinos, susceptibles a la infección por bacterias, definiendo zonas de alto riesgo de intoxicación y evitando el cierre de otras de menor riesgo (Rodríguez-Benito et al., 2007).

También en zonas de importancia para la producción de salmónidos, se han utilizado series temporales de SST del sensor SeaWiFS y de concentración de clorofila-a del sensor MODIS-Aqua para la caracterización de patrones de mesoescala espacio-temporales de FANs, datos adquiridos libremente del sistema de Goddard Earth Science (GES) Data and Information Services Center (DISC) importados al GES DISC Interactive Online Visualization and Analysis System ('Giovanni') (Tello y Rodríguez-Benito, 2009).

A su vez, en dicha región de golfos del sur de Chile, un grupo interdisciplinario intervino durante un brote de *Vibrio parahaemolyticus* en junio del 2004 con la utilización del instrumento AATSR (Along-Track Scanning Radiometer) de ENVISAT. Con las mediciones de SST de el obtenidas, se pudieron determinar las áreas de riesgo para la extracción de marisco portador de *Vibrio parahemolítico*. La información satelital permitió la emisión de una resolución por las autoridades sanitarias regionales, para el cierre de extracción de moluscos en las zonas de mayor riesgo de desarrollo del agente infeccioso y descartar el cierre de áreas de bajo riesgo de infecciones (Rodríguez-Benito et al, 2004 (b)).

Asimismo en una región cercana a la anterior, se utilizaron tanto datos del AATSR y el producto ALGAL2 de MERIS, para observar floraciones de fitoplancton de mayor o menor intensidad, tanto temporal como espacialmente, como la ocurrida en marzo del 2003 que ocasionó una disminución intensa de oxígeno disuelto y la consecuente pérdida de cultivos marinos (Rodríguez-Benito et al., 2004).

El Dogger Bank, una región al sur del Mar del Norte, de importancia económica y con comunidades de macrofauna particular soportadas por la alta productividad primaria estacional. Sin embargo, también es una zona de transición de escasa profundidad, entre 18 y 40 metros. Por dicha razón, el espectro de reflectancia captado por el sensor MERIS fue afectado por el efecto de adyacencia y ocasionó una desviación del producto ALGAL2 con respecto de los valores reales.

(Atlas of Chlorophyll-a concentration for the North Sea based on MERIS imagery of 2003, Capítulo 10).

## 1.2 Objetivos

La aplicación, los aciertos y las falencias al tratar de resolver situaciones con floraciones algales y presencia de vibrios mediante sensores remotos se resume en los párrafos anteriores, destacando también la importancia de los estudios en paralelo en laboratorio y muestreos en campo.

Este trabajo propone seguir indagando en la capacidad de los sensores remotos de uso más frecuente en estudios de “color del océano” para estimar parámetros bio-físicos de un área con agua Caso 2, contando datos muestreados *in situ*. El fin radica en evaluar algoritmos y asociaciones propios de la región de Véneto (locales).

Así, se plantea el siguiente objetivo general de la tesis:

- Evaluar la utilidad de satélites en el monitoreo de parámetros acuáticos, en comparación con medidas obtenidas *in situ* en zonas especialmente cercanas a la costa, de tal modo de:
  1. Analizar la sensibilidad de los sensores remotos para describir variables biofísicas tales como la presencia de clorofila, materia en suspensión, y temperatura de la superficie del mar en el norte del mar Adriático
  2. Individualizar zonas de mayor o menos riesgo para el establecimiento de acuaculturas y evaluar la calidad microbiológica de aguas en zonas de recreación.
  3. Analizar patrones de dispersión del plancton para predecir y/o prevenir la difusión de bacterias marinas virulentas y resistentes a antibióticos
  4. Desarrollo de algoritmos locales a las particularidades de la región de interés para el modelado de enfermedades.
  5. Comparar el comportamiento espectral del agua medida *in situ* con firmas espectrales de satélites, hiperespectrales.

## 1.3 Metodología

### 1.3.1 Zona de estudio

La costa Veneta (figura 10) situada en la región del Norte Adriático posee una extensión de 156 Km, dividida entre las provincias de Venecia y de Rovigo, Italia, e incluye la laguna de Venecia. Es un área en buena parte dedicada a la acuicultura (almejas, mejillones, pescado) y constituye durante los meses estivales una zona popular de balneario y zona recreacional en general.



Fig. 10: Situación geográfica de la Costa Veneta en el Norte Adriático de Italia

Al describir esta área, se debe enfatizar en las características morfológicas y fisiográficas del Adriático Septentrional y en particular del Golfo de Venecia, que condicionan la estructura física y la dinámica de su propia agua. El Mar del Norte Adriático, posee una plataforma de escasa profundidad (promedio de 35m) que adquiere mayor profundidad (140m) a medida que se acerca al área central del Mar Adriático. La marcada costa Véneta está caracterizada por islas y ensenadas (figura 11).

Esta zona está sujeta al intercambio con el agua de la laguna de Venecia y a la contribución de numerosos ríos de diversos caudales de la cuenca del Alto Adriático, que portan al mar descargas de proveniencia agrícola, civil e industrial a lo largo de la costa occidental.

En adición existe un frente costero que contribuye, conjuntamente con la corriente principal hacia el sur, a distribuir, en un sector restringido, la descarga sólida y disuelta aportada por los ríos.

Tales características de la costa sumadas a la variabilidad meteorológica e hidrodinámica y la presión ligada al turismo y el tráfico marítimo, dan como resultado un ambiente marino-costero en extremo sensible, que permanece sujeto a modificaciones repentinas de las características químicas, físicas y biológicas.

Otro factor a tener en cuenta es el fenómeno de la erosión junto con las obras civiles realizadas para atenuar los efectos del mismo (pinturas, terraplenes y el mantenimiento de las playas) y las obras portuarias en prevención del fenómeno del "acqua alta".

Un aspecto particular del fondo del Veneto, generalmente arenoso y llano, es la presencia de irregularidades rocosas extendidas a lo largo del arco costero denominados *tegnúe*. Estos son ambientes sensibles y de alta diversidad biológica. (Reporte año 2004, ARPAV, Padova, Febrero 2005). Durante el invierno se producen diferencias de densidad en sentido norte-sur que ocasionan un giro ciclónico que desaparece durante la estratificación de aguas en la primavera (Rizzoli y Bergamasco, 1983). Durante esa temporada la pluma de las descargas del río Po se dispersa hacia la cuenca norte del mar, siendo susceptible a la advección y mezcla por acción de los vientos, que la confinan a una estrecha región costera y aceleraran su flujo (Kourafalou, 1999; Rizzoli y Bergamasco, 1983).



Fig. 11: Imagen de la laguna de Venecia mostrando la mayor parte de la Zona de estudio que se extiende entre latitud norte 43.50° a 46° y longitud oeste 12° a 13°

La zona presenta un gran interés económico, con una producción acuícola de aproximadamente 600 millones de dólares en 2004. Del total de dicha producción, el mejillón representó aproximadamente el 70 por ciento en volumen y aproximadamente el 48 por ciento en valor, ([www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_italy/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_italy/es)).

En Italia el sector pesquero y acuicultura emplea alrededor de 90.000 trabajadores, la producción abarca el 60% la pesca marítima y el 40% la acuicultura del cual el 28% corresponde a la *vallicolture* realizada en las zonas costeras del Mar Adriático

Los microorganismos, en particular las bacterias, desempeñan roles vital en los ecosistemas de piletones en acuicultura y pueden ser tanto beneficiosos (reciclado de nutrientes, degradación de materia orgánica) como dañinos (parásitos).

La mayor parte de los daños ocurridos a productos marinos se atribuye a bacterias (Palaniappan, 1982). Además de las bacterias nativas de las aguas estuarinas, la aplicación de alimento y fertilizantes artificiales, la alta densidad de stock, la escasa profundidad de las granjas intensivas y semi-intensivas, conllevan un aumento en la población bacteriana (E. Anand Ganesh, 2010).

Por lo anterior, en los sistemas de acuicultura la carga de *Vibrios* patogénicos debería ser mantenida bajo control (por debajo de 1000 UFC/ml).

*Vibrio parahaemolyticus* es un habitante natural de ambientes marinos y estuarinos, constituyendo una parte de la microflora autóctona. Esta especie de *Vibrio* está relacionada con casos de gastroenteritis humana causada por ingestión de agua contaminada o frutos de mar crudos o poco cocidos. Durante los últimos años los casos de gastroenteritis por *Vibrio parahaemolyticus* han aumentado a nivel mundial causando brotes epidémicos. Se conoce que la distribución de *V. parahaemolyticus* está influenciada por factores ambientales, siendo la temperatura del agua aquel más importante en ambientes marinos.

Caburlotto et al., 2010, demostraron que en la región de la Laguna de Venecia, si bien el factor clave para la ocurrencia de esta bacteria es la temperatura del agua, también son relevantes la salinidad y la concentración de clorofila. Se hallaron ciertos serotipos en la Laguna de Venecia durante los 18 meses del estudio, hecho que sugiere la persistencia de *Vibrio* en ese ambiente. Esta correlación con los factores ambientales también fue hallada por Hsieh et al., 2007 en el estuario del río Neuse en Carolina del Norte, Estados Unidos y en otras muchas zonas costeras.

Para prevenir los brotes epidémicos causados por cepas bacterianas marinas patógenas para peces y/o para el hombre, el ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale) conjuntamente con el IZS (Istituto Zooprofilattico o Sperimentale delle Venezie) verifican y controlan los alimentos, las materias primas para la producción de los mismos y el agua potable mediante determinaciones químicas, físicas y microbiológicas a lo largo de la costa de la región del Veneto.

En el caso que los análisis muestren contaminación y los análisis posteriores no demuestren su duración breve, se prohíbe el uso del área temporalmente hasta que los datos señalen la nueva viabilidad en el uso (tabla 1).

Los criterios de evaluación y los requisitos mínimos para la calidad del agua de balneario, se muestran a continuación

#### REQUISITI DI QUALITA' DELLE ACQUE DI BALNEAZIONE

Requisiti di qualità delle acque di balneazione ai fini del giudizio di idoneità durante la stagione a cura dei Comuni (D.M. 30 marzo 2010 – Allegato A)

PARAMETRI	ACQUE	VALORE
(unità di misura)	(tipo)	LIMITE
Enterococchi intestinali (n°/100 ml)	Costiere	200
	Interne	500
<i>Escherichia Coli</i> (n°/100 ml)	Costiere	500
	Interne	1000

#### Legenda

unità di misura: ufc/100 ml per metodiche EN ISO 9308-1 (*Escherichia coli*) e EN ISO 7899-2 (Enterococchi Intestinali) o mpn/100 ml per metodiche EN ISO 9308-3 (*Escherichia coli*) e EN ISO 7899-1 (Enterococchi Intestinali)

#### CRITERI DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLE ACQUE DI BALNEAZIONE

Criteri di valutazione da parte delle Regioni per la classificazione delle acque di balneazione al termine della stagione (D.Lgs. n. 116/2008 – Allegato I)

PARAMETRI (unità di misura)	ACQUE (tipo)	CLASSI DI QUALITÀ			
		Eccellente	Buona	Sufficiente	Scarsa
Enterococchi intestinali (n°/100 ml)	Costiere	100 (*)	200 (*)	185 (**)	>185 (**)
	Interne	200 (*)	400 (*)	330 (**)	>330 (**)
<i>Escherichia Coli</i> (n°/100 ml)	Costiere	250 (*)	500 (*)	500 (**)	>500 (**)
	Interne	500 (*)	1000 (*)	900 (**)	>900 (**)

Tabla 1: criterios de evaluación (a) y los requisitos mínimos para la calidad del agua de Balneario (b) del ARPAV

### 1.3.3. Sitios de Relevamiento

Los datos utilizados en el trabajo provienen de dos instancias diferentes realizadas en la zona de interés: las correspondientes al del proyecto internacional VibrioSea y dos campañas realizadas en abril y junio del 2010. Los proyectos se describen a continuación



Fig. 12: barco de muestreo del ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto)

El proyecto internacional de investigación “VibrioSea”, ha tenido como objetivo el desarrollo de un sistema satelital de alerta temprana para brotes relacionados a vibrios.

Este proyecto fue co-fundado por el Centre National d’Etudes Spatiales (CNES), el Institute Pasteur

ambos de Francia y las Universidades de Verona y Génova en Italia.

En el marco de desarrollo de esta tesis se realizaron dos campañas de muestreo durante el 2010, más específicamente el 19 de abril y el 28 de junio, primavera y verano respectivamente en la zona estudiada.

#### 1.3.4. Red de relevamiento

El área en la que se seleccionaron los sitios de muestreo incluye 30 km desde la laguna de Venecia hasta el río Po. Tales sitios se encuentran en las estaciones denominadas San Pietro, Fosson y Caleri (figura 13). La estación San Pietro, frente a la entrada de Malamocco, se escogió como una estación de bajo riesgo para el desarrollo y persistencia de vibrios debido a la alta salinidad y la baja concentración de nutrientes. No así las

otras dos estaciones, Fosson, entre los ríos Brenta y Adige, y Caleri que enfrenta la desembocadura del río Po, pues estas se hallan en zonas consideradas de alto riesgo, ya que poseen las condiciones para la persistencia de vibrios, es decir aguas estuarinas.

Asimismo en cada estación se escogieron dos sitios de muestreo, uno a 500 m de la línea de costa (Caleri1, Fosson1 y S. Pietro1) y el segundo a 3000 m fuera de la costa (Caleri2, Fosson2 y S. Pietro2). Un séptimo sitio, denominado Foce (Fosson 0) se muestreó a partir Mayo del 2007 para obtener muestras adicionales en aguas de baja salinidad. Este sitio se encuentra en la cercanía de la boca de salida del río Adige.



Fig. 13: Ubicación de los sitios de muestreo a lo largo de la costa Veneta

#### 1.3.5. Método de recolección y procesamiento de muestras

Si las condiciones meteorológicas lo permitían, durante la estación cálida (junio a septiembre) se recolectaron dos veces por mes, muestras de agua, sedimento y plancton. La frecuencia se torna mensual de octubre a mayo. El periodo cubierto incluye los meses desde junio 2006 hasta noviembre 2007 para las seis estaciones previamente descritas, a excepción de Foce (Fosson 0), estación relevada desde mayo a noviembre de 2007.

Utilizando una botella plástica de Niskin, se recolectaron dos litros de agua a un metro de profundidad. Se recolectó mesozooplancton con una red de plancton de 200  $\mu$ m mediante el filtrado de aproximadamente

105 litros de agua. Se tomaron muestras de sedimento con una pinza Van Veen, que posteriormente se almacenaron en botellas plásticas estériles, solamente en las tres estaciones más próximas a la costa (Caleri1, Fosson1 y S. Pietro1). La totalidad de las muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde se analizaron en las 24 horas posteriores a la recolección.

En lo referente a estudios microbiológicos, los dos litros de agua recolectados se concentraron por filtración a través de membranas de nitrocelulosa Millipore de 0.22  $\mu\text{m}$ , que luego se suspendía en 300 ml de Agua Marina Artificial (ASW).

Las muestras de plancton se filtraron usando una red de plancton de 100  $\mu\text{m}$ , el plancton se pesó y se suspendió en ASW, se homogeneizó, se sonicó tres veces a baja frecuencia (15 kHz for 30 s) en hielo para separar bacterias del plancton, se vortexó y finalmente se centrifugó.

El método del Número Más Probable (NMP) asociada a PCR estándar se utilizó para enumerar *Vibrio spp* en las muestras marinas de agua, sedimento y plancton, y a su vez para confirmar la pertenencia de las bacterias al género *Vibrio*.

Aproximadamente 5g de sedimento se pesaron y suspendieron en ASW, se vortexaron y sonicaron por dos minutos como fue previamente descrito y se almacenaron a temperatura ambiente.

- Otros parámetros ambientales medidos

Durante las mismas campañas se realizaron perfiles verticales desde la superficie hasta el fondo utilizando una sonda multiparamétrica (Idronaut® mod. 316), proveyendo datos de temperatura de superficie ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (PSU), oxígeno disuelto (% de saturación), pH y turbidez (NTU).

### 1.3.6. Datos de sensores remotos

Para esta tesis se utilizaron imágenes del sensor remoto MERIS a bordo del ENVISAT, solicitadas mediante un proyecto a la European Space Agency (ESA), imágenes del sensor remoto MODIS, a bordo del AQUA y solicitadas vía online a la NASA e imágenes hiper-espectrales del Sensor CHRIS-PROBA.

#### 1) Obtención de imágenes de la ESA

En marzo del 2002, la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) lanzó el satélite ENVISAT (Environmental remote sensing Satellite), un satélite de órbita polar, que brinda información sobre océano, tierra y hielo.

Entre otros, transporta el instrumento MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) con el principal objetivo de monitorear el color del océano.

A tal modo de obtener productos de este sensor, se planteó un proyecto de acuerdo a los requerimientos establecidos por la ESA para proveer imágenes de MERIS (en <http://eopi.esa.int/category1>). El proyecto de Categoría-1 (implica investigación y desarrollo), fue redactado en función a esta tesis (para más información sobre el tipo de documentación enviada ver el ANEXO 1).

Una vez aprobado el proyecto a través de un software de la propia ESA, el EOLISA 7.2.1 (European Space Agency's Earth Observation, Multi-mission Catalogue and Ordering Service) se solicitaron las imágenes del área de interés, en la fecha y en el nivel de procesamiento requerido. En el proyecto que nos incumbe, C1P7735, se solicitó acceso a imágenes del sensor MERIS del tipo FR-2P de la zona norte del Mar Adriático. Estas imágenes son productos con parámetros geofísicos geolocalizados para tanto océanos y tierra como nubes

(2P: producto nivel 2) con una resolución espacial en el nadir de 300 m (FR: Full Resolution).

Estos productos, al ser pedidos a ESA ya son enviados georreferenciados con Geo Lat/Lon proyección WGS84, calibrados y corregidos atmosféricamente.

Al momento de la recepción de los productos se ajustó el corregistro de los mismos para mejorar la precisión de localización de los puntos de muestreo más cercanos a la costa. Posteriormente se tomó la precaución de observar la banda del archivo denominada PCD\_17, que indica la calidad del producto algal II mostrando los pixeles "malos" o con datos de calidad dudosa, para descartar sitios de muestreos con posible información incorrecta.

En total se solicitaron y descargaron 26 imágenes entre los años 2006 y 2007 de tipo FR-2P con el fin de cotejarlos con datos obtenidos in-situ. En primavera, verano y comienzos del otoño las imágenes son dos

por cada mes (por una frecuencia quincenal de muestreo) y una por cada mes de invierno y finales de otoño, en ambos años.

Las fechas solicitadas fueron las más próximas posibles a la fecha de muestreo en campo, pero en estaciones como el invierno, la cobertura nubosa es alta en la zona o incluso las imágenes no cubren la zona del Adriático de interés, por lo cual entre el día de toma de dato in-situ y el dato de sensoramiento remoto, puede existir una desviación desde 3 días hasta incluso una semana, si bien este último caso representa una minoría.

Cada imagen solicitada y descargada contiene los productos Índice de pigmento algal II y materia en suspensión, por ser la zona de estudio una zona costera y de clasificación Caso 2.

MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer Instrument) es un espectrómetro pasivo con un Field of View de 68.5°, que mide la radiación solar reflejada por la tierra, con una resolución espacial de 300 m, en 15 bandas programables en regiones de longitudes de onda del visible e infrarrojo cercano (390 nm a 1040 nm) del espectro (figura 14). La cobertura global de MERIS toma tres días (MERIS product handbook). La hora de pasada del satélite por el área de estudio es a las 09:30hs.

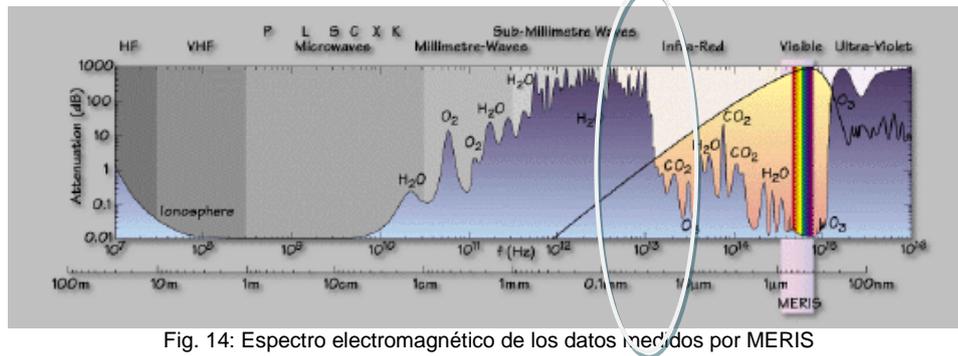


Fig. 14: Espectro electromagnético de los datos medidos por MERIS

El principal objetivo de la misión es la medición del color del océano y de zonas costeras, Los productos de océano abierto consisten en concentraciones de clorofila y varios parámetros atmosféricos. A medida que se acerca a la zona costera, aumenta el número de productos, incluyendo materia suspendida y sustancia amarilla.

A continuación se presentan brevemente los productos Nivel 2 de MERIS relacionados a océano:

1. Reflectancia: la unidad radiométrica es reflectancia corregida atmosféricamente. Esta corrección asume que el agua absorbe en el infrarrojo cercano (NIR) e incluye una corrección para aquellas aguas con sedimentos donde la primera presunción falla (ATBD 2.7).
2. Índice de Pigmento algal I: es una medida de la concentración en Log10 (mg/m<sup>3</sup>) de fitoplancton en agua. La concentración deriva de la proporción entre la señal azul y verde reflejada del agua. Esta relación es solo válida sobre aguas claras y muestra un rango de concentraciones entre mg/m<sup>3</sup> y decenas de g/m<sup>3</sup> (ATBD 2.9).
3. Índice de Pigmento algal II: es una medida de la concentración en Log10 (mg/m<sup>3</sup>) de fitoplancton en agua, sin embargo deriva de la inversión de un modelo de propiedades del océano mediante una red neuronal (ATBD 2.12).
4. Materia en suspensión: medida de la concentración en Log10 (g/m<sup>3</sup>) de sedimentos en suspensión. Deriva de la inversión de un modelo de propiedades del océano mediante una red neuronal. El modelo describe a la materia en suspensión como una partícula reflectante con escasa absorción para la cual un nombre más adecuado sería concentración de materia mineral total en suspensión (ATBD 2.12).
5. Sustancia amarilla: es una medida de la absorción gelbstoff en m<sup>-1</sup>. También deriva de la inversión de un modelo de propiedades del océano mediante una red neuronal (ATBD 2.12). El modelo describe a la sustancia amarilla como materia absorbente sin reflexión. Resulta de material orgánico por senescencia de fitoplancton u otros orígenes, transportados por río al mar donde se disuelven.
6. Radiación fotosintéticamente activa: es una medida de la cantidad de radiación medida en mEinstein.m<sup>2</sup> disponible para la flora oceánica. Es utilizado para el estudio de la fluorescencia de la clorofila y debería ser utilizada conjuntamente con la banda 681.25nm, con ese objetivo (ATBD 2.18).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> La radiación fotosintéticamente activa (PAR, en Ingles) se mide como el número de moles de fotones de energía radiante. Por esto la irradiancia de fotones se mide en W/m<sup>2</sup> (vatio por metro cuadrado)

Como antecedentes, se pueden nombrar la utilización de productos MERIS del tipo FR-2P de clorofila, materia suspendida, sustancia amarilla en el monitoreo de aguas costeras en los fiordos del mar Báltico (Kratzer et al., 2008), para el estudio de floraciones algales en la región del sur de Benguela (Bernard et al., 2007), para ser validados en el mar Bohai y sus costas turbias (Cui et al., 2010), para análisis de eutrofización en las costas de Bélgica (Ruddik et al., 2008)

Productos MERIS del tipo RR-2P (nivel 2 de procesamiento pero con 1,2 Km de resolución espacial) de clorofila se utilizaron para la detección de floraciones algales en el Mar del Este de China (Sun et al., 2010).

## 2) Obtención de imágenes de la NASA

Por otra parte, de la página <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> se procedió a descargar imágenes de la zona de estudio, en este caso productos de temperatura superficial del mar de nivel 2 de procesamiento y de resolución de 1 Km provistos por el sensor MODIS a bordo del satélite MODIS Aqua.

El instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer), opera tanto en el satélite TERRA como en el AQUA. Es un radiómetro visible/infrarrojo para el sensado de fenómenos en tierra y océanos (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

La cobertura de la totalidad de la superficie terrestre toma de 1 a 2 días. Los detectores miden 36 bandas espectrales entre 0.405 and 14.385  $\mu\text{m}$ , y adquiere data en tres resoluciones espaciales- 250m, 500m, y 1,000m.

Los varios productos de MODIS describen características de la tierra, océanos y atmósfera. Pueden ser utilizados para análisis de tendencias y procesos a escala global y local (tabla 2).

Número de Banda	Centro de Banda ( $\mu$ )	Ancho de banda ( $\mu$ )
20	3.750	0.1800
22	3.959	0.0594
23	4.050	0.0608
31	11.030	0.5000
32	12.020	0.5000

Tabla 2: Bandas para la determinación infrarroja de SST

Estos productos contienen los valores geofísicos de cada píxel, luego de la calibración del sensor, correcciones atmosféricas y aplicación de algoritmos bio-ópticos a la radiancia.

El producto estándar de temperatura superficial de mar (SST por Sea Surface Temperature) contiene temperatura de 11-micrones y 4-micrones (solo nocturna) para cada píxel (Tabla X). (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) (atbd\_mod25)

Se pidieron y descargaron, al igual que en el caso de MERIS, 26 imágenes en total entre los años 2006 y 2007 de SST 11-micrones. En primavera, verano y comienzos del otoño las imágenes son dos por cada mes (debido a la frecuencia quincenal de muestreo) y una por cada mes de invierno y finales de otoño, en ambos años.

La variación entre la fecha de toma de muestra in-situ y la del sensoramiento remoto es menor con estos productos de MODIS.

Imágenes de MODIS SST se utilizaron en el estudio de la variación temporal de clorofila-a en la bahía de Funka, de Hokkaido, Japón (Radiarta y Saitoh, 2008)

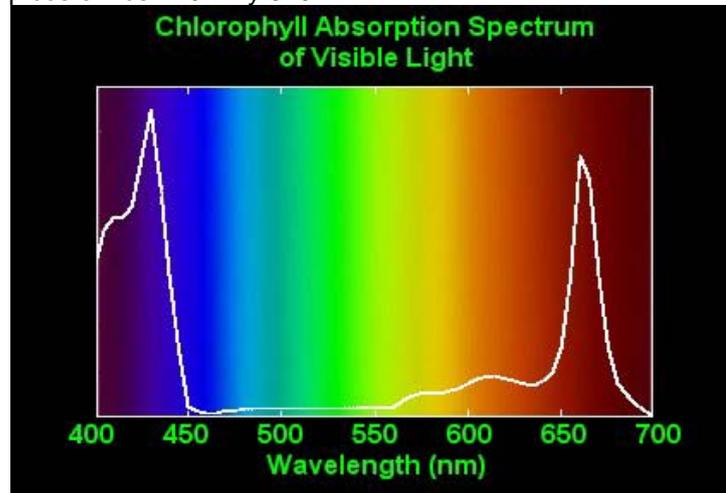
También en el estudio de cambio en la productividad primaria en la Bahía de Bengala (Rao et al., 2006).

## 3) Obtención de imágenes CHRIS-PROBA (ESA)

PROBA (Project for On-Board Autonomy) fue una misión que nació originalmente como una misión de demostración tecnológica de la ESA (European Space Agency). Planeada para ofrecer un año de misión, fue lanzado el 22 de Octubre de 2001. Posee una órbita elíptica y circular, con resolución espacial de 18 metros y un periodo de revisita de 7 días Esta plataforma porta dos instrumentos de observación de la tierra CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer) y HRC (High Resolution Camera).

CHRIS provee información en 19 bandas en el rango visible e infrarrojo cercano (400 - 1050 nm), pero se puede configurar para obtener a 34 m de resolución espacial desde 63 a 150 bandas espectrales en el rango mencionado.

Las curvas de reflectividad espectral, es decir el comportamiento reflectivo en diversas longitudes de onda de una cubierta obtenidas por lo general en laboratorios, se denominan firmas espectrales, como por ejemplo el espectro de absorción en el rango visible del grafico 1, enseña la firma espectral de la clorofila, con sus característicos picos en los 420nm y 670nm.



Graf. 1: Espectro de absorción de la clorofila para el rango visible

Se procedió a descargar imágenes de la misión CHRIS-PROBA del mismo modo que se realizó la solicitud y descarga de imágenes del sensor MERIS. Se utilizaron 5 imágenes (Mayo y Junio del 2002, 2003, 2004). Se descargaron imágenes en nivel 1A de procesamiento, por lo que se realizaron las correcciones y georreferenciación necesarias, con el programa VISAT y el modulo CHRIS-BOX.

Algoritmos para obtención de productos

La técnica de modelación de transferencia radiativa inversa con parametrización con red neuronal (IRTM-NN) permite la obtención de concentraciones de pigmento

de fitoplancton, materia en suspensión y materia orgánica, proveniente de los datos de radiancia del agua de MERIS.

Una característica particular del algoritmo es la capacidad de tratar un rango amplio de concentraciones incluyendo aguas caso I (mar abierto) y aguas caso II (aguas de mayor turbidez) a su vez considera la propiedad no-isotrópica de la radiancia proveniente del agua, dependiente ésta de de los ángulos de observación y solar, la rugosidad de la superficie del mar, del albedo y la fase de la función del agua y sus componentes. Requiere datos de espectro de reflectancia direccional que estén corregidos para efectos atmosféricos (ATBD 2.12)

El algoritmo es una regresión no lineal-múltiple ("Red Neuronal"). Las salidas del procedimiento son:

- Índice de pigmento de fitoplancton expresado como concentración de clorofila-a, unidad:  $\mu\text{g/l}$  (MERIS.CASE2.PIG) (figura 15.a)
- Concentración de partículas no-absorbentes en suspensión (NSP), unidad:  $\text{mg/l}$  (MERIS.CASE2.NSP) (figura 15.b)
- *Gelbstoff* (sustancia amarilla) absorción a 440 nm, unidad:  $\text{m}^{-1}$  (MERIS.CASE2.YS)

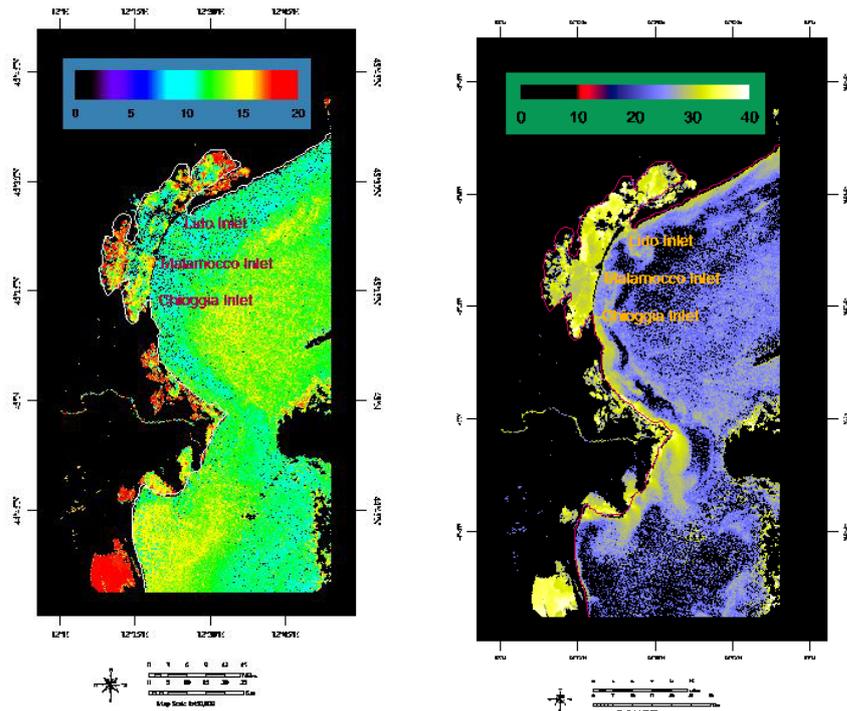


Fig. 15. Productos obtenidos de MERIS para este trabajo: a) Índice de pigmento de fitoplancton (Concentración de clorofila-a µg/l) b) Concentración de partículas no-absorbentes en suspensión (NSP, mg/l) en el Norte Adriático, Italia/ 01 Diciembre, 2006

- El algoritmo permite estimar la temperatura superficial del mar “bulk” (figura 16) a través de las bandas del infrarrojo medio y lejano de MODIS. El principal problema para la medición de temperatura en el infrarrojo térmico a través de la atmosfera es la degradación de la precisión en la temperatura percibida. Las principales fuentes de error en la determinación radiométrica son: brillo solar, absorción del vapor de agua, absorción de gases traza y variaciones episódicas en la absorción de aerosoles por erupciones volcánicas, nubes de polvo.

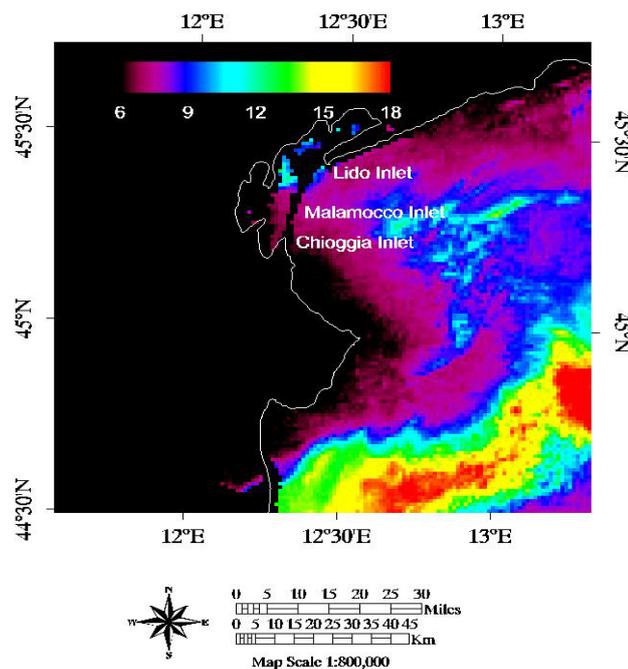


Fig. 16: Temperatura Superficial de Mar (SST, °C) Obtenida del Sensor MODIS.

Norte Adriático, Italia/ 26 Noviembre, 2006.

Una vez que se obtuvieron los datos de sensoramiento remoto para cada estación de muestreo para clorofila-a (Chlo-a), temperatura superficial del mar (SST) y materia total en suspensión (TSM), se procedió a realizar un análisis descriptivo/exploratorio de cada una de ellas, a nivel estación anual y sitio de muestreo. Posteriormente se analizó la posible relación entre los datos de campo y los de satélites para cada variable mediante correlación, regresión. Asimismo se analizó la posible relación entre cada una de las variables y la concentración de vibrios, nuevamente, a nivel estación anual y sitio de muestreo. Finalmente se utilizaron semivariogramas y autocorrelación, herramientas de estadística espacial, para analizar la variación estacional e interanual entre sitios de muestreo y para evaluar la posible interpolación de datos al resto del Norte Adriático.

## 2. Capítulo 2

Descripción y análisis de variables físicas medidas por sensores remotos y su relación con datos in-situ.

## 2.1 Introducción

El análisis de los datos y su variación tanto espacial como temporal es fundamental en la comparación del comportamiento y variabilidad de cada factor de manera independiente y de ese modo obtener un panorama de las posibles asociaciones entre las variables medidas in situ y las observadas por sensores. El análisis estadístico descriptivo brinda una idea del tipo de análisis que se realizara posteriormente e incluso da idea de algunos factores externos subyacentes, así como identificación de posibles mediciones anómalas y sus causas.

En esta oportunidad se analizará el conjunto total de datos de cada variable, mientras que en el siguiente capítulo se analizará en mayor detalle tendencias estacionales o espaciales (geográficas) del conjunto de datos.

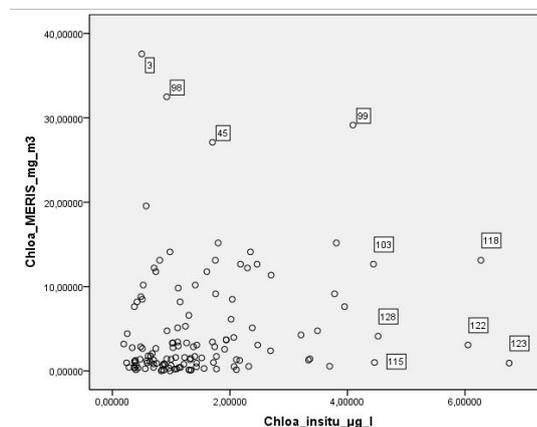
Así, los objetivos de este capítulo son

- Describir el conjunto de datos obtenidos a lo largo de 2 años por diversos sensores de RS y la variación de los datos de campo, incluyendo la descripción de la presencia de vibrios
- Medir el grado de correspondencia entre los datos medidos por RS y sus correspondientes mediciones en campo para el contenido de clorofila, materia en suspensión y temperatura de superficie del mar

## 2.2 Análisis Descriptivo de los Datos

Los datos en este capítulo corresponden a un conjunto de valores sin valores extremos, al menos para las variables concentración de clorofila-a y materia total en suspensión. Al momento de analizar los datos, estos presentaban ciertas características particulares.

Por ejemplo, el siguiente es un gráfico de dispersión de puntos para el conjunto de valores original de clorofila-a registrado por el sensor remoto MERIS y la sonda multiparamétrica en cada una de las sitios de muestreo (Gráfico 2).



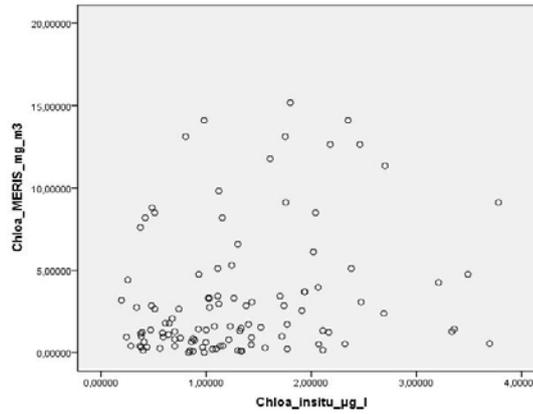
Graf.2: dispersión de puntos para el conjunto de valores original de clorofila-a medidos in situ y por RS.

A simple vista, los datos de MERIS concuerdan con unidades mucho mayores que los datos in-situ.

Los puntos con recuadros, son aquellos considerados anómalos.

Cuando se observó a que sitio de muestreo corresponden, gran parte de ellos son de la estación Caleri en el año 2007. Esta estación de muestreo, se encuentra en el estuario del río Po.

Al remover dichos valores, más tres correspondientes a las estaciones San Pietro de la ensenada de Malamocco, la nube de puntos de valores de clorofila adquirió este patrón que es el finalmente utilizado para los análisis posteriores (Gráfico 3).

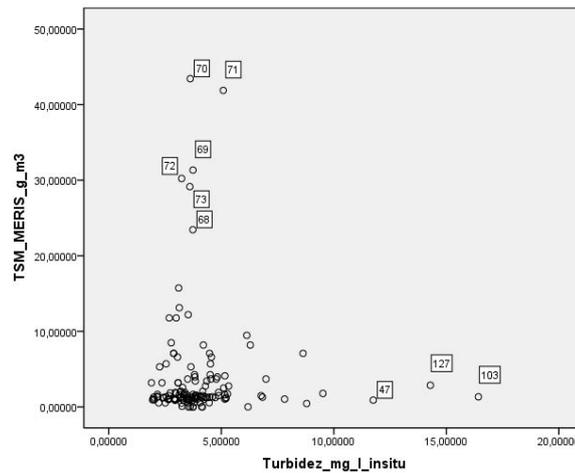


Graf. 3: patrón final de la nube de puntos de valores de clorofila-a utilizado para los análisis posteriores

En total se eliminaron 12 datos (de un total de 139), para luego intentar circunscribir a una fecha o sitio de muestreo particular, la gran variabilidad in-situ y/o las estimaciones erróneas de MERIS, observadas en los datos de clorofila-a.

Si bien la mayoría de los datos del conjunto de los datos anómalos, pertenecen a los meses de primavera-verano del año de muestreo 2007, en las estaciones de aguas estuarinas del río Po, la remoción de esos datos del conjunto original no arroja resultados alentadores, ya que no mejora significativamente la correlación entre mediciones de clorofila-a in-situ y sensado remoto.

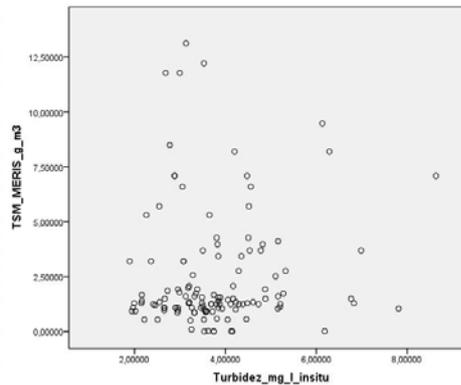
En lo referente a la materia total en suspensión, la variable en general presenta un patrón más homogéneo en su variación temporal. Sin embargo existen, en menor cantidad, datos con valores anómalos, que en este caso pertenecen particularmente a una fecha de muestreo. A continuación se presenta el set de datos originales en un gráfico de dispersión de puntos (Gráfico 4).



Graf.4: dispersión de puntos para el conjunto de valores original de materia total en suspensión medidos in situ y por RS

Nuevamente, los datos con un recuadro son aquellos considerados anómalos. Estos pertenecen a aguas estuarinas, pero no solo circunscriptas a las del río Po, sino también a los ríos Brenta y Adige. Pertenecen a la estación primavera del año de muestreo 2006.

Al remover estos datos del conjunto original, el patrón de puntos adquiere la siguiente forma, que es aquella seleccionada para desarrollar los análisis posteriores (Gráfico 5).



Graf. 5: gráfico de dispersión de puntos de materia total en suspensión descartando valores anómalos (utilizado para los análisis posteriores)

En total se removieron 12 datos del set original que contaba con 139 valores de materia total en suspensión. Finalmente, sea porque el ancho de pasada del satélite no cubría el territorio de muestreo o debido a cobertura nubosa en el mismo, son pocas las fechas de las imágenes satelitales que coinciden exactamente con la fecha del muestreo en campo. La diferencia temporal varía en un rango de 2 a 7 días, si bien este último caso no representa a la mayoría. Esta variación es importante sobre todo cuando se estudian organismos vivos y móviles como el fitoplancton.

Considerar la remoción de datos con diferencia temporal, implicaría que una proporción alta de valores sea de concentración de clorofila-a, como de materia total en suspensión. Esto sumado al hecho de que los niveles de correlación son bajos de todas formas (de  $R=0.24$  a  $R=0.29$ ); no se consideró lo suficientemente justificativo como para eliminar los datos con dicha amplitud temporal.

Con los conjuntos de mediciones para Temperatura Superficial del Mar no se observan las situaciones anteriores. Probablemente porque el sensor de medición es diferente (MODIS), que a su vez cuenta con una resolución espacial distinta que casi siempre incluía la zona de muestreo en cada pasada del satélite Aqua, sumado a un periodo de revisita distinto al ENVISAT.

Sin embargo por la cobertura nubosa, en varias de las imágenes correspondientes al invierno, fue dificultosa o imposible la tarea de recabar de datos del sensor remoto.

### 2.3 Clorofila-a

Mediante el algoritmo Algal II del sensor MERIS, se estima la concentración del pigmento fotosintético en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de regiones con aguas Caso 2, como las costas de la zona de interés.

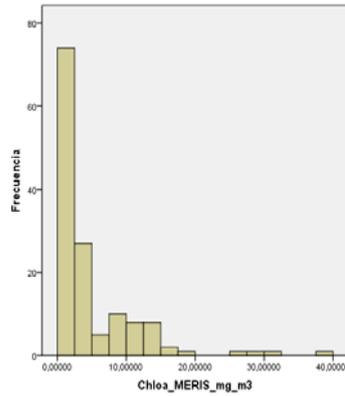
Esta variable presenta una media superior a la provista por los datos registrados in-situ, con un rango mayor (mayor diferencia entre el valor mínimo y el máximo) y en consecuencia la varianza que supera igualmente a los valores in situ (Tabla 3).

Estadísticos descriptivos

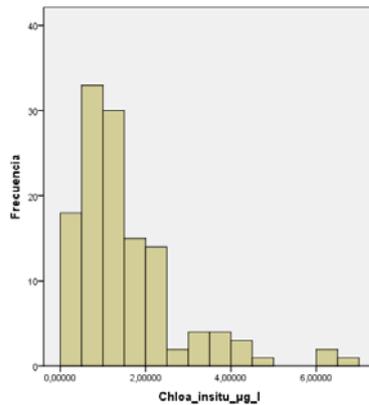
	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
Chloa_insitu_ug_l	3,50	,1940	3,69	1,32	,794	,631
Chloa_MERIS_mg_m3	15,16	,0096	15,17	2,77	3,35	11,218

Tabla 3: estadística descriptiva de los conjuntos de datos (7 sitios de Jun. 2006 a Nov.2007) de Chloa bajo análisis.

La variable sensada por MERIS (Chloa\_MERIS\_mg\_ml) (Gráfico 6 a), no presenta distribución normal y tampoco lo hace aquella medida en laboratorio (Chloa\_insitu\_ug\_l) (Gráfico 6 b).



Graf. 6 a: distribución original de la clorofila-a sensada por MERIS (mg\_m)



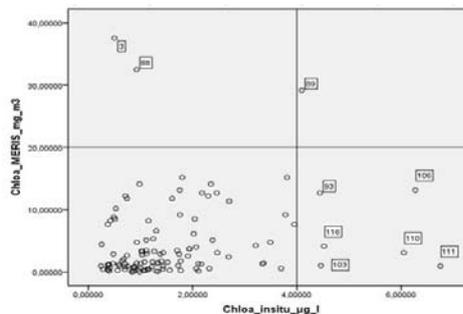
Graf. 6 b: distribución original de la clorofila-a sensada por sonda multiparametrica (µg/l)

La correlación entre ambos conjuntos de mediciones se realizó para los diferentes sitios de muestreo y fechas, cada par de datos a correlacionar corresponde a una estación de medida in situ y su correspondiente píxel en la imagen para las mismas fechas de adquisición.

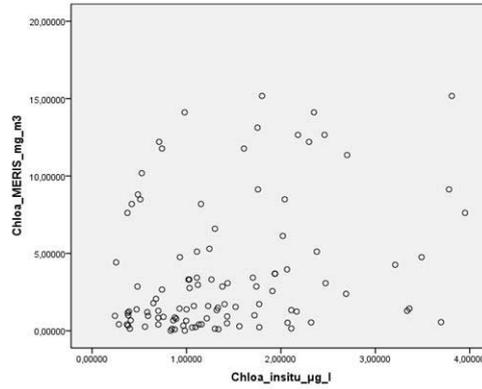
El índice de correlación de Pearson fue de  $R=0.24$ , que corresponde al 24% de acuerdo entre ambas mediciones (Gráfico 8).

Si a este conjunto de datos de concentración de clorofila-a, se removiesen las fechas con una variación de 3 a 7 días entre la toma de datos en campo y la adquisición de la imagen, la correlación alcanza un 29% (Gráfico 9) de correspondencia entre los puntos entre los datos in-situ y aquellos sensados remotamente.

Las unidades de medida de la concentración del pigmento son equivalentes entre el sensor remoto ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y las mediciones in-situ ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

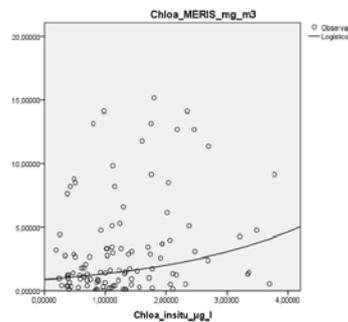


Graf. 8: conjunto de datos con los que la correlación presenta un  $R: 0.24$



Graf. 9: conjunto de datos con los que el R: 0.29, por remoción de datos con variación de 3 a 7 días entre medición en campo y del sensor remoto.

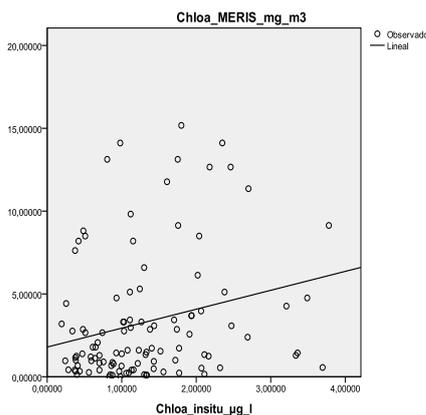
Mediante diferentes estimaciones curvilíneas se halló que la regresión de mejor ajuste es la logística con un R: 19.6% (Gráfico 10).



Graf. 10: la regresión logística con un R: 19.6% es el mejor ajuste entre datos in-situ y MERIS para concentración de clorofila-a

La regresión lineal debajo muestra una sobrestimación de los datos de clorofila-a in-situ por parte de los sensado remoto (Gráfico 11)

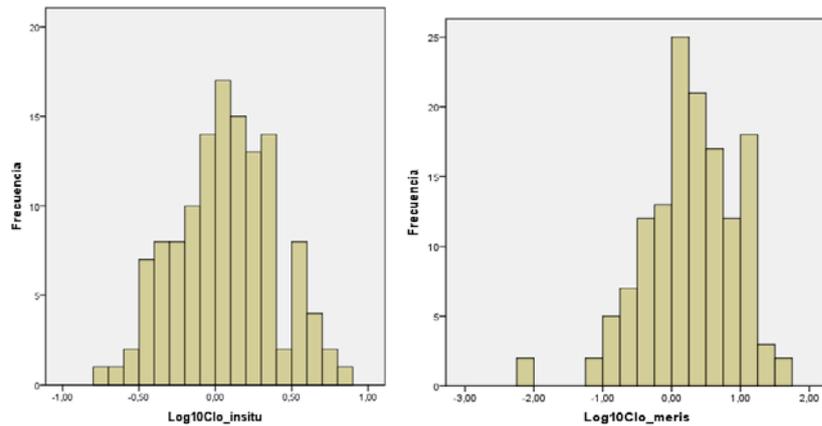
$$\text{Clorofila-a insitu} = 1,793 + 1,142 * \text{Clorofila-a MERIS}$$



Graf. 11: regresión lineal entre datos in-situ y MERIS para concentración de clorofila-a

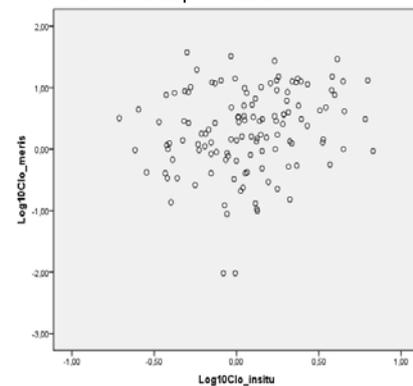
Chloa\_insitu y Chloa\_MERIS, son una única variable, el pigmento fotosintético Clorofila-a, pero medida por dos sistemas diferentes. Lo anterior nos señalaría que ambas medidas deberían poseer un patrón similar que se expresaría en una constante, en la ecuación de regresión lineal, cercana a cero. Sin embargo en el presente caso, dicha constante indica un valor que se aproxima a dos desvíos estándar (1.793) entre la clorofila sensada remotamente y aquella in-situ.

Asimismo la pendiente en la ecuación lineal de dos medidas que deberían presentar un patrón similar se aproximaría a un valor unitario, en este caso el un valor es de 1.142, indicando que al menos el aumento en la medida de la clorofila in situ, provoca un aumento de proporciones similares en la medida de MERIS Como se observa en los histogramas del gráfico 6 a y b, ni las medidas de Chlo-a in situ, así como tampoco aquellas obtenidas por sensores remotos presentan una distribución Normal, por ello, se trata de aproximar los datos a esta distribución a través de una transformación logarítmica. Logrando una normalización de los mismos, como se observa en ambos histogramas a continuación (Gráfico 12)



Graf. 12: distribución logarítmica de la clorofila-a in-situ y clorofila-a sensada por MERIS

Sin embargo, como se observa en el gráfico13, la correlación no mejoró (R: 0.204). El gráfico de correlación muestra que los puntos que corresponden a los puntos de medición logarítmica de clorofila en ambos sistemas, forman una nube sin tendencia aparente, razón por la cual se escogió continuar el análisis con los datos originales.



Graf.13: correlación de datos de clorofila-a in- situ y de MERIS luego de la transformación logarítmica. Esta no mejoró (R: 0.204)

Se probaron distintas estimaciones curvilíneas para la variable en logaritmo base10 de Clorofila-a de MERIS, sin embargo, ninguna de ellas probó tener un R lo suficientemente significativo como para avalar el uso de los valores de MERIS. Podría utilizarse el modelo lineal que, a pesar del 7% de correlación entre variables, es el que requeriría de la menos cantidad de parámetros a calcular.

Como el algoritmo Algal II de Meris descompone la señal de reflectancia en diferentes componentes orgánicos y biológicos del mar; también se intentó conjugar esos componentes en relación a una única medición in situ (como la clorofila), con el objetivo de evaluar si la “integración” de los datos provistos por MERIS mejoran la correspondencia de las mediciones remotas respecto de las in-situ.

Así, tomando como variable dependiente a la clorofila-a registrada in-situ ( $Chloa\_insitu\_ug\_l$ ) y como variables predictoras a la clorofila-a ( $Chloa\_MERIS\_mg\_m^3$ ) y la materia total en suspensión ( $TSM\_MERIS\_g\_m^3$ ) ambas sensadas por MERIS, se realizó una regresión que, si bien es significativa ( $p=0.009$ ), no supera el  $R=29.5\%$ .

Solamente la materia en suspensión resulta ser una variable predictora significativa ( $p=0.021$ ). Cuando se consideran las dos variables presentes en el agua de mar, medidas por MERIS, se observa una leve mejoría en el ajuste de la regresión (0.29) respecto a la regresión invariada de clorofila Meris vs. Clorofila in situ. (0.204).

La regresión lineal es del tipo:

$$Chloa\_insitu = 1.190 + 0.061 * Chloa\_MERIS - 0.06 * TSM\_MERIS$$

Posteriormente, se realizó una nueva regresión tomando como variable dependiente a la clorofila-a registrada in-situ normalizada ( $Log10Clo\_insitu$ ) y como variables predictoras a la clorofila ( $Log10Clo\_meris$ ) y la materia total en suspensión ( $Log10TSM\_meris$ ) sensada por MERIS, también normalizadas.

La regresión, si bien es significativa ( $p=0.074$ ), no supera el  $R=22.6\%$ .

$$Log10Clo\_insitu = 0.022 + 0.082 * Log10Clo\_meris - 0.039 * Log10TSM\_meris$$

## 2.4 Materia en Suspensión (TSM, Total Suspended Matter)

El mismo algoritmo que posibilita obtener valores de concentración de clorofila-a en zonas costeras, también tiene como salida la concentración en  $g/m^3$  de materia en suspensión (TSM).

La variable registrada por el sensor remoto y aquella registrada por la sonda in-situ, poseen una media similar, si bien la varianza de la primera es mayor que la segunda (Tabla 4) esto es por la mayor diferencia registrada entre el valor mínimo y máximo de MERIS con respecto a la sonda multiparamétrica.

### Estadísticos descriptivos

	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
TSM_MERIS_g_3	43,43	,00000	43,43	4,05	7,44	55,35
Turbidez_mg_l_in_situ	12,39	1,89	14,29	3,96	1,91	3,64

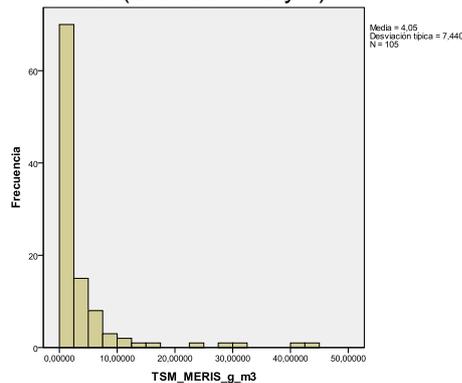
Tabla 4:

Tabla 4: estadística descriptiva de los conjuntos de datos (7 sitios de Jun. 2006 a Nov.2007) de TSM bajo análisis.

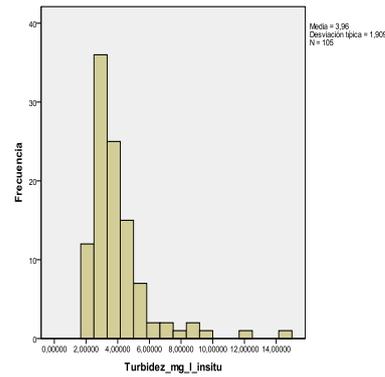
La unidad con la que se obtienen los datos in-situ de materia en suspensión es unidad nefelométrica de turbidez (NTU).

Para convertirlas a  $mg/l$  se aplica la siguiente regresión  $TSM=0,607*NTU + 1,86$  basada en las mediciones de sonda multiparamétrica y determinación de materia en suspensión en muestras obtenidas en la zona de estudio en el periodo de 2003-2006 por el ISMAR (Istituto di Scienze Marine) de Italia (La correlación entre ambos conjuntos de datos fue del 55%)

Una vez convertidas, se aprecia que la distribución de la variable registrada por el sensor remoto y aquella registrada por la sonda in-situ, no es Normal (Gráfico 14 a y b).



Graf. 14 a: distribución original de TSM sensada por MERIS ( $g/m^3$ )



Graf. 14 b: distribución original de TSM sensada por sonda multiparametrica (mg/l)

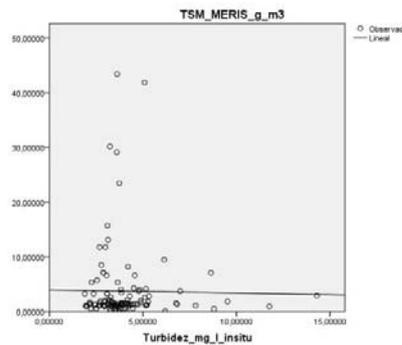
Se procedió a transformar las variables con la aplicación de logaritmo en base 10 para observar si la normalización de las variables mejoraba la correlación entre las mismas, sin embargo no se observaron mejores asociaciones con la aproximación de los datos a la distribución normal.

La correlación entre las mediciones in-situ de TSM y los valores de la salida para materia en suspensión del algoritmo de los pixeles correspondientes a las coordenadas de las estaciones de muestreo es solo del 8.9%. Al igual que en la concentración de clorofila-a, las unidades de medida de la concentración de materia en suspensión son equivalentes entre el sensor remoto ( $g/m^3$ ) y las mediciones in-situ (mg/l).

Nuevamente, como sucede con la Clorofila-a, al observar la siguiente ecuación de regresión lineal

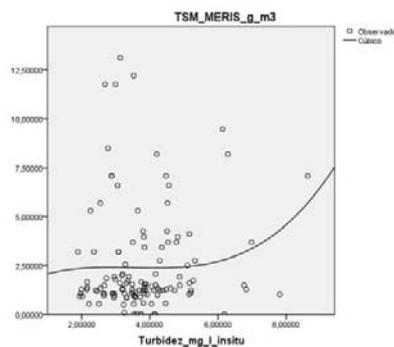
$$TSM_{Insitu} = 1,722 + 0,200 * TSM_{meris}$$

se advierte la sobrestimación de los datos medidos por MERIS con respecto a los valores obtenidos por la sonda in-situ en el valor de la constante, que vuelve a adquirir un valor cercano a los dos desvíos estándar. En adición, la baja exactitud entre las mediciones de ambos sistemas se observa en la escasez de pendiente, con el valor de 0.2 (Gráfico 15).



Graf. 15: regresión lineal entre datos in-situ y MERIS para concentración de materia total en suspensión

Mediante diferentes estimaciones curvilíneas, se obtuvo que el mejor ajuste para las mediciones in-situ de TSM y los valores del sensor remoto, corresponde a una curva cúbica con una correspondencia del 13% en los datos ( $R = 0.136$ ) (Gráfico 16).



Graf. 16: la regresión cúbica con un  $R = 0.136$  es el mejor ajuste entre datos in-situ y MERIS para concentración de materia total en suspensión

## 2.5 Temperatura Superficial del Mar (Sea Surface Temperature, SST)

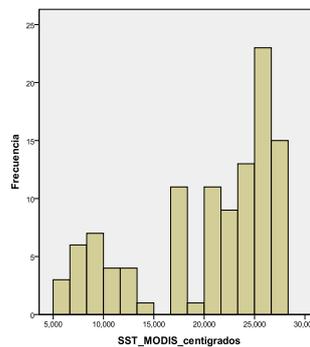
Tabla 5: Estadísticos descriptivos de los conjuntos de datos (7 sitios de Jun. 2006 a Nov.2007) para temperatura superficial del mar de

	N	Rango	Mínim o	Máxim o	Media	Desv. típ.	Varianza
SST_MODIS_centi grados	108	22,819	5,487	28,306	20,32410	6,8375 72	46,752
SST_Sonda_centi grados	126	19,33	9,00	28,33	20,3147	5,5526 4	30,832

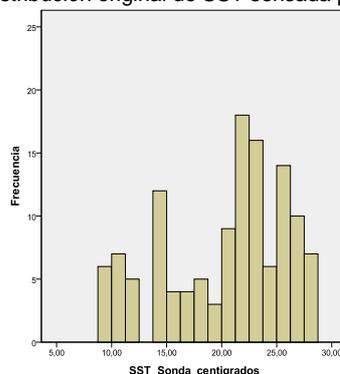
MODIS (SST\_MODIS\_centigrados) y la de las campañas de muestreo (SST\_Sonda\_centigrados)

La variable ambiental sensada por el instrumento MODIS a bordo del satélite Aqua (SST\_MODIS\_centigrados) y aquella obtenida en las campañas de muestreo (SST\_Sonda\_centigrados) presentan la siguiente estadística descriptiva (Tabla 5) para un total de datos de 108 y 126, respectivamente. A diferencia de las otras dos variables (clorofila-a y materia total en suspensión) se aprecia una similitud mayor entre los valores de media, varianza y rango obtenidos para la temperatura in-situ y del sensor remoto.

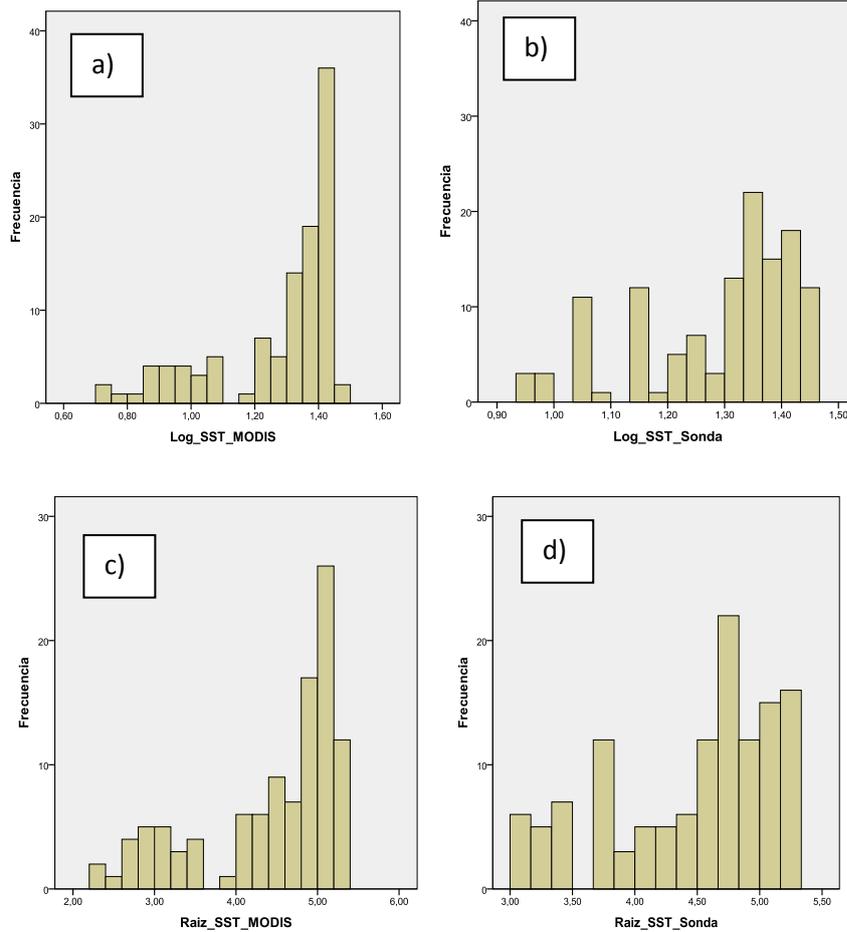
Debido a que ninguno de los conjuntos de mediciones de temperatura superficial del mar presenta originalmente una distribución Normal (Gráfico 17 a y b), se les aplicó a ambos una transformación logarítmica ( $\log_{10}$ ) y a su vez de raíz cuadrada. Sin embargo, no se obtuvieron los efectos esperados sobre la distribución de las mediciones (Gráfico 18 a, b, c y d).



Graf. 17 a: distribución original de SST sensada por MODIS (°C)



Graf. 17 b: distribución original de SST sensada por sonda multiparamétrica (°C)

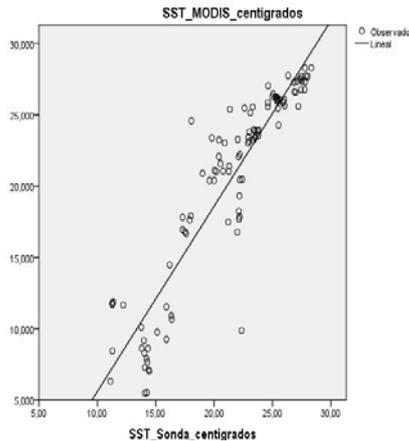


Graf. 18: Distribución de la temperatura superficial del mar por MODIS luego de aplicar logaritmo en base 10 y raíz cuadrada(a y c) y de temperatura superficial del mar medida por sonda multiparametrica luego de aplicar logaritmo en base 10 y raíz cuadrada (b y d).

A pesar de la ausencia de normalidad en la distribución de las mediciones de temperatura, la correlación entre ambas alcanza el 91,9% ( $p < 0.01$ ) (Tabla 6; Gráfico 19). Esto es, existe un 92% de correspondencia entre los valores del conjunto de datos de temperatura superficial del mar obtenidos por la sonda multiparametrica in-situ para el primer metro de la columna de agua para cada sitio de muestreo en cada salida a campo y los valores de cada pixel asociados a las coordenadas de esos sitios en la fecha de adquisición.

		SST_Sonda_centigrados
SST_MODIS_A_centigrados	Correlación de Pearson	<b>,919</b>
	Sig. (bilateral)	,000
	N	126

Tabla 6: 92% de correlación entre las mediciones por sonda multiparametrica y MODIS



Graf. 19: correlación entre temperatura superficial del mar del sensor MODIS (SST\_MODIS\_centigrados) y aquella obtenida en las campañas de muestreo (SST\_Sonda\_centigrados)

El error medio cuadrático tiene un valor de 7,33, descripto como la diferencia promedio entre los valores observados (por sensoramiento remoto) y los esperados (posterior a la regresión in situ). Es un valor de ajuste aceptable considerando que el rango de temperaturas medidas es mayor a los 19 °C.

## 2.6 Concentración de vibrios

La variable concentración de Vibrios se subdivide en concentración de vibrios en muestras de agua (VC\_Wat), concentración de vibrios adheridos a plancton (VC\_Plank), concentración de vibrios en sedimentos (VC\_Sed) y Vibrio\_Total, como la suma entre VC\_Wat y VC\_Plank.

La unidad de concentración es MNP (indica el número más probable de bacterias presentes en la muestra) por ml (VC\_Wat) por litro (VC\_Plank) y por g (VC\_Sed).

En la tabla 7 se detallan los estadísticos descriptivos de las divisiones.

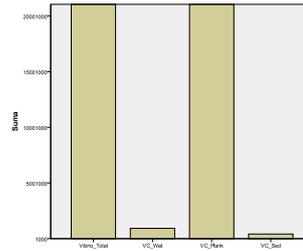
	Rango	Media	Desv. típ.	Varianza
Vibrio_Total	63000014	1,33E+06	5,99E+06	3,59E+13
VC_Wat	105000	7373,4083	19000,9477	3,61E+08
VC_Plank	63000000	1,32E+06	5,99E+06	3,59E+13
VC_Sed	165100	3325,1159	16759,6122	2,81E+08

Tabla 7: Estadísticos descriptivos de concentraciones de vibrios

En el extracto de tabla debajo (Tabla 8), al igual que en el gráfico de barras a su lado (Gráfico 20), se aprecia una mayor contribución al total de vibrios presentes en la muestra por parte de los vibrios adheridos al plancton.

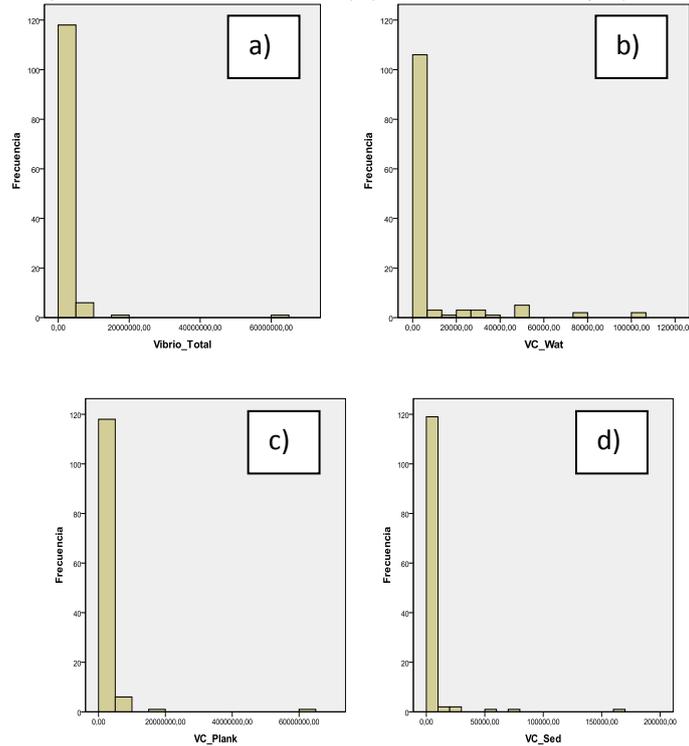
	Presencia_Vibrios	especie_vibrio	Vibrio_Total	VC_Wat	VC_Plank	VC_Sed
1	Y	VP	1331000,00	51000,00	1280000,00	4242,00
2	Y	VP	746900,00	6900,00	740000,00	165100,00
3	Y	VP	2000,00	510,00	1490,00	990,00
4	Y	VC	740270,00	270,00	740000,00	8,00
5	N	N	31521,00	21,00	31500,00	990,00
6	Y	VP	7451000,00	51000,00	7400000,00	,0
7	Y	VP	486450,00	6450,00	480000,00	,0
8	Y	VP	16939,00	424,00	16515,00	,0
9	Y	VC	740072,00	72,00	740000,00	500,00
10	Y	VP	3060,00	660,00	2400,00	240,00

Tabla 8: se aprecia una mayor contribución al total de vibrios presentes en la muestra por parte de los vibrios adheridos al plancton (VC\_Plank) que el resto de las bacterias en el agua y adheridos a sedimentos (VC\_Wat y VC\_Sed)



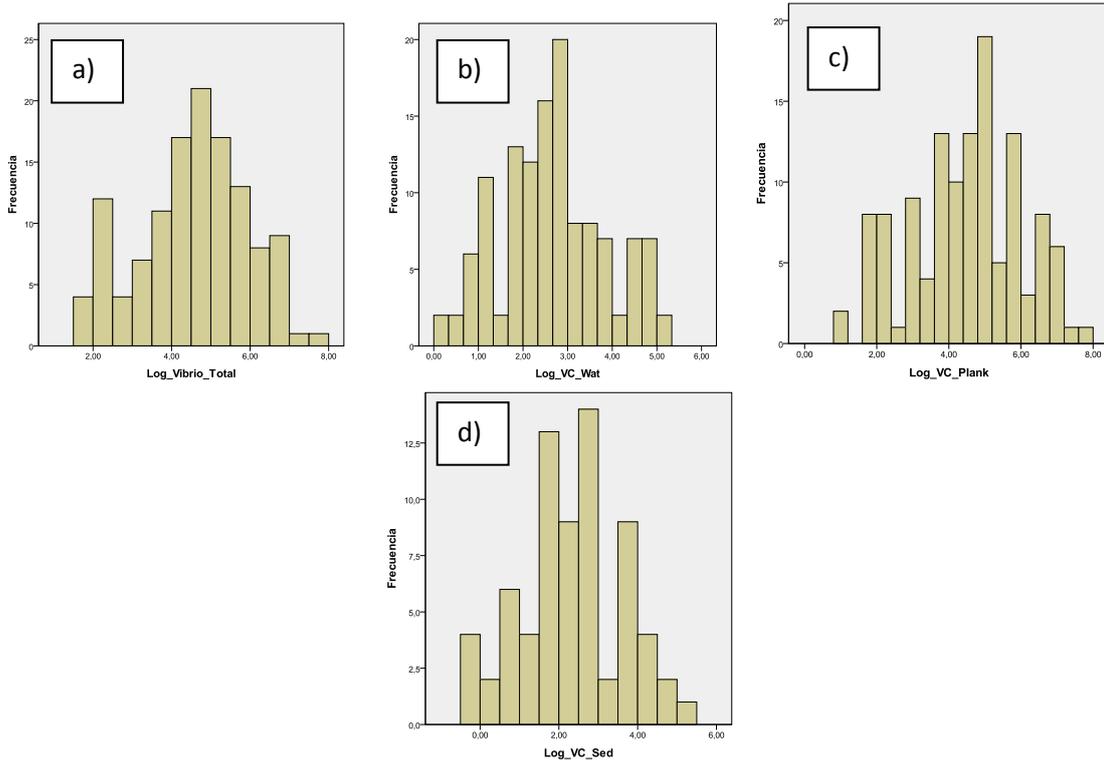
Graf. 20: gráfico de barras que describe una mayor contribución al total de vibrios presentes en la muestra por parte de los vibrios adheridos al plancton (VC\_Plank) que el resto de las bacterias en el agua y adheridos a sedimentos (VC\_Wat y VC\_Sed)

Ninguna de estas concentraciones presenta una distribución Normal dentro del conjunto de muestras que se evalúa (años 2006 y 2007, para 7 sitios de muestreo) (Gráfico 21 a, b, c y d).



Graf. 21: Distribución original de la concentración de Total (a) dispersos en el agua (b), adheridos al plancton (c) y en el sedimento (d).

Del mismo modo que se realizó con el resto de las variables, con las concentraciones de vibrios también se procedió a aplicar nuevamente transformación logarítmica que plantea una distribución más normalizada estas variables (Gráfico 22 a, b, c y d).



Graf. 22: : Distribución de la concentración de Total (a) dispersos en el agua (b), adheridos al plancton (c) y en el sedimento (d) luego de aplicar logaritmo en base 10 a los datos

## 2.7 Conclusiones

Al analizar el conjunto total de datos de cada variable, se observa que los datos obtenidos por el sensor remoto MERIS, sea tanto para la concentración de clorofila-a y materia en suspensión, poseen variabilidad alta y asimismo sobreestiman en valores alrededor del doble los valores obtenidos in-situ.

La correspondencia entre los datos de este sensor remoto y aquellos obtenidos en el campo de estudio es muy baja, lo que impide la estimación remota de las mencionadas variables con MERIS.

Las causas de esta escasa correspondencia dato in-situ/dato -sensor remoto pueden ser varias, por ejemplo, el tamaño del pixel involucrado en la medición remota (300 metros) puede poseer internamente información que resulte de la mezcla de tierra y agua al estar en zonas costeras (Figura 17, recuadro coral).

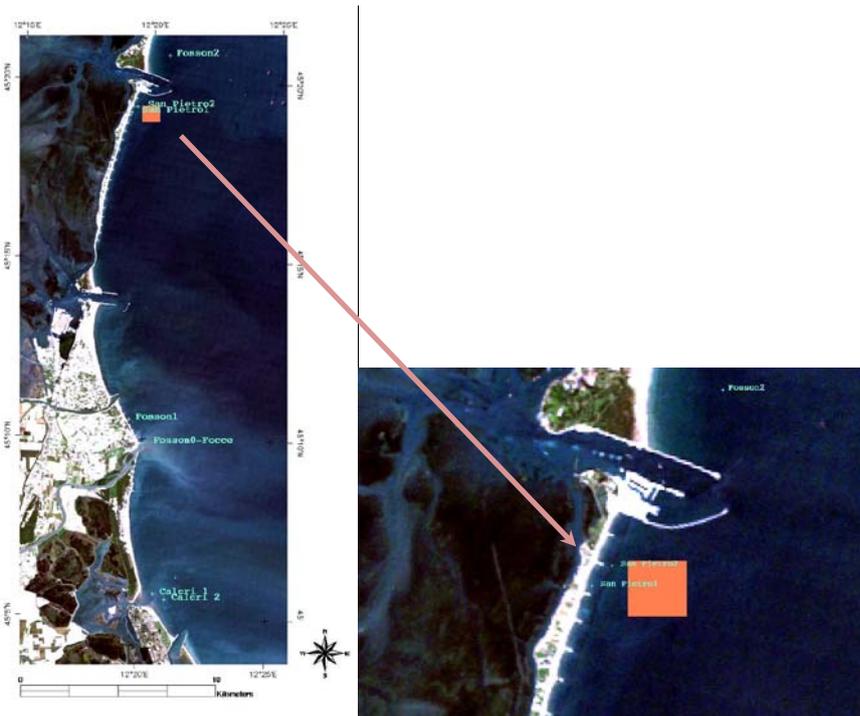


Fig. 17: tamaño de pixel del sensor MERIS (recuadro coral) en comparación a la posición y distancia de los sitios de muestreo. A la derecha, un acercamiento a las estaciones San Pietro 1 y 2.

Esta sobrestimación de los valores in-situ y su escasa relación con MERIS ha sido ya reportada en la zona de estudio por los resultados del proyecto VibrioSea (Reporte CLS, 2007). En el mismo, a su vez, se observó la baja correlación de otro sensor del color del océano, MODIS, con la concentración de clorofila-a. Existe un cierto número de hechos generales a tener en cuenta cuando se evalúa la correlación entre mediciones in-situ y de sensoramiento remoto de clorofila-a.

En primera instancia, las escalas de medición pertenecen a diferentes órdenes de magnitud: mientras que las mediciones in-situ utilizan en promedio uno o dos litros de agua, la medición por sensores remotos cubre hectáreas completas, promediadas en la capa superficial del cuerpo de agua.

Luego, las mediciones in-situ extraen los pigmentos algales del interior de la célula, cuando el sensor remoto obtiene sus mediciones del alga completa y todo el conjunto de pigmentos que ella posee.

Asimismo, debido a la velocidad en la variación de las condiciones del sitio de muestreo, por ejemplo las del Mar del Norte, las muestras in-situ y las satelitales solo tienen una pequeña ventana temporal en la cual son directamente comparables, de una duración tan pequeña como de una hora, constituyendo éste un criterio dificultoso de cumplir.

Es importante además contar con suficientes estaciones de datos para lograr una comparación significativa entre las mediciones de ambos sistemas (Atlas of Chlorophyll-a concentration for the North Sea based on MERIS imagery of 2003, Capítulo 11).

Sin embargo, la variable temperatura superficial del mar, presenta una buena asociación entre las medidas realizadas en el campo y los datos de MODIS.

Nuevamente esta relación fue ya observada para el mismo sensor y la misma variable, por el proyecto VibrioSea en la zona de estudio (Reporte CLS, 2007).

El grado de correlación es un resultado importante ya que a lo largo del año, la proliferación del plancton demuestra una clara dependencia estacional con la temperatura del mar. Asimismo, si la temperatura superficial del mar aumenta y este incremento favorece la proliferación anómala de plancton, también lo hacen las bacterias adheridas: la mayor concentración de Vibrios aumenta las posibilidades de infección a humanos (Lipp et al., 2002).

Estudios previos han demostrado una fuerte relación entre la abundancia de *Vibrio* spp y condiciones ambientales como temperatura, salinidad y adhesión a organismos planctónicos (Lipp et al. 2003, Louis et al. 2003, Maugeri et al. 2004).

## 3. Capítulo 3

Análisis de la variación espacial y temporal de la Temperatura Superficial del Mar, Clorofila-a y Materia Total en Suspensión

### 3.1 Introducción

Como se menciona en la introducción, la clorofila y otros factores biológicos presentan una variación cíclica circa-estacional (figura 6). Por dicha razón, en el presente capítulo se realiza un análisis temporal de las tres variables obtenidas por sensado remoto de tal modo de obtener un panorama de las posibles asociaciones entre las variables medidas in situ y aquellas observadas por sensores. Asimismo el análisis estadístico de las variables permite apreciar la presencia de tendencias estacionales

Por lo anterior, los objetivos de este capítulo son

- Describir el conjunto de datos obtenidos a lo largo de 2 años por diversos sensores de RS y la variación de los datos de campo siguiendo la partición estacional del año y la de los sitios de muestreo.
- Medir el grado de correspondencia entre los datos medidos por RS y las mediciones en campo para el contenido de clorofila, materia en suspensión y temperatura de superficie del mar a lo largo de las estaciones del año y sitios de muestreo.

A modo de analizar en las tres variables la variación temporal, se agrupó en 7 factores a las estaciones del año incluidas en el periodo bajo análisis (años 2006-2007, sin incluir los 5 primeros meses del año 2006 ya que el muestreo en campo empezó en una fecha posterior a esa estación).

Asimismo, se analizaron las tres variables en búsqueda de variación espacial, razón por la cual los sitios de muestreo también se reunieron en otros 7 factores correspondientes a las estaciones de Caleri 1, Caleri 2, San Pietro 1, San Pietro2, Fosson 0, Fosson 1 y Fosson 2.

Se realizó el análisis de diferencias de medias no paramétrico de Kruskal-Wallis, para determinar la posible similitud o diferencia en las variables analizadas entre estaciones del año y sitios de muestreo.

### 3.2 Clorofila-a

#### **3.2.1 Comparación Estacional:**

La gran variabilidad de los datos medidos por el sensor MERIS no permite hallar diferencias significativas en la concentración del pigmento fotosintético entre las estaciones del año ( $p=0.864$ ;  $\chi^2: 2.540$ ).

Aunque existen discrepancias entre los resultados de ambos sistemas de mediciones (in-situ y remoto), la variación estacional de la variable es captada por ambos sistemas de mediciones (Gráfico 23 a y b).

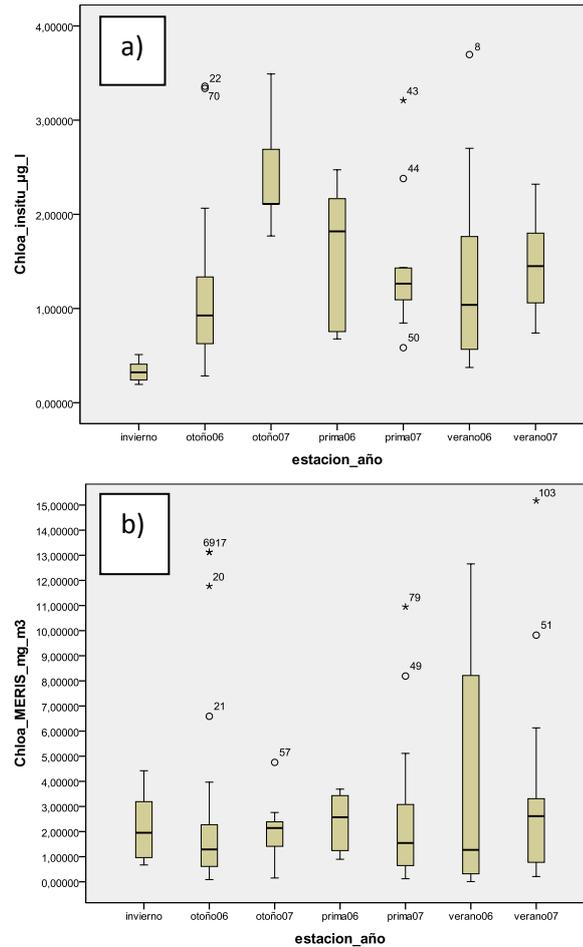
En el otoño 2006 ( $media_{meris}: 2.69mg/m^3$ ;  $varianza_{meris}: 3.86$ ) y en el invierno 2007 ( $media_{meris}: 2.19mg/m^3$ ;  $varianza_{meris}: 2.18$ ) tanto la media como la variabilidad observadas son mayores en el caso del sensor MERIS.

Al contrario en el verano del 2006, otoño 2007 y ambas primaveras, las medias son similares sin embargo la variabilidad discrepa bastante entre ambos sistemas.

En el verano 2007 se sobreestima la media por parte del sensor remoto, alcanzándose una variabilidad también mayor ( $media_{meris}: 3.22 mg/m^3$ ,  $varianza_{meris}: 14.424$ ;  $media_{insitu}: 1.45 mg/m^3$ ;  $varianza_{insitu}: 0.216$ ) (Fig xx).

El sistema de medición por sonda refleja diferencias entre los valores de las estaciones de un año con respecto al siguiente. Es así que la sonda registra un cambio en la concentración de clorofila-a entre otoño de 2006 y otoño 2007. Esa diferencia de valores no es advertida por MERIS. Probablemente el cambio en la concentración de clorofila-a se deba a un cambio en la temperatura del aire que afectó la temperatura del mar en la zona.

Ese cambio de la temperatura del aire se midió in-situ entre diciembre del 2006 y Febrero del 2007 y luego en Abril del 2007. La temperatura del aire en ese periodo fue mayor que el máximo mensual histórico, en consecuencia se produjo un aumento en la primer mitad del año 2007 en la temperatura del agua (ARPAV; [www.arpa.veneto.it/acqua/htm/documenti.asp](http://www.arpa.veneto.it/acqua/htm/documenti.asp)).

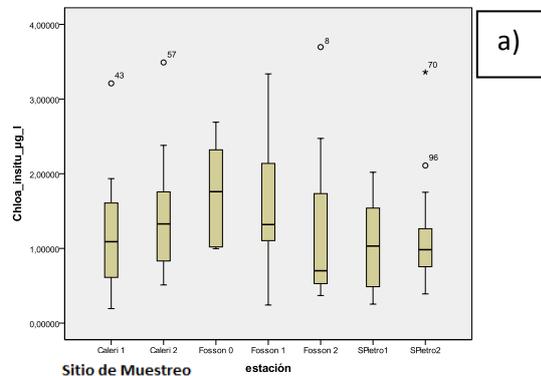


Gráf. 23: Variación estacional de clorofila-a; a) datos medido in-situ, b) datos del sensor MERIS para las diferentes estaciones del año. La diferencia de escalas en el eje Y se debe a la sobre-estimación en general de los datos de MERIS.

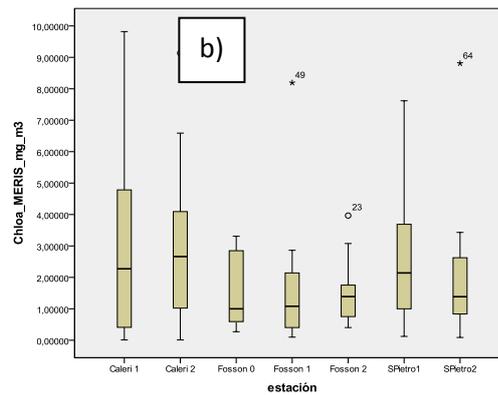
### 3.2.2 Comparación Espacial:

Cuando se evalúan las características de cada sitio de muestreo (agrupando todas las observaciones del periodo 2006-2007 por cada sitio), los datos de MERIS no evidencian diferencias significativas en los valores del algoritmo Algal II, correspondientes a los sitios de muestreo ( $p=0.64$ ;  $\chi^2: 4.224$ ).

En Caleri 1 y Caleri 2 al igual que San Pietro 1 y 2, MERIS sobreestima las medias, en relación a los datos in situ, y presenta mayor variabilidad que las otras estaciones (Gráfico 24 a y b).



Gráf. 24 a): Variación entre sitios de muestreo de clorofila-a datos medidos por sonda multiparametrica



Graf. 24 b): Variación entre sitios de muestreo de clorofila-a datos del sensor MERIS a lo largo de los dos años de muestreo.

La diferencia de escalas en el eje Y en ambos gráficos se debe a la sobre-estimación en general de los datos de MERIS.

### 3.3 Temperatura Superficial del Mar

#### 3.3.1 Comparación Estacional:

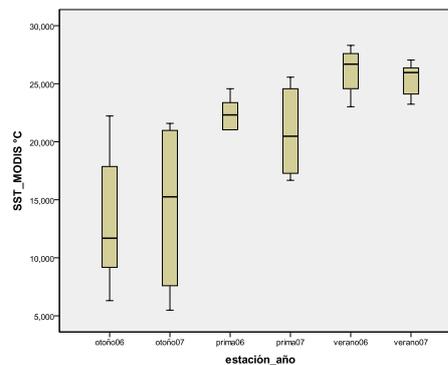
El sensor remoto (MODIS, para esta variable), encuentra diferencias significativas entre las estaciones del año ( $p=0$ ;  $\chi^2$ : 80.4).

A lo largo de las estaciones del año, la temperatura superficial del mar de MODIS alcanza los valores mayores razonablemente durante la temporada estival en ambos años superando los 25 °C y los valores mínimos en el invierno del 2007 (9.42°C).

Sin embargo la mayor variabilidad ocurre en la estación otoñal, con un rango de datos aproximadamente de 15°C, seguida por la primavera, rango aproximado de 5°C. (Gráfico 25)

Un hecho resaltable es la mayor temperatura promedio (15°C) en el año 2007 que en la misma estación del año precedente (alrededor de los 12°C), sucediendo lo mismo con la estación primavera.

Las imágenes correspondientes a la estación invernal presentan una alta cobertura nubosa, razón por la cual dicha estación no se plantea en el gráfico 26.



Graf. 25: Variación estacional de la temperatura superficial del mar, datos del sensor MODIS para las diferentes estaciones del año.

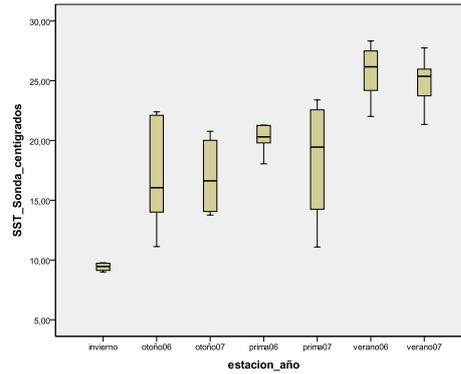
Se establecieron tres grupos entre las estaciones, de acuerdo al diagrama de cajas superior, para realizar un ensayo de Mann-Whitney.

Como resulta esperable, existen diferencias significativas respecto de la temperatura superficial del mar entre verano y primavera ( $U: 0,74$ ,  $p<0.01$ ;) entre verano y otoño ( $p<0.01$ ;  $U: 0$ ) y entre otoño y primavera ( $U:107$ ,  $p<0.01$ ;).

No existen diferencias significativas entre otoño del 2006 y 2007( $U: 177$  $p=0.933$ ;) , ni tampoco entre las primaveras de esos mismos años ( $U: 0,29$  $p=0.512$ ;) . Sin embargo si existe entre las estaciones estivales ( $U: 208$  $p=0.09$ ;) .

Igualmente, la temperatura superficial del mar in-situ muestra los mayores valores en el verano (aproximadamente 25°C) y los menores durante el invierno (aproximadamente 9°C) (Gráfico 26).

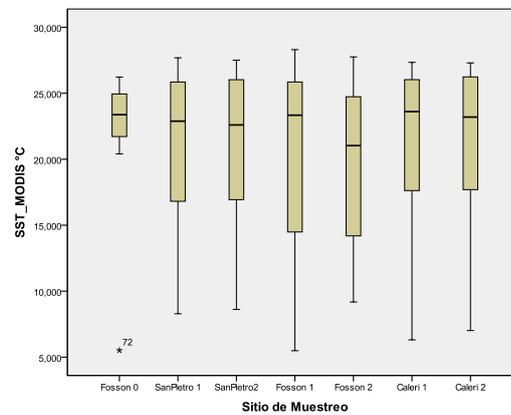
Nuevamente la mayor variabilidad ocurre durante las estaciones de otoño y primavera, si bien la diferencia en la media de temperatura observada entre el otoño y primavera del 2006 y el 2007 con MODIS no se aprecia en las mediciones realizadas en in-situ.



Graf. 26: Variación estacional de la temperatura superficial del mar, datos de la sonda multiparametrica para las diferentes estaciones del año

### 3.3.2 Comparación Espacial:

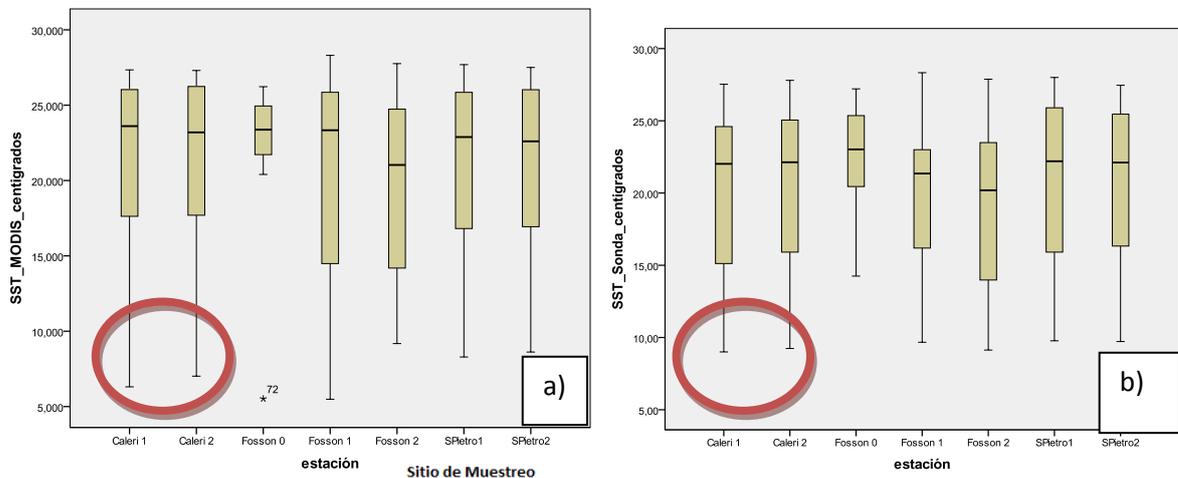
MODIS no registra diferencias significativas entre las mediciones de temperatura superficial del mar en los sitios de muestreo ( $p=1$ ;  $\chi^2$ : 0.224). Esta ausencia de diferencia se aprecia incluso entre las estaciones Fosson 0 y Fosson 2 (U: 33,  $p=0.618$ ) (Gráfico 27).



Graf. 27: Variación entre sitios de muestreo de datos de temperatura superficial del mar del sensor MODIS a lo largo de los dos años de muestreo.

Las estaciones de muestreo presentan variabilidad de la temperatura medida in situ como por sensor; la media de ambas se mantiene entre los 20 y 25 grados, en todos los sitios de muestreo. El patrón general se mantiene tanto en el sensado remoto como en el registro in-situ.

Las estaciones Caleri 1 y 2, San Pietro 1 y 2, poseen un comportamiento muy similar entre las dos variables medidas in situ y por el sensor (Gráfico 28 a y b).



Graf. 28: Variación entre sitios de muestreo de datos de temperatura superficial del mar del sensor MODIS a) y de la sonda multiparamétrica b). Los círculos granate señalan a las estaciones Caleri 1 y 2, San Pietro 1 y 2 que poseen un comportamiento muy similar para las mediciones in situ y por MODIS

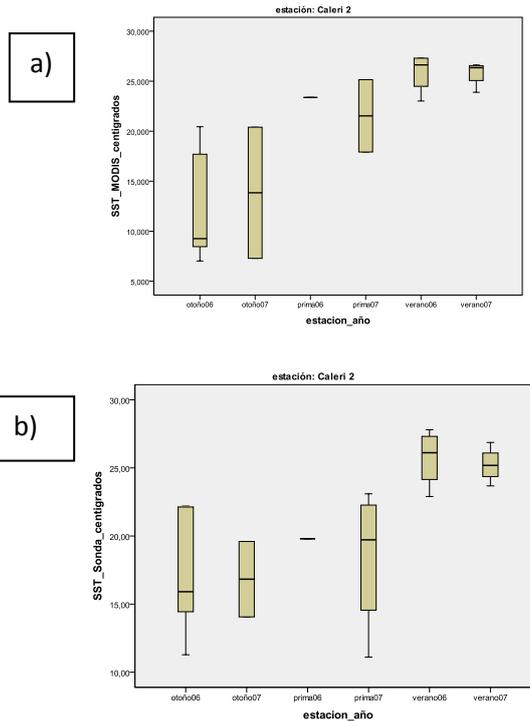
El comportamiento durante las estaciones del año, varía entre cada estación de muestreo y a su vez, en lo que el sensor MODIS y la sonda multiparamétrica registran.

Las estaciones Caleri 1 y Caleri 2, muestran mediciones similares en el verano, quizás por su cercanía geográfica (Gráfico 29 a y b).

Para todas las estaciones los patrones medidos por ambas fuentes son similares, con algunas consideraciones:

En la primavera la media de temperatura es menor in-situ si bien la variabilidad que MODIS y la sonda captan alcanza los mismos valores.

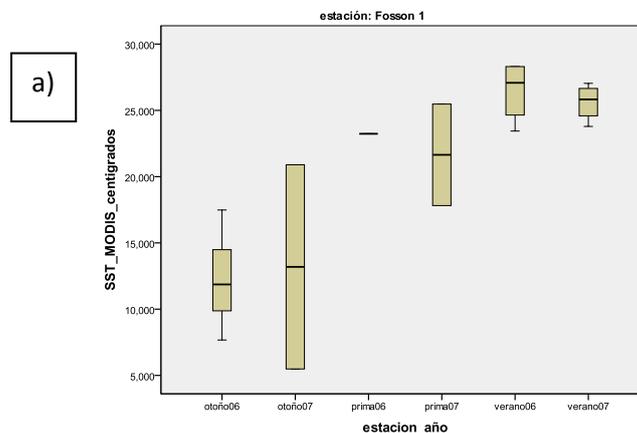
Al contrario, la medición es mayor in situ en otoño, MODIS capta una diferencia en medias de un año a otro que la sonda no registra.

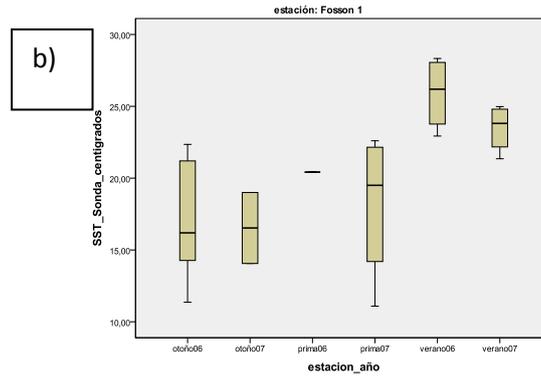


Graf. 29: Variación estacional del sitio de muestreo Caleri 2 como se midió por MODIS (a) y mediante sonda multiparamétrica (b), muy similar a Caleri 1 (gráfico no mostrado) posiblemente por su cercanía geográfica.

Fosson 1 es una estación que si bien presenta un comportamiento bastante dispar para ambos sistemas de medición, registra el mismo comportamiento planteado para todas las estaciones: primavera con media menor in situ aunque la variabilidad captada por sonda y sensor remoto no es la misma (Gráfico 30 a y b).

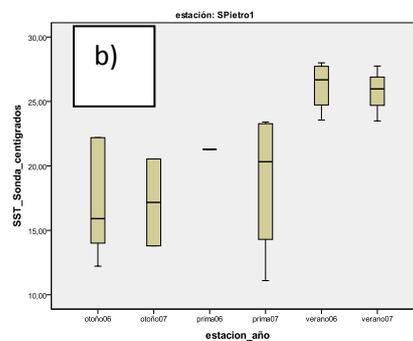
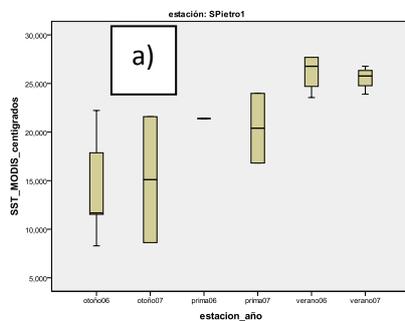
En otoño la medición es mayor in situ, MODIS capta una diferencia en medias de un año a otro que la sonda no registra.





Graf. 30: Variación estacional del sitio de muestreo Fosson 1 como se midió por MODIS (a) y mediante sonda multiparametrica (b) enseñando la disparidad en la variabilidad captada por ambos sistemas de medición

San Pietro 1 y San Pietro 2 son dos estaciones muy cercanas entre sí. Para cada sistema, MODIS y sonda, presentan el mismo patrón con medias y desviaciones muy similares. Sin embargo, la sonda capta variabilidad mayor en la primavera que MODIS, si bien la media es de 20°C para ambos. Nuevamente MODIS registra diferencia en las medias entre los dos años de muestreo.

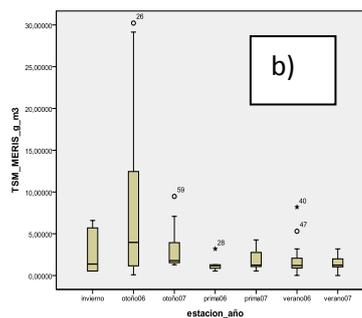
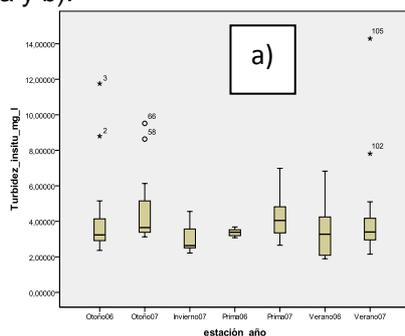


Graf. 31: Variación estacional del sitio de muestreo San Pietro 1 como se midió por MODIS (a) y mediante sonda multiparametrica (b) enseñando la disparidad en la variabilidad captada por ambos sistemas de medición

### 3.4 Materia en Suspensión

#### 3.4.1 Comparación Estacional:

Utilizando los datos censados por MERIS, se detectan diferencias significativas entre las estaciones del año, respecto de la materia en suspensión en la zona costera de interés ( $p=0.021$ ;  $\chi^2$ : 14.967) (Gráfico 32 a y b).



Graf. 32: Variación temporal de la materia total en suspensión a lo largo de las estaciones de los años 2006 y 2007 medida por sonda multiparametrica a) y por MERIS b). La diferencia en los valores del eje de las abscisas se debe a la sobreestimación de valores por parte de MERIS

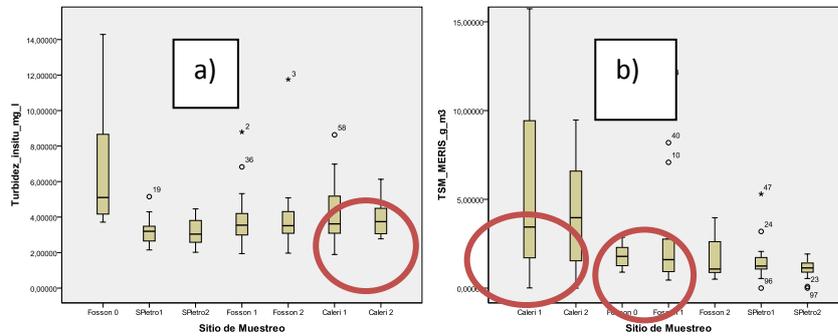
En el análisis temporal, los otoños de ambos años son diferentes a las primaveras ( $U$ : 302;  $p$ : 0.005) y a su vez de los veranos ( $U$ : 344;  $p$ : 0.001). Sin embargo no se detectan diferencias significativas entre la primavera y el verano, respecto de la materia en suspensión ( $U$ : 409;  $p$ : 0.467).

La media en la medición con sonda se mantiene relativamente constante (no desciende de 3 ni supera los 4 mg/ml). La varianza es mayor durante el otoño (aproximadamente 5 mg/ml) y el verano. Los valores mayores de media ocurren en otoño con respecto a MERIS. Durante el otoño del 2006, se registró un valor superior a lo esperado (9.973 g/m<sup>3</sup>) con una varianza amplia (162 g/m<sup>3</sup>).

No registra diferencias significativas entre las estaciones de un año al año siguiente, es decir, entre el otoño del 2006 y del 2007 (U: 138; p: 0.747), entre los veranos de 2006 y 2007 (U: 445; p: 0.279) y entre las primaveras de ambos años (U: 142; p: 0.945).

### 3.4.2 Comparación Espacial:

Sin embargo, se aprecian diferencias significativas entre los sitios de muestreo ( $p=0.005$ ;  $\chi^2$ : 18.622).



Graf. 33: Variación de la materia total en suspensión por sitios de muestreo medida por sonda multiparametrica a) y por MERIS b). Los círculos granate señalan a los sitios de muestreo con diferencias significativas entre ellos en los valores de turbidez

Caleri 1 y 2, son significativamente diferentes de Fosson 1 y 2 (U: 296; p: 0.015) y también de Fosson 0, San Pietro 1 y 2 (U: 306; p: 0). Por el contrario, Fosson 1 y 2 no presentan diferencias con Fosson 0, San Pietro 1 y 2 (U: 585; p: 0.412).

Respecto a las medidas in situ, Fosson 0 muestra valores muy elevados de TSM y una gran variación de los datos.

### 3.5 Conclusiones

Al realizar un análisis temporal de las tres variables obtenidas por sensado remoto se observa que la temperatura superficial del mar para ambos sistemas de medición alcanza razonablemente sus valores máximos en la temporada estival y los mínimos en la invernal. La variabilidad y el patrón de la SST es la misma para el sensor remoto y la sonda in-situ, sea para las estaciones del año, como para la variación particular de cada sitio de muestreo.

Un hecho a destacar es que MODIS registra diferencias de un año a otro en las medias de temperatura y si bien para ambos sistemas de medición las medias son similares, la sonda registra mayor variabilidad para la variable.

Las estaciones con mayor proximidad geográfica (Caleri 1 y 2 y San Pietro 1 y 2) son aquellas con mayor similitud en sus medias y variabilidad de SST.

MODIS no registra diferencias significativas entre las mediciones de temperatura superficial del mar en los sitios de muestreo. Esta homogeneidad entre los sitios de muestreo fue ya registrada con valores de campo por Carbulotto et al., 2010,

En lo referente a la materia total en suspensión, la sonda registra constancia estacional de la misma, si bien tanto en otoño y verano se registra la mayor variabilidad. De acuerdo a este sistema, Fosson 0 (Foce) es el sitio de valores medios y variabilidad, mayores, teniendo en cuenta que es un sitio en la desembocadura del río Adige.

MERIS registra diferencias pequeñas entre las estaciones del año y a su vez capta en otoño la media mayor. Para este sistema de medición Caleri 1 y 2 son sitios diferentes en relación a la media y variabilidad de TSM.

En relación a la concentración de clorofila-a. MERIS no registra variabilidad estacional en esta variable. Ambos sistemas de medición captan una gran variabilidad en los valores de los datos, razón que impide observar un ciclo estacional en la concentración del pigmento fotosintético. La sonda alcanza a reflejar una diferencia entre las concentraciones de un año y el sucesivo y si bien los sistemas no captan diferencias significativas entre los sitios de muestreo, aquellos que están más próximos entre sí, presenta media y variabilidad similares, del mismo modo que sucede con la TSM.

En trabajos previos, Carbulotto et al., 2010, hallaron dos picos en la concentración de clorofila-a, correspondientes a la época de mayor temperatura del mar, sin embargo en el presente capítulo esa variación cíclica no se observa. Este hecho ya fue reportado por los resultados preliminares del proyecto VibrioSea, si bien en este capítulo se aprecia un aumento en la variabilidad durante la temporada estival para MERIS y para los datos in-situ ocurre lo propio en verano y otoño.

En este capítulo, solo se analiza la variación durante 2006 y 2007 de las variables medidas en campo con su correspondiente variable remota, el análisis de la variación estacional de Vibrios fue realizado por Carbulotto et al., 2010. En dicho trabajo se reporta que los vibrios dispersos en el agua alcanzan su pico de concentración durante los veranos.

La concentración de vibrios adheridos a plancton es homogénea entre los distintos sitios de muestreo y a su vez presenta una distribución temporal similar a la de los vibrios dispersos en el agua.

En dicho trabajo también se realizó un análisis de agrupación de los sitios por distintas variables oceanográficas y por la concentración de vibrios en los mismos. Es así que, Fosson 0 posee mayoría de vibrios adheridos al plancton. En otro grupo se encontró a los sitios Caleris y Fosson con mayor concentración relativa de vibrios dispersos en el agua y finalmente los sitios de San Pietro con concentraciones similares a aquellas de Fosson 0 de vibrios unidos a plancton y en el agua.

## 4. Capítulo 4

Análisis de la tendencia espacial de las variables bio-físicas.

## 4.1 Introducción

Si se acepta la noción de una realidad externa, las observaciones de los datos espaciales, se aprecian como una función de la variabilidad espacial subyacente  
Lo anterior podría expresarse en la siguiente ecuación:

$$Z(x) = f(Y(x); S)$$

Donde:

Z(x): la variable en observación

Y(x): la propiedad subyacente

S: el marco de relevamiento

Al momento de considerar una variable Z(x) en función de la distancia h, se pueden identificar diferentes fuentes de variación:

- 1) Por una tendencia o función,
- 2) Por variación auto-correlacionada,
- 3) Por variación al azar.

Cuando los datos a analizar se originan de las mediciones realizadas por un sensor remoto, se presenta un caso particular en el cual los elementos del marco de relevamiento (tamaño, esquema y densidad de observaciones) no son todos igualmente relevantes. Generalmente el único componente susceptible de ser variado en un cierto nivel es la resolución espacial.

Desde el punto de vista de la estadística espacial, es necesario considerar la relación existente entre píxeles de una imagen. Un supuesto fundamental que establece que existe una tendencia a que dos mediciones vecinas (muy cercanas) de una misma variable sean más similares que aquellas más distantes. A esto se le llama auto-correlación espacial (o sea una variable correlacionada con ella misma en diferentes posiciones del espacio) determinada por la variación subyacente al marco de relevamiento (Stein, Freek van der Meer y Ben Gorte, 2002).

La hipótesis a considerar de esta sección del capítulo es que las medidas tomadas a campo de clorofila-a, materia en suspensión y temperatura superficial del mar al igual que sus equivalentes de sensoramiento remoto, varían con cierto condicionamiento del movimiento de las masas de agua (corrientes). De acuerdo al tipo de proceso subyacente, la dependencia espacial puede variar desde mm hasta km.

Es posible que la separación entre estaciones de muestreo (en metros o Km) sea mayor al límite de dependencia espacial. Tal vez las estaciones de muestreo fueron seleccionadas teniendo en cuenta este concepto.

Es igualmente probable que algunas variables (sustancias medidas) tengan mayor dependencia espacial que otras: por ejemplo que la clorofila tenga mayor grado de dependencia en un gradiente espacial Norte-Sur, que la materia en suspensión.

Asimismo, el diseño del muestreo contempla factores que son “disruptivos” de algún gradiente esperado, como por ejemplo la desembocadura de un río modifica el gradiente de variación esperado por la acción de una corriente marina o un simple proceso de difusión en el agua.

Por lo anteriormente citado, el objetivo del capítulo es establecer la posible autocorrelación espacial entre los sitios de muestreo en ambos años de estudio (2006 y 2007) y a su vez tratar de identificar posibles factores que alteren la continuidad espacial a lo largo de las estaciones del año.

## 4.2 Metodología

Un primer paso constaría de la observación de la variación espacial de la zona de interés mediante alguna función como, por ejemplo, un semivariograma (o variograma) que brinda información sobre la variación en las mediciones de clorofila, temperatura superficial del mar o materia en suspensión, entre sitios de muestreo que estén a cierta distancia entre ellos.

El variograma se genera en función de la semi-varianza, es una herramienta para la medición de la continuidad espacial o autocorrelación, (segunda fuente de variación) y se expresa como:

$$\gamma_h = 1/2N_h \sum (Z_i - Z_{i+h})^2$$

Donde:

- $2N_h$  es la cantidad de pares de datos separados por la distancia  $h$  (o  $x$  en nuestro caso),
- $Z_{i+h}$  es la variable  $Z$  desplazada de la posición  $i$  por la distancia  $h$ .

Es decir, se define como la mitad del promedio cuadrado de las diferencias entre los valores separados por una cierta distancia  $h$ .

Valores pequeños de la semi-varianza indican que los dos valores medidos son similares, mientras que varianzas grandes indican gran independencia (o variación) de los puntos separados por esa distancia ( $h$ ).

La semivarianza puede graficarse en función de diferentes distancias entre pares de puntos, constituyendo el Variograma, que idealmente posee la siguiente forma (Figura 18):

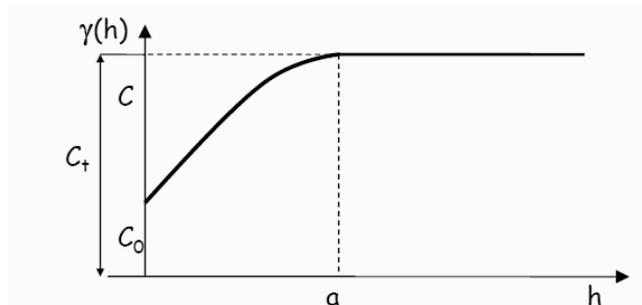


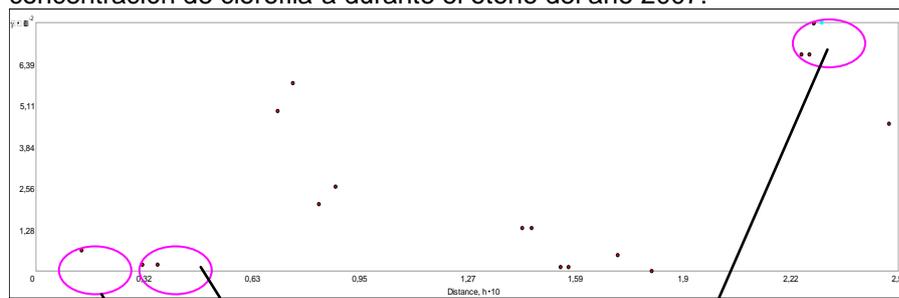
Fig. 18: forma tradicional de un Variograma, donde se grafica la semivarianza en función de diferentes distancias entre pares de puntos

En concordancia con el supuesto de auto-correlación espacial, el semivariograma demuestra que los puntos muy próximos varían de manera similar (es decir, poseen una semi-varianza pequeña) y aquellos pares de puntos separados por una distancia mayor varían de manera independiente entre ellos.

En el presente capítulo, se analiza cada punto del semivariograma como un par de estaciones de muestreo separados por una cierta distancia.

En el eje de las abscisas aparece la semivarianza (indicando la diferencia entre puntos) y en el eje de las ordenadas aparece la distancia geográfica entre dichos pares de puntos.

A modo de ejemplo, se enseña el siguiente gráfico (Gráfico 34) que constituye la salida que muestra el programa con el que se realiza el análisis (ARCGis 9.3.9). El caso expuesto son datos referentes a la concentración de clorofila-a durante el otoño del año 2007:



Graf. 34: gráfico de salida como semivariograma

En este caso, el punto rojo corresponde al par de estaciones cercanas (eje X muestra separación lineal) y de escasa diferencia, demostrado por su baja varianza.

Por otra parte, este punto enseña dos estaciones que están más lejos entre sí, pero son más parecidas entre sí que en el punto anterior

Finalmente, en este caso, el par de estaciones son las que están más alejadas entre sí (por distancia en el eje X) y a su vez son las más diferentes entre sí (por la altura que alcanza ese punto respecto del eje Y).

En resumen, mientras más cerca este un punto del origen de ambos ejes, significa que representa un par de estaciones que están muy cerca y asimismo son parecidas entre sí. Lo opuesto también es válido. La distribución de los puntos, o sitios de muestreo, a analizar a continuación se muestran en la figura 19, donde se aprecia la distribución Norte-Sur de los mismos, a lo largo de la costa norte del mar Adriático.



Fig. 19: distribución y denominación de las estaciones de muestreo analizadas durante el 2007. Se observa que las estaciones no están distribuidas de manera equidistante, sino en base a características costeras definidas, como la desembocadura de lagunas o ríos.

A continuación se realiza un análisis espacial del promedio general de los datos considerados por año, para luego analizar los promedios por estaciones anuales.

En la figura 19 debajo, muestran su variación de concentración de clorofila-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ); temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ); materia total en suspensión ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) al igual que en la concentración de vibrios en el agua (MPN/ml) y adheridos al plancton (MPN/L).

Los datos de concentración de clorofila-a, de materia total en suspensión al igual que los datos de temperatura superficial del mar son obtenidos de sensores remotos (los dos primeros del sensor MERIS y el último conjunto de datos del sensor MODIS).

Por el contrario, los datos sobre concentración de vibrios dispersos en el agua y la concentración de aquellos adheridos al plancton, son obtenidos de muestras de campo, analizadas posteriormente en las facilidades del laboratorio.

#### 4.3 Evaluación espacial del año 2007

La figura 20 muestra los resultados de las semivarianzas, al incluir en el análisis el promedio de todos los datos recavados durante el 2007, para la totalidad de las variables en cuestión.

Para los análisis siguientes se toma la siguiente convención en la simbología: clorofila-a (puntos verdes), de temperatura superficial del mar (puntos naranjas), de materia total en suspensión (puntos marrones), de concentración de vibrios en el agua (asteriscos rojos) y de concentración de vibrios adheridos al plancton (asteriscos verdes)



Fig. 20: distribución de las estaciones de muestreo con similares co-variaciones en sus valores analizadas durante el 2007 (imagen color real LANDSAT5 TM Abril 2010)

De acuerdo a la teoría de estadística espacial, pares de sitios que se encuentran mas cercanos deben tener una covarianza similar en las variables a analizar.

Tal es el caso de San Pietro 1 y San Pietro 2, estaciones geográficamente cercanas entre sí, del mismo modo que Caleri 1 y Caleri 2.

En promedio para el año 2007, a excepción de la concentración de vibrios adheridos al plancton, en el resto de las variables se observa una interrupción notable en las variaciones de sus valores de los pixeles y datos *in situ* correspondientes a los sitios de muestreo.

Si se observa la disposición de las estaciones de muestreo (figura 19), se esperaría que, por ejemplo, los sitios como Fosson 1 y 0 tuvieran similares co-variaciones en sus valores con Caleri 1 y 2 por ser aquellos conjuntos mas cercanos y que a su vez presentarían influencia del proceso sub-yacente de dilución en la matriz de agua, sin embargo, al contrario de lo que supone la teoría, sitios dispuestos en los extremos del muestreo son aquellos con similar co-variación en clorofila-a, en temperatura superficial del mar, en materia total en suspensión y en concentración de vibrios en el agua.

Es necesario destacar que Fosson 2, al norte de la ensenada de Lido, no presenta co-variación en común con ninguna otra estación del conjunto.

En total es observado es un sistema con variabilidad alta tanto entre sitios de muestreo cercanos y como lejanos entre si.

#### 4.3.1 Evaluación espacial del Otoño del 2007



Fig. 21: distribución de las estaciones de muestreo con similares co-variaciones en sus valores de concentración de vibrios en el agua (asteriscos rojos) y de concentración de vibrios adheridos al plancton (asteriscos verdes) analizadas durante el otoño del 2007 (imagen color real LANDSAT5 TM Abril 2010)

Si los datos se agrupan por cada estación del año, se puede observar en otoño del 2007 una variación espacial similar al promedio anual en los valores de clorofila-a, de temperatura superficial del mar y de materia en suspensión (Figura 21).

Sin embargo, la principal diferencia de esta estación con respecto a la variación de los valores de la totalidad del año, reside en la co-variación similar de los sitios en la desembocadura del río Adige (correspondiente a los sitios de muestreo Fosson 1 y 0) y los sitios de San Pietro con respecto a la concentración de vibrios dispersos en el agua.

Probablemente lo anterior se deba a que el Adige es un río con mayores descargas durante y la primavera, por lo cual durante el otoño la región no posee la salinidad muy disminuida y las bacterias no se adhieren a superficies que aseguren su supervivencia.

En cuanto a la concentración de vibrios adheridos al plancton durante el otoño, aquellos sitios con variación similar en dichos valores son San Pietro y Caleri. A diferencia del patrón anual, en esta estación del año, nuevamente sitios extremos de muestreo, separados por una gran distancia presentan co-variación en sus valores.

#### 4.3.2 Evaluación espacial de la Primavera del 2007



Fig. 22: distribución de las estaciones de muestreo con similares co-variaciones en sus valores de concentración de vibrios en el agua (asteriscos rojos) y de concentración de vibrios adheridos al plancton (asteriscos verdes) analizadas durante la primavera del 2007(imagen color real LANDSAT5 TM Abril 2010)

Nuevamente si los datos se agrupan por cada estación del año, la primavera en este caso, presenta una variación espacial similar al promedio anual en los valores de clorofila-a, de temperatura superficial del mar y de materia en suspensión (Figura 22).

Sin embargo, existe una diferencia de esta estación con respecto a la variación de los valores de la totalidad del año. Esta reside en la co-variación de valores de tanto concentración de vibrios dispersos en el agua y como adheridos al plancton, ya que son nuevamente sitios geográficamente alejados como San Pietro y Caleri aquellos que presentan variación similar para dichas variables.

#### 4.3.3 Evaluación espacial del Verano del 2007



Fig. 23: distribución de las estaciones de muestreo con similares co-variaciones en sus valores de concentración de vibrios en el agua (asteriscos rojos) y de concentración de vibrios adheridos al plancton (asteriscos verdes) analizadas durante el verano del 2007(imagen color real LANDSAT5 TM Abril 2010)

En verano del 2007 el patrón para las co-variaciones, de concentración de clorofila-a, de temperatura del mar y materia en suspensión, es el mismo que durante el análisis anual.

Como sucede durante la primavera y el otoño, la concentración de vibrios adheridos al plancton, presenta variación similar en sitios geográficamente alejados como San Pietro y Caleri (Figura 23).

A diferencia del resto del año, durante la estación estival, se halló co-variación similar en la concentración vibrios dispersos en el agua en todos los sitios de muestreo. Probablemente una mayor temperatura del agua, y una menor estratificación de la misma, favorece su dispersión.

En cuanto a la evaluación espacial del invierno del 2007, la estación invernal muestra el mismo patrón en la similitud de co-variaciones que la primavera.

#### 4.4 Evaluación espacial del año 2006

El mismo análisis espacial se practicó en el conjunto de los datos del año 2006, inicialmente tratandolos como un conjunto anual, para luego observar que sucede con los sitios a lo largo de las estaciones del mismo año.

Se debe aclarar que los muestreos en dicho año comenzaron en una fecha posterior a la finalización del invierno, razón por la cual de esa estación no se cuenta con los datos.

Al incluir en el análisis el promedio de todos los datos recavados durante el 2006, para la totalidad de las variables en cuestión, en rasgos generales, los resultados observados durante el año 2006 son similares a aquellos del 2007.

De acuerdo a las denominaciones exhibidas en la figura 18, la co-variación en los valores de temperatura superficial del mar, de materia total en suspensión y de concentración de bacterias del género *Vibrios* adheridos al plancton, es similar para las estaciones de San Pietro 1, San Pietro 2, Caleri 1 y Caleri 2 .

A diferencia del año 2007, los valores del algoritmo Algal II poseen variaciones similares solamente en las estaciones de Caleri 1 y Caleri 2, quizás podría deberse a los vientos Bora que usualmente arrastran la pluma del río Po a lo largo de la costa.

Estas últimas estaciones también presentan variaciones similares para la concentración de bacterias del género *Vibrios* en el agua.

##### 4.4.1 Evaluación espacial del Verano 2006



Fig. 24: distribución de las estaciones de muestreo con similares covariaciones en los valores de concentración de vibrios en el agua (asteriscos rojos) analizadas durante el verano del 2006 (imagen color real LANDSAT5 TM Abril 2010)

Durante la estación estival del 2006, a diferencia del año posterior, se observa la covariación en los valores de concentración de vibrios dispersos en el mar nuevamente entre sitios alejados como San Pietro y Caleri (figura 24).

Si bien en los mapas no se enseña, la estación Fosson 2 presenta valores similares a las estaciones San Pietro 1 y 2 para los valores de concentración de clorofila-a.

Durante la evaluación espacial el otoño del 2006 la similitud en la co-variación posee el mismo patrón que el observado en el promedio anual.

#### 4.4.2 Evaluación espacial de la Primavera 2006



Fig. 25: distribución de las estaciones de muestreo con similares covariaciones en los valores de concentración de vibrios en el agua (asteriscos rojos) analizadas durante la primavera del 2006 (imagen color real LANDSAT5 TM Abril 2010)

Durante la primavera del 2006 (Figura 25) se observa nuevamente el patrón anual en las estaciones que presentan co-variación similar, con la única diferencia residiendo en la covariación de la concentración de Vibrios dispersos en el agua que en este caso ocurre únicamente en sitios cercanos como lo son Caleri 1 y 2.

### 4.5 Conclusiones

En un análisis Cluster realizado in situ por Carbulotto et al 2010, las estaciones San Pietro 1 y 2 permanecieron en un único grupo con temperaturas intermedias, baja turbidez y alta salinidad, ambas poseen los valores más altos de salinidad (35.4 Unidades Prácticas de Salinidad o PSU). Esto se debe a que están bajo la influencia de las aguas provenientes de la laguna de Venecia y ésta, con el correr de los años ha sido sometida a la desviación de varios de los ríos que eran sus afluentes, en consecuencia en la actualidad no posee su carácter estuarino original.

Se puede advertir una característica en común entre Fosson 0 y Fosson 1 y es que ambas estaciones están sujetas a las variaciones del ambiente derivadas de su posición cercana a la desembocadura del río Adige, por lo que son diferentes del resto del conjunto de sitios de muestreo.

Asimismo son diferentes entre sí, probablemente por el hecho de una estar posicionada directamente sobre la boca del río y otra ser solamente influenciada por la pluma de sedimentos que de él se desprenden. In situ, la turbidez estuvo directamente relacionada a la desembocadura de ríos, y en consecuencia, también está relacionada a la salinidad del agua. Caleri 1 es la que mayor turbidez presenta, conjuntamente con Caleri 2 y Fosson 1 que a su vez presentan menor salinidad, por acción directa de aguas diluidas de los ríos Adige, Brenta y Po (Caburlotto et al., 2010).

La pluma que se desprende de la desembocadura del mencionado río, es susceptible a la advección y mezcla por vientos. Se mantiene atrapada por la estratificación y vientos que se mueven en dirección sur, que restringen su expansión fuera de la costa. De este modo se dispersa mucho más al norte y con mayor velocidad, que durante el resto del año.

Durante la primavera y el otoño se produce la mayor estratificación de agua en la zona. Asimismo el río Po, con variaciones estacionales en su descarga, posee los picos de descarga en ambas estaciones del año.

La salinidad tiene una correlación inversamente proporcional con la turbidez, la concentración de clorofila y la presencia de *Vibrios* en el agua. Fitoplancton y bacterias son más abundantes en aguas de salinidad menor (Caburlotto et al., 2010).

Por los resultados mostrados en el gráfico 34.b (ver capítulo 3) MERIS registra que es en las estaciones Caleri 1 y Fosson 1 donde la turbidez presenta valores mayores y mayor variabilidad. Por lo anterior sumado a la relación inversamente proporcional in situ de la turbidez y la salinidad del mar, no es de sorprender la presencia de vibrios en aquellas estaciones. Se debe aclarar que la familia Vibrionaceae es una que necesita de cierta salinidad para su supervivencia, teniendo en cuenta que estas bacterias son naturales de ambientes costeros.

La unión de Vibrios a plancton en las desembocaduras de ríos es una reacción a una disminución a la salinidad del agua, condición adversa para la supervivencia de estas bacterias, por lo cual las mismas se adhieren a superficies que puedan favorecer su supervivencia.

La zona de estudio tiene tres bocas de puertos, o ensenadas que regulan el flujo de mareas, estas son Lido, Malamocco y Chioggia. En estas bocas se están construyendo 79 compuertas móviles sumergidas en estas tres entradas del mar a la laguna de Venecia, como parte del Proyecto Moisés. Asimismo se están construyendo escolleras frente a las tres bocas, para interrumpir el paso del Sirocco, el viento proveniente del sur que arrastra las mareas. En adición se realizan obras de elevación de orillas de la ciudad y el relleno de los fondos de la laguna, previamente excavados por la industria. Si bien, la idea final es agilizar el desagüe de las tres bocas de la laguna, es probable que esto afecte la turbidez del sitio de muestreo.

Sin embargo, esta posibilidad no explicaría cual es la razón por la cual San Pietro 1 y San Pietro 2 permanecen indemnes a estas actividades.

De acuerdo a la teoría de estadística espacial, pares de sitios que se encuentran más cercanos deben tener una covarianza similar en las variables a analizar. Sin embargo, lo más notable es la co-variación similar de estaciones sumamente distantes entre sí. Esto sugiere que la dinámica de las variables medidas entre las distintas estaciones de muestreo no están influenciados (al menos no mayoritariamente) por el flujo de agua o corriente que suavice y mezcle procesos puntuales; sino por otros procesos que se ejercen mas localmente y que producen un patrón de variación similar en lugares sumamente distantes entre sí (resaltando que el patrón de variación no necesariamente implica las mismas medias o valores, sino el mismo grado de cambio).

En el conjunto de datos de ambos años analizados, se aprecia una constancia a lo largo de las estaciones del año en los sitios con co-variaciones similares. Esta constancia durante todo el año en las observaciones remotas de las variables concentración de clorofila-a, temperatura superficial del mar y materia en suspensión, puede ser explicada por la gran amplitud de las varianzas de esas variables. Por ejemplo (Tabla 9) para el sitio Caleri 1 en el otoño del 2007 los valores son los siguientes:

	Media Algal II	SD Algal II	Media TSM	SD TSM	Media SST	SD SST
Caleri1	5,18	8,99	4,27	3,72	14,55	8,89

Tabla 9: estadística descriptiva de Caleri 1 durante el otoño del 2007 indicando variabilidad alta para las variables biofísicas de interés.

Para el mismo sitio de muestreo, en primavera del 2007 los valores son los siguientes (Tabla 10) :

	Media Algal II	SD Algal II	Media TSM	SD TSM	Media SST	SD SST
Caleri1	9,96	16,01	2,75	1,21	4,49	30,32

Tabla 10: estadística descriptiva de Caleri 1 durante la primavera del 2007 indicando variabilidad alta para las variables biofísicas de interés

## 5. Capítulo 5

Análisis exploratorio de Firmas Espectrales de Laboratorio, Spectrascan y de CHRIS-Proba, para el área de Estudio.

## 5.1 Introducción

Como se menciona en la introducción, el área de estudio se caracteriza por pertenecer a la clasificación de aguas Caso-2, es decir aguas que por definición propia, poseen varios elementos o agentes principales productores de color que determinan sus propiedades ópticas. Diferentes componentes disueltos en el agua poseen, en su versión pura una firma espectral definida, pero con muestras obtenidas in situ, el análisis del perfil de absorbancia o reflectancia del agua puede variar notablemente, en parte en función de la composición de la misma.

El objetivo principal del presente capítulo es:

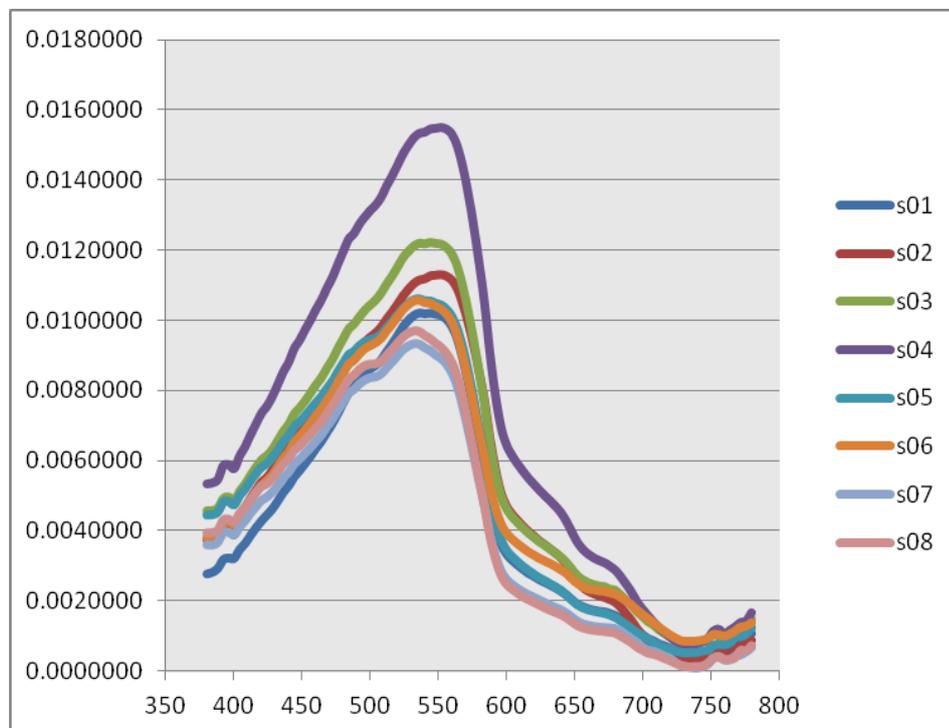
- Comparar la información sobre los agentes productores de color, como componentes del agua Caso-2 del área de estudio brindada por diferentes medios, sensor remoto hiper-espectral (CHRIS-Proba), espectrofotómetro de laboratorio y SpectraScan en las salidas de muestreo a la zona de estudio

En las campañas de muestreo realizadas en la zona de estudio durante el 19 de abril y el 28 de junio de 2010, se relevaron un total de ocho sitios. En todos ellos se midió la reflectancia de la superficie del mar con un SpectraScan. Asimismo, para cada muestra de agua se midieron sus características espectrofotométricas en laboratorio, en presencia y ausencia de fitoplancton.

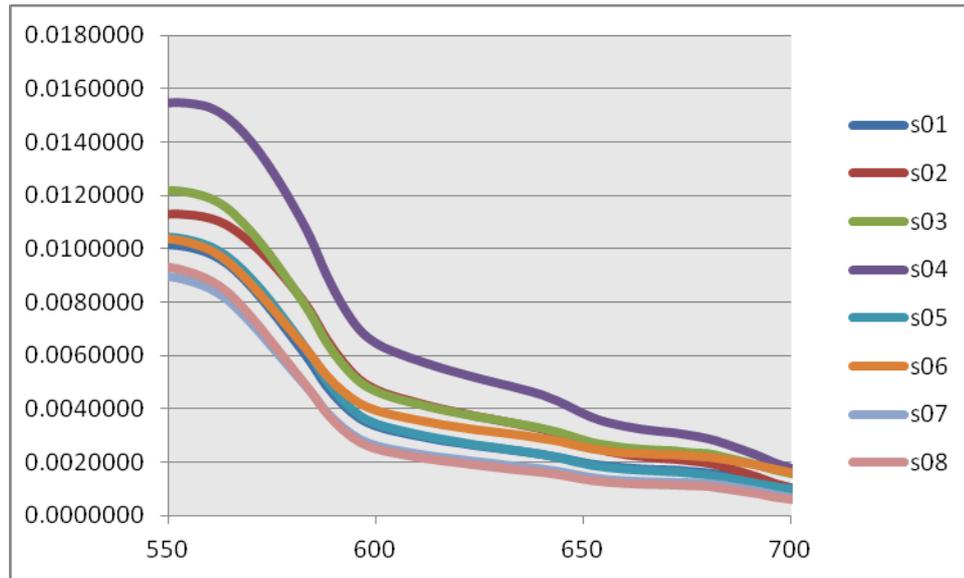
En la siguiente serie de gráficos (Gráficos 35 y 36) se enseñan las firmas espectrales obtenidas con el SpectraScan para cada uno de los sitios de muestreo en ambas campañas del 2010 (extraído de Lleo et al., 2010-Persistence of Vibrio in the marine coastal waters in relation to environmental factors and adhesion to phytoplankton: application and preliminary validation of complimentary innovative tools. Presentado en Vibrios in the Environment 2010-7-12 November 2010 Biloxi, Mississippi, USA)

La principal diferencia entre las firmas de cada campaña en la presencia de un pico de reflectancia a 680 nm de longitud durante el 28 de junio, mientras que el mismo no se observa en la campaña del 19 de abril del mismo año.

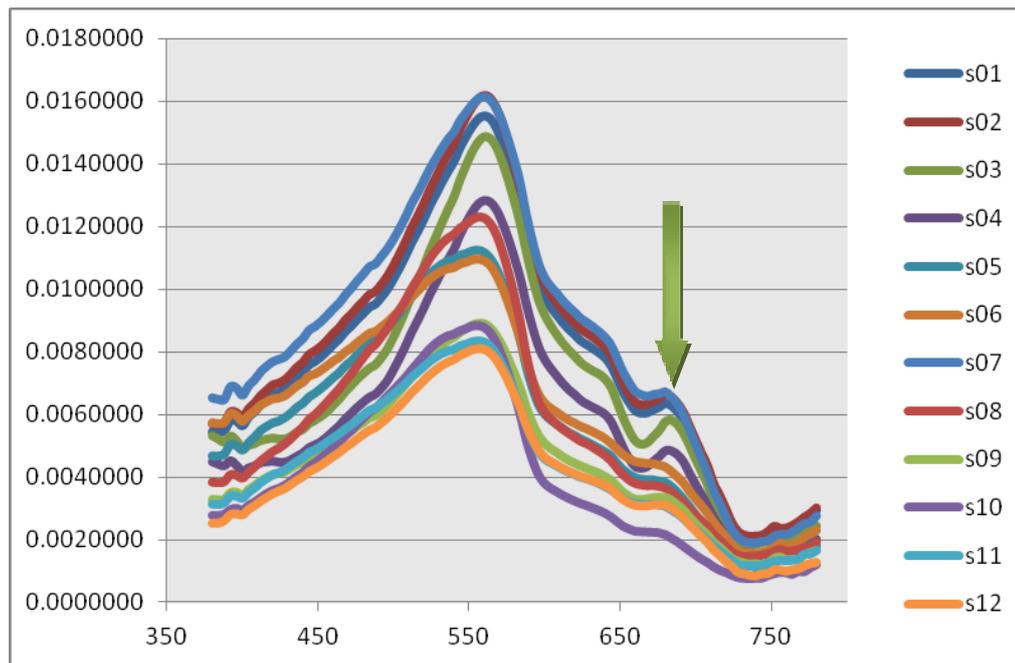
Finalmente, se analizó en laboratorio la muestra de agua proveniente del sitio Caleri 2 durante la campaña de junio. El espectrofotómetro indica la presencia de pico de clorofila-a en la longitud de 680 nm (Gráfico 38).



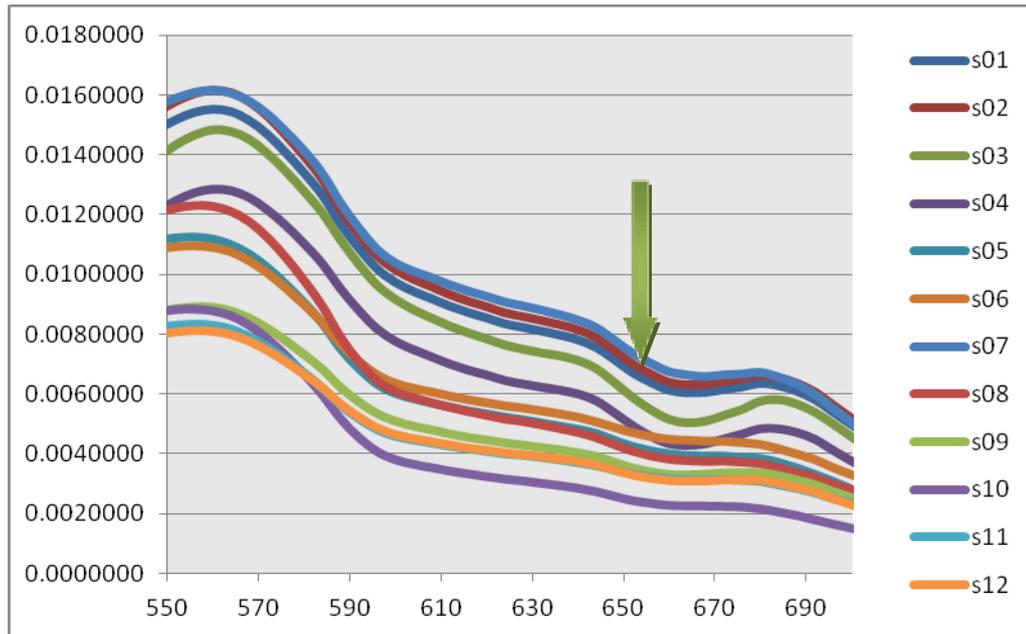
Graf. 35 a: Firmas espectrales correspondientes a la reflectancia observada en la campaña de abril de 2010. En el eje de las ordenadas la longitud de onda en nm y en el eje de las abscisas la reflectancia. s01, s02 son las denominaciones de las estaciones de muestreo donde se midió la reflectancia



Graf 35 b: Ampliación del gráfico 35a, indicando la ausencia del pico a 680 nm en las firmas espectrales de la campaña de abril de 2010. En el eje de las ordenadas la longitud de onda en nm y en el eje de las abscisas la reflectancia.



Graf. 36a: Firmas espectrales correspondientes a la reflectancia observada en la campaña de junio de 2010. En el eje de las ordenadas la longitud de onda en nm y en el eje de las abscisas la reflectancia. s01, s02 son las denominaciones de las estaciones de muestreo donde se midió la reflectancia



Graf 36 b: Ampliación del gráfico 36a, indicando la presencia del pico a 680 nm (flecha verde) en las firmas espectrales de la campaña de junio de 2010. En el eje de las ordenadas la longitud de onda en nm y en el eje de las abscisas la reflectancia

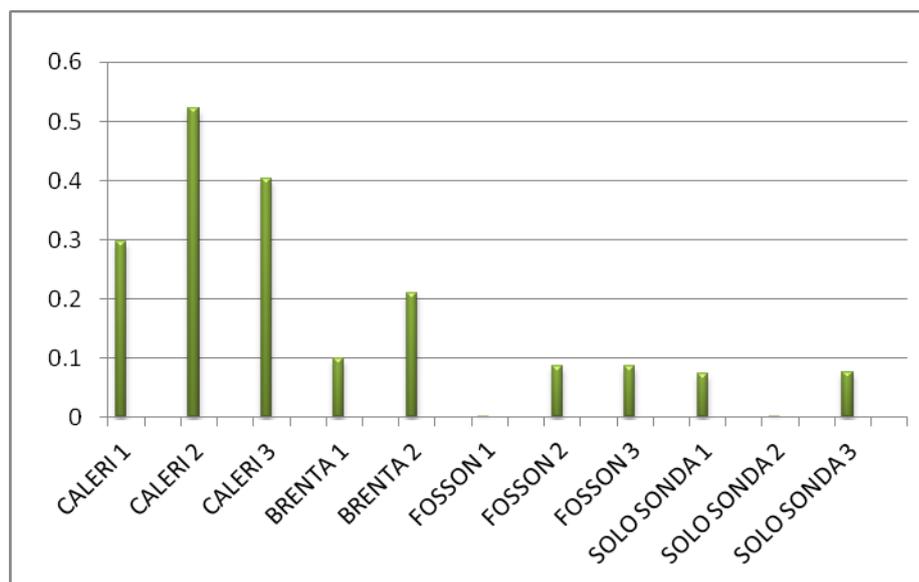
Luego de la extracción de pigmento de una muestra de un litro de agua, utilizando el método espectrofotométrico, se calculó la concentración de clorofila-a en el laboratorio basándose en la siguiente ecuación (Lazzara et al., 1990):

$$\text{Chl } a \text{ (}\mu\text{g dm}^{-3}\text{)} = [11.85 \cdot A(664) - 1.54 \cdot A(647) - 0.08 \cdot A(630)] \cdot v \cdot 103 / (co \cdot V)$$

donde

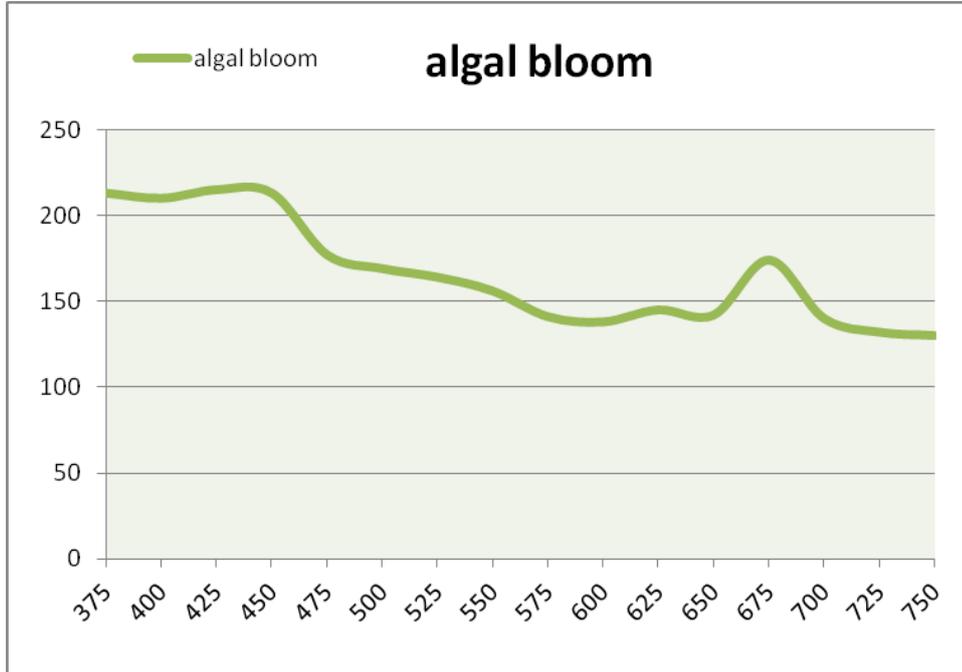
- A (664) = densidad óptica de la muestra a 664nm;
- A (647) = densidad óptica de la muestra a 647nm;
- A (630) = densidad óptica de la muestra a 630nm;
- co = camino óptico de la celda (cm);
- v = volumen del extracto (cm<sup>3</sup>);
- V = volumen de muestra filtrada (cm<sup>3</sup>).

De este modo, se obtuvo la concentración de clorofila-a para cada estación de muestreo durante la campaña de junio de 2010. Es así que Caleri 2, es el sitio de mayor concentración del pigmento (Gráfico 37) y a su vez, es aquel que a su vez posee mayor diversidad de especies de fitoplancton registradas.



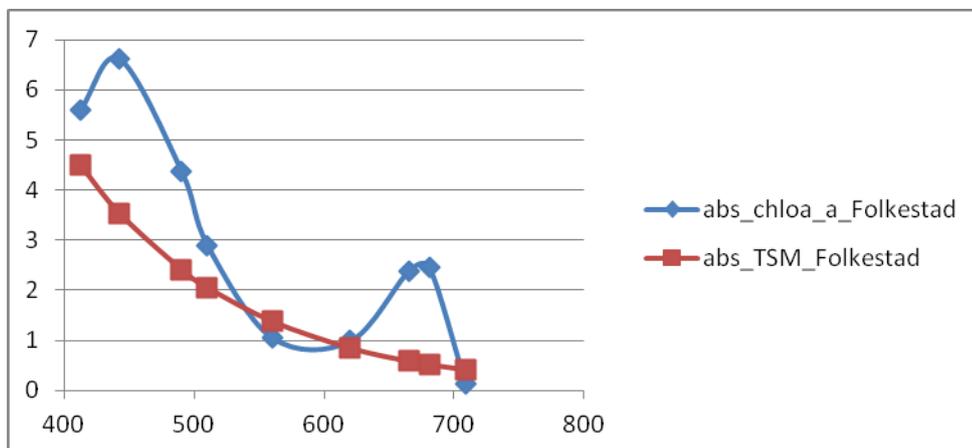
Graf. 37: Concentración de clorofila-a de cada sitio de muestreo monitoreado durante la campaña de junio de 2010. En el eje de las ordenadas se observan los sitios de muestreo y en el eje de las abscisas la concentración de clorofila-a (µg dm<sup>-3</sup>)

Se escogió Caleri 2 como muestra para analizar en laboratorio el agua proveniente del mismo sitio durante la campaña de junio. El espectrofotómetro indica la presencia de pico de clorofila-a en la longitud de 680nm (Gráfico 38)

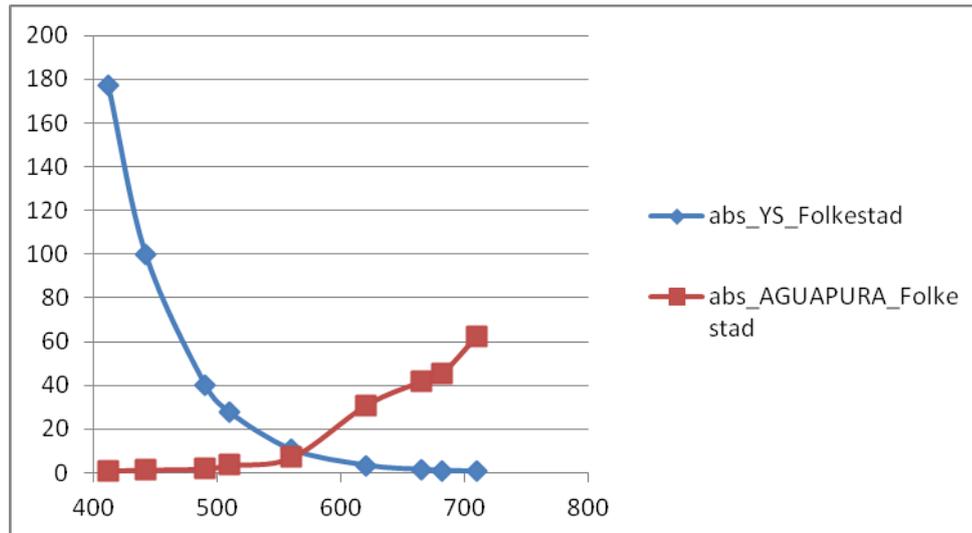


Graf. 38: Firma espectral obtenida con un espectrofotómetro de laboratorio del sitio Caleri 2 durante la campaña de junio de 2010. Se aprecia la presencia del pico de reflectancia a 680 nm

De acuerdo a Folkestad (2005) los siguientes (Gráfico 39 y 40) son los espectros del agua pura, de la sustancia amarilla, la materia en suspensión y la clorofila-a, de acuerdo a datos obtenidos *in situ* en una expedición por la costa del mar Noruego.



Graf. 39: firmas espectrales de la materia en suspensión y la clorofila-a, de acuerdo a datos obtenidos *in situ* en una expedición por la costa del mar Noruego. En el eje de las ordenadas las longitudes de ondas (nm) y en el eje de las abscisas la reflectancia



Graf. 40: firmas espectrales del agua pura y de la sustancia amarilla, de acuerdo a datos obtenidos in situ en una expedición por la costa del mar Noruego.  
En el eje de las ordenadas las longitudes de ondas (nm) y en el eje de las abscisas la reflectancia

En los anteriores gráficos, se aprecia un decrecimiento de la reflectancia tanto en la sustancia amarilla (YS) y en la materia en suspensión (TSM) con el aumento de la longitud de onda. La diferencia entre ambos es la escala y la velocidad de ese decrecimiento medido entre los 400 y 700nm.

Entre esas mismas longitudes de onda se aprecia que la clorofila-a presenta dos picos de reflectancia, en los 420nm y a los 675nm.

La presencia del pico de reflectancia de clorofila-a, depende de la interacción entre la absorción de la misma en conjunto con el agua, sumado al scattering de algas y la materia a sus alrededores. Asimismo la magnitud del pico depende de la concentración de la clorofila-a y de la materia en suspensión. Usualmente la posición del pico se desplaza hacia longitudes de onda mayores a medida que la concentración del pigmento aumenta (Mannheim et al., 2004)

A continuación se observan las firmas del agua en la zona costa de Venecia, observadas con el sensor CHRIS-Proba, que no muestran una clara tendencia. La zona se caracteriza por ser de aguas Caso-2 (remitirse a la introducción), aguas que por definición propia, poseen varios elementos o agentes principales productores de color que determinan sus propiedades ópticas.

En general, las firmas espectrales de los sitios de muestreo presentan dos picos uno cercano a los 440nm y los 560nm.

Utilizando imágenes registradas por el sensor CHRIS-Proba provistas por ESA de la misma manera que las imágenes del sensor MERIS, se pudo establecer la firma espectral de distintos sitios, si bien ninguno de ellos se corresponde exactamente con los sitios de muestreo de las campañas del 2010 ni tampoco con los del proyecto VibrioSea.

Los cuadros debajo sobre el mosaico de Google Earth de la laguna de Venecia, Italia, (Figura 26) corresponden a las zonas cubiertas por las imágenes utilizadas, siguiendo el orden de las fechas de adquisición:

- 03 Julio 2004
- 31 Mayo 2004
- 15 Mayo 2003

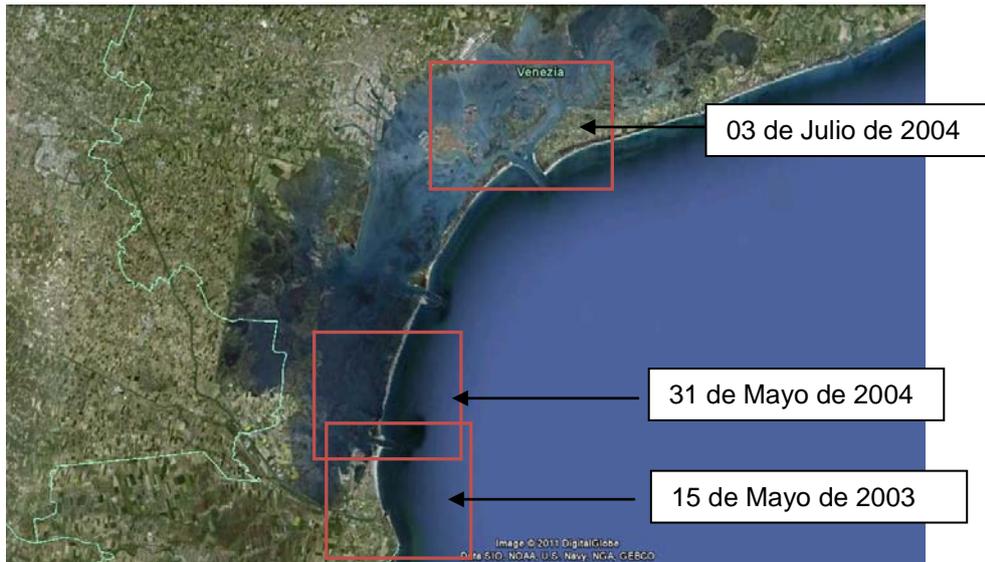


Fig. 26: localización de las imágenes adquiridas por CHRIS\_Proba y utilizadas en el análisis junto con sus respectivas fechas de adquisición

Para una mejor visualización de la información en el programa VISAT, las bandas se dispusieron en una combinación RGB de 12, 7, 1 (longitudes de onda de 680.7nm, 573.9nm, 410nm respectivamente) obteniendo un resultado similar a la visualización “color verdadero” del satélite LANDSAT. La amplitud del rango del espectro de las Chris-PROBA comienza en 410nm y alcanza los 1020nm. Para realizar el espectro se seleccionaron las siguientes bandas: 1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12,14. Las siguientes son sus longitudes de onda (Figura 27)

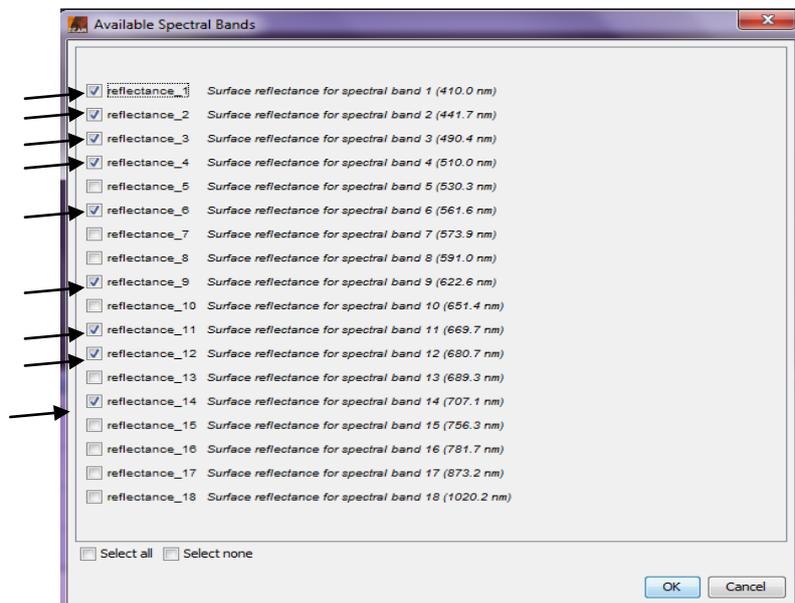


Fig.27: bandas de reflectancia de CHRIS-Proba utilizadas (señaladas por las flechas negras) y su longitud de onda media

Las mismas se escogieron por ser las más similares a aquellas del sensor MERIS y asimismo porque nos permiten la comparación con datos de trabajos previos

Las imágenes en formato HDF se geo-localizaron, se calibraron y se les aplico, si fuese necesario, un filtro de nubes según el procesador CHRIS ToolBox desarrollado por BEAM-ESA.

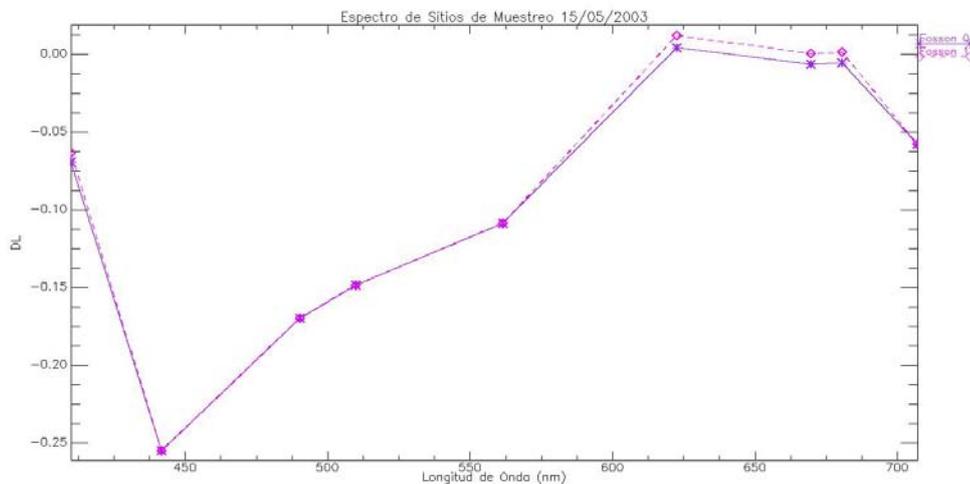
Posteriormente se exportó el espectro como un archivo delimitado por comas (.csv). La imagen abierta en el VISAT, se exportó como producto GeoTIFF y ambos fueron analizados posteriormente con el programa ENVI.

La información que brinda cada banda es la reflectancia a nivel de superficie y su unidad geofísica es dl.

Las imágenes de CHRIS-Proba tiene la siguiente notación: VN\_030515, es decir la imagen de la pasada del sensor por la laguna de Venecia el 15 de Mayo del 2003 (Figura 28). La siguiente es una imagen del programa VISAT de la zona de estudio cubierta por el sensor en dicha fecha.



Fig. 28: Imagen VN\_030515 de CHRIS-Proba, obtenida del procesador VISAT, cubriendo solamente los sitios de muestreo Fosson 0 y 1. La composición de bandas RGB de 12, 7, 1 (longitudes de onda de 680.7nm, 573.9nm, 410nm)  
El espectro (Gráfico 41) obtenido de ambos sitios es el siguiente:



Graf.41: firma espectral de Fosson 0 y Fosson 1 obtenida de VN\_030515

Podemos ver que entre los 410 nm y 560 nm ambos sitios poseen el mismo patrón y valores de reflectancia. Desde los 560nm hasta los 710nm los píxeles correspondientes a ambos sitios de muestreo siguen el mismo patrón pero la reflectancia en Fosson 1 es mayor.

La firma de la materia en suspensión, al igual que aquella de la materia amarilla, decrece desde los 400 hasta los 700 nm. Asimismo se advierte un pico a los 415nm, previo a la caída de la reflectancia, y un segundo pico a los 675nm. Por lo cual el crecimiento la forma general de la firma de Fosson 0 y Fosson 1 se debería a la presencia de clorofila-a. Al ser sitios de muestro ubicados en la desembocadura de ríos, éstos actúan suministrando nutrientes que posibilitan el crecimiento del plancton.

A continuación se enseña la VN\_040703 (Figura 29), es decir la imagen de la pasada del sensor por la laguna de Venecia el 03 de Julio del 2004.

La siguiente es una imagen del ENVI de la zona de estudio cubierta por el sensor en dicha fecha.

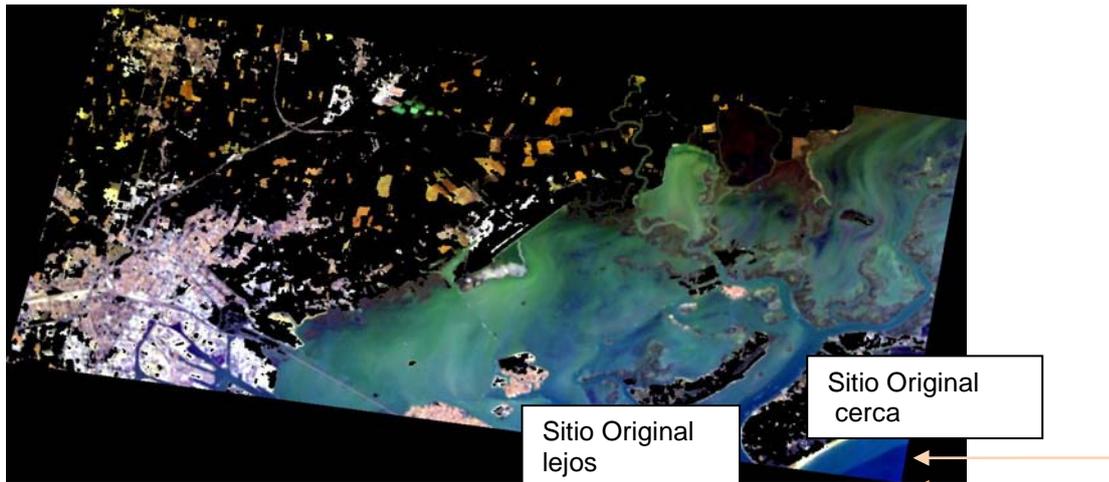
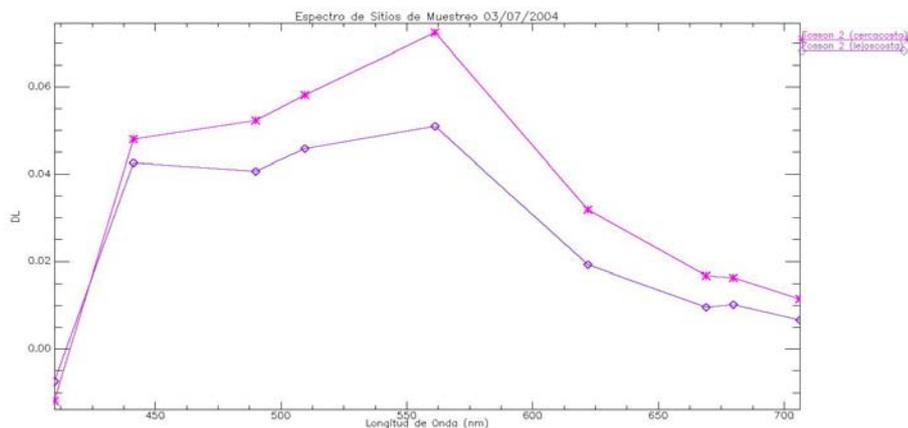


Fig.29: Imagen VN\_040703 de CHRIS-Proba, obtenida del procesador VISAT, no cubre sitios de muestreo. Se establecieron dos puntos uno más cercano y el otro más lejano a la costa. La composición de bandas RGB de 12, 7, 1 (longitudes de onda de 680.7nm, 573.9nm, 410nm)

Al observar la imagen anterior no existen sitios de muestreo cubiertos por la misma. Por dicha razón se tomaron 2 puntos de muestreo, uno cercano y otro más lejano a la costa. El espectro (Gráfico 42) obtenido de ambos sitios es el siguiente:



Graf. 42: firma espectral de Fosson 2 más cerca y más lejos de la costa obtenida de VN\_040703

Podemos ver que entre los 410nm y 710nm ambos sitios poseen el mismo patrón y valores de reflectancia. Se observa un pico a los 445nm, bastante tardío para ser el de clorofila-a. El segundo pico ocurre a los 560 nm y desde allí hasta los 710nm los pixeles de ambos sitios de muestreo siguen el mismo patrón de decrecimiento. En la totalidad de la firma, la reflectancia es mayor en el sitio más cercano a la costa, diferencia más manifiesta desde los 450nm. En la totalidad de la firma, la reflectancia es mayor en el sitio más cercano a la costa, diferencia más manifiesta desde los 450nm, por ser una zona poco profunda en la que la contribución a la reflectancia del efecto de los sustratos arenosos del lecho marino es más notoria. La ausencia del segundo pico de la firma de la clorofila-a, y la constante disminución de reflectancia luego de los 560nm, favorece la explicación de las propiedades ópticas del agua de la zona, por la materia en suspensión y la sustancia amarilla. Otra sección de la pasada de VN\_040703 (Figura 30), como la siguiente imagen del ENVI, cubre otra parte de la zona de estudio cubierta por el sensor en dicha fecha.

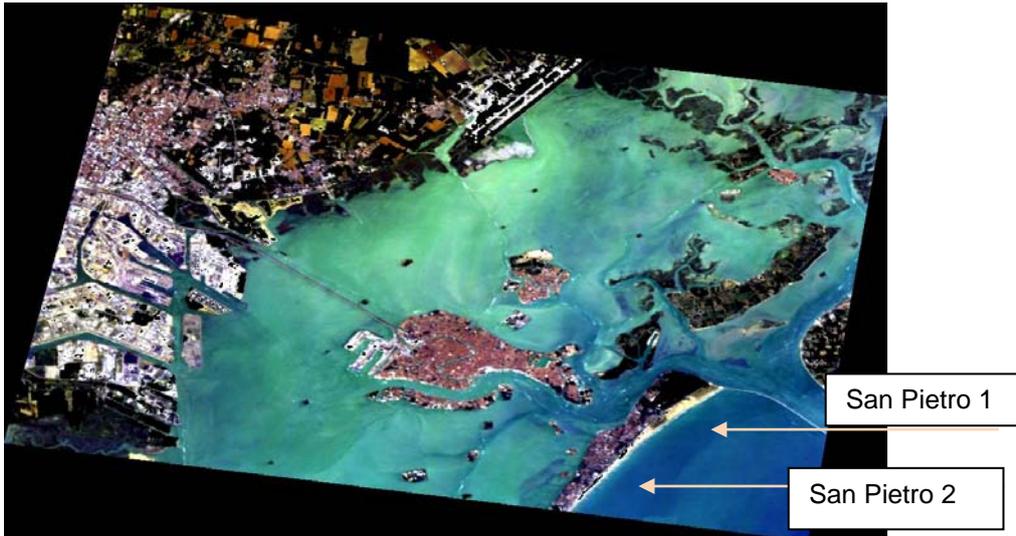
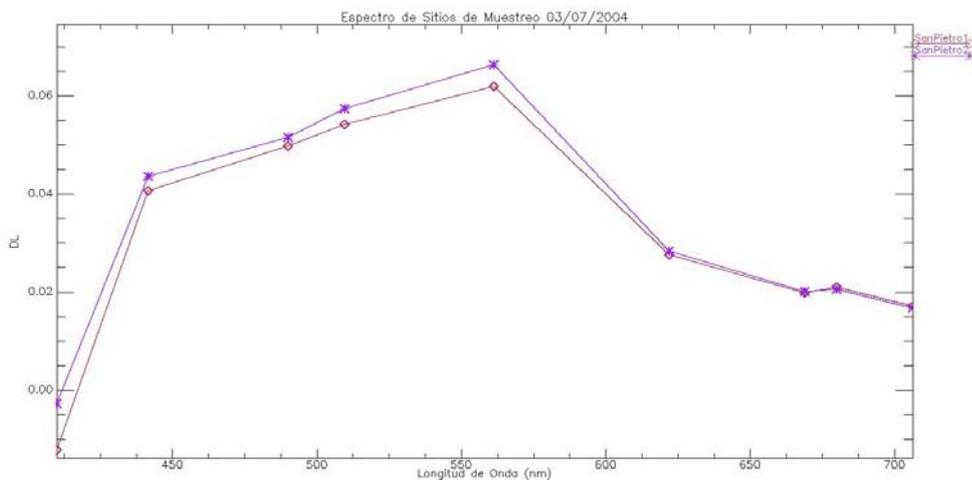


Fig.30: Otra sección de la imagen VN\_040703 de CHRIS-Proba, obtenida del procesador VISAT, cubriendo solamente los sitios de muestreo San Pietro 1 y 2. La composición de bandas RGB de 12, 7, 1 (longitudes de onda de 680.7nm, 573.9nm, 410nm)

En la imagen anterior los sitios cubiertos son solamente San Pietro 1 y 2, aproximadamente. El espectro (Gráfico 43) obtenido de ambos sitios es el siguiente:



Graf. 43: firma espectral de San Pietro 1 (diamantes) y San Pietro 2 (asteriscos), obtenida de VN\_040703

San Pietro 1 y San Pietro 2 son dos sitios de muestreo muy cercanos geográficamente. Nuevamente se observa que ambos sitios siguen valores y patrones similares en la firma espectral. La intensidad de la reflectancia en San Pietro 2 es mayor que en San Pietro 1.

De acuerdo a lo observado en este patrón, la ausencia de ambos picos a 420nm y 675nm característicos del espectro de clorofila-a, no permite relacionar la reflectancia con aquel agente productor de color en el océano.

Sin embargo la caída particular de la sustancia amarilla y la materia en suspensión ocurre luego de los 560 nm.

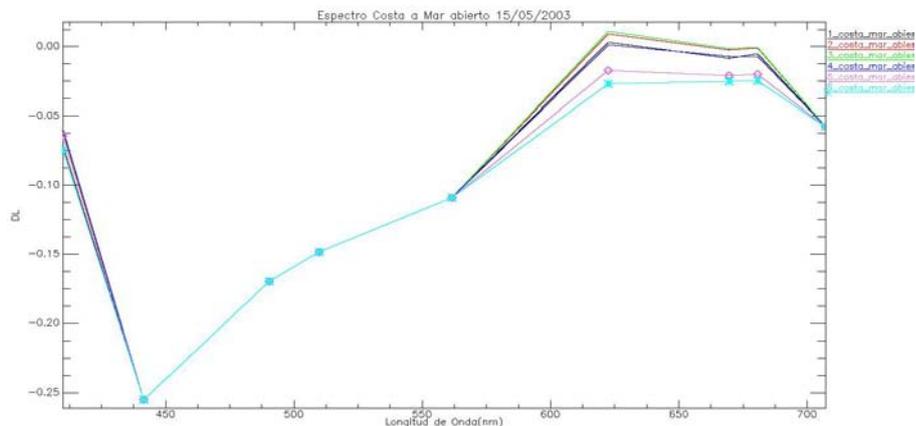
Nuevamente en la imagen VN\_030515, donde se aprecia la estructura de la ensenada de Chioggia, que se realizan en el proceso de corrección con la extensión Chris-ToolBox de la propia ESA.

En la imagen, si bien existen sitios de muestreos cubiertos, se procedió a observar la firma espectral de zonas ubicadas perpendicularmente a la costa (círculos de colores).



Fig.31: Imagen VN\_030515 de CHRIS-Proba, obtenida del procesador VISAT, cubriendo zonas ubicadas perpendicularmente a la costa. La composición de bandas RGB de 12, 7, 1 (longitudes de onda de 680.7nm, 573.9nm, 410nm)

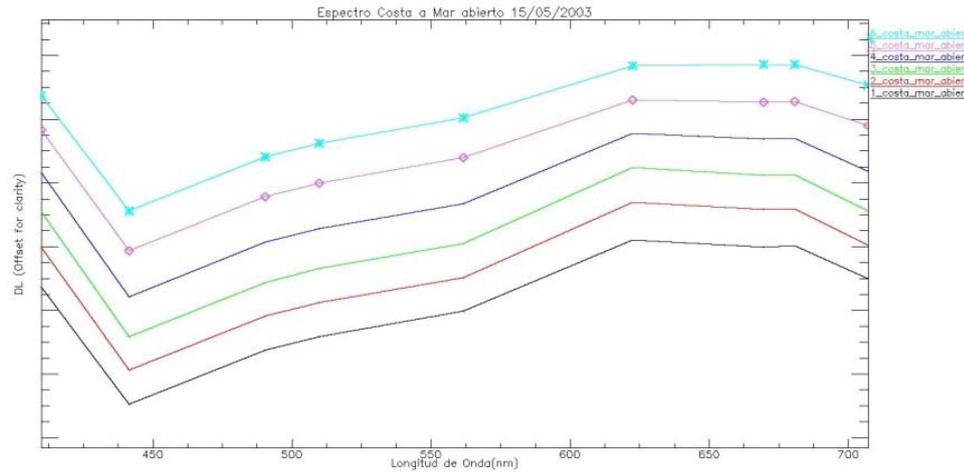
Desde la misma hacia el mar abierto y el espectro obtenido de dichos sitios es el siguiente, donde las firmas espectrales de los sitios más cercanos a la costa, son aquellos cuya intensidad en la reflectancia es mayor. Asimismo todos los sitios comparten un patrón similar (Gráfico 44).



Graf.44 : firma espectral de zonas ubicadas a distancias mayores de la costa, obtenida de VN\_030515

Por lo que se aprecia en el patrón anterior, todos los sitios de muestreo siguen el mismo patrón de reflectancia.

El hecho de que presente un pico cercano a los 420nm y otro nuevamente a los 675nm, sumado a la ausencia de la caída de reflectancia característica de la sustancia amarilla y la materia en suspensión, determinan una mayor influencia de la clorofila-a en aquellos sitios y a medida que la distancia de los sitios a la costa aumenta, la influencia en la concentración de nutrientes disminuye, por lo tanto lo mismo sucede con la concentración del pigmento y la magnitud de la firma espectral de cada sitio (clarificado en la Gráfico 45).



Graf. 45: stack plot de las firmas espectrales de zonas ubicadas a distancias mayores de la costa, obtenida de VN\_030515

## 5.2 Análisis de Microcosmos

A modo tal de identificar los parámetros marinos que influyen la presencia, concentración y adhesión al fitoplancton de las bacterias marinas autóctonas, incluyendo aquellas especies patógenas para el hombre, se desarrollaron en las facilidades del laboratorio, paralelamente a los análisis anteriormente explicados, distintos microcosmos.

Estos se basaron en la muestra de agua marina de Caleri 2.

Los mismos fueron inoculados con *Vibrio parahaemolyticus* con marcación fluorescente y mantenidos durante 7 días en diferentes condiciones ambientales:

- Un microcosmo se mantuvo a temperatura ambiente (22-24°C),
- Otro microcosmo a 10 °C
- Un tercero a 2 °C

Todos los anteriores se mantuvieron con sobre una plataforma vibratoria

- Otro microcosmo se le adicionó NaCl hasta alcanzar 37 PSU (Unidades Prácticas de Salinidad)
- Mientras que otro microcosmo se lo diluyó para alcanzar una salinidad de 16 PSU.
- Finalmente un microcosmo fue adicionado con 1% caldo de nutrientes

Todos los anteriores se mantuvieron sobre una plataforma vibratoria y a temperatura ambiente

En la tabla 14 se aprecian los resultados del monitoreo de los microcosmos respecto de la cantidad de bacterias adheridas y de bacterias libres, mediante separación por centrifugación de algas y bacterias adheridas (en el pellet) de las bacterias libres (en el sobrenadante) y sembrando las diluciones apropiadas en un medio selectivo de agar nutritivo (TCBS medio para vibrios). Asimismo la evolución del proceso de adhesión fue monitoreada mediante microscopio fluorescente. Durante la campaña el 19 de abril se recuperó una concentración inusualmente baja de fitoplancton del mar, esto sumado a problemas de mantenimiento de las micro-algas en las condiciones apropiadas para llevar a cabo los experimentos programados de microcosmos, solo permitió trabajar con las muestras de la segunda campaña, en junio de 2010.

En adición, el agua recuperada de la muestra era altamente turbia, lo que nuevamente sumada a la baja concentración de fitoplancton, hizo imposible el cálculo en espectrofotómetro de laboratorio de clorofila-a en las muestras de la campaña de abril 2010.

Por los datos en la tabla 10, la lenta adhesión de las bacterias a las algas ocurre bajo condiciones no estresantes (23-25°C; 10°C) al igual que por la baja salinidad y concentración de nutrientes. La adhesión más rápida se apreció al momento de enfrentar condiciones adversas, como 2°C, 37 PSU.

Condiciones favorables no favorecen la adhesión bacteriana a algas. Asimismo la bacteria utilizada en los experimentos (*V. parahaemolyticus*) se adhiere solamente a uno de los tres tipos dominantes de algas. En general Procentrum y Cocconeis son los géneros preferidos por las bacterias para unirse, por el contrario Melosira no constituía un blanco atractivo de adhesión.

Microcosmo	T0 (29/06/2010)	T1 (24 horas)	T2 (5 días)	Microscopio 5 días	5	T7gg (6/07)	Microscopio 7 días		
29/06 at RT	9x 10 <sup>7</sup>	nd	5x 10 <sup>3</sup>	adherido +++ , libre +		103	adhered free ±	+++ ,	Lenta Adhesión
29/06 a 10°C (no stirring)	9x 10 <sup>7</sup>	5x 10 <sup>7</sup> 107	2x10 <sup>3</sup> 106	adherido ++ , libre ++		30 3x10 <sup>4</sup>	adhered free +	++ ,	Lenta Adhesión
29/06 + NaCl a 36%	9x 10 <sup>7</sup>	7x 10 <sup>5</sup> nd	103 nd	adherido +++ , libre ±		0 103	adhered free ±	+++ ,	Rápida Adhesión
29/06 dilución al 50%	9x 10 <sup>7</sup>	2x 10 <sup>7</sup> nd	50 nd	adherido + , libre ++		30 7x10 <sup>2</sup>	adhered free ++	+	Lenta Adhesión
29/06 1% BH agregado	9x 10 <sup>7</sup>	3x 10 <sup>7</sup> 5x10 <sup>6</sup>	103 106	adherido ++ , libre +++		20 106	adhered free +++	++ ,	Lenta Adhesión
		nd	106			3x10 <sup>5</sup>			
	T0 (2/07/2010)	T1 (3 días)	Microscopio 3 días	T2 (5 días)	Microscopio (4 días)	T3 (7 días)			
2/07 a RT	3x 10 <sup>4</sup>	2x 10 <sup>4</sup>	adherido ++ , libre ±	7x10 <sup>2</sup>	adherido +++ , libre ±	2x10 <sup>2</sup>			Lenta Adhesión
2/07 a 10°C (no stirring)	3x 10 <sup>4</sup>	102 nd	adherido ++ , libre ±	20 103	adherido + , libre ++	10 6x10 <sup>2</sup>			Lenta Adhesión
2/07 a 2°C (no stirring)	3x 10 <sup>4</sup>	nd 2x 10 <sup>4</sup>	adherido + , libre +	5x10 <sup>2</sup> 7x10 <sup>2</sup>	adherido ++ , libre ±	90 7x10 <sup>2</sup>			Rápida Adhesión

Tabla 10: Número de bacterias adheridas y no adheridas a fitoplancton en microcosmos de laboratorio preparados con agua marina de muestras obtenidas del Mar Adriático Norte.

### 5.3 Conclusiones

En el conjunto de datos in-situ, obtenidos durante las campañas de muestreo de Abril y Junio de 2010, se aprecia una disminución en la turbidez registrada por la sonda multiparamétrica a medida que los sitios de muestreo se alejan de la costa. Es decir sitios la turbidez disminuye en sentido de Caleri 1 (dispuesta a 300m de la costa) Caleri 2 (ubicada a 500m) y Caleri 3 (ubicada a 1km de la costa). Esta disminución es menos notoria en los sitios de Fosson.

En el Anexo 2 se observan tablas con la identificación y conteo de especies de fitoplancton en la campaña de abril 2010 y para especies más representativas de especies de fitoplancton identificadas en microscopio de las muestras de la campaña de Junio de 2010.

En un objetivo a largo plazo, se busca asociar firmas espectrales de sensores remotos a situaciones ambientales en las cuales se incrementen las masas algales, con un posible incremento diferencial de grupos funcionales de fitoplancton con, por ejemplo, capacidades tóxicas.

Existe evidencia que vincula la producción de toxinas en distintos miembros del fitoplancton con cambios en las condiciones oceánicas, mayor o menor cercanía a las costas. Errera y Campbell, 2011 demostraron que el incremento en las toxinas en el caso de *Karenia brevis*, una microalga que produce una neurotoxina, sería una respuesta al stress hiposmótico ocasionado a medida que las algas se trasladan hacia la costa. Sería un modo de evitar la osmolisis.

También *Alexandrium tamarense* incrementa su toxicidad a medida que la salinidad disminuye y aumenta el amonio al acercarse a la costa (Hamasaki et.al, 2001).

En tal sentido, en las firmas espectrales del presente capítulo se puede observar, en cuanto a la concentración de clorofila-a, una disminución a medida que los sitios de muestreo se alejan de la costa, si bien el decrecimiento no es tan notorio como con la materia total en suspensión.

Los gráficos presentes muestran patrones de reflectancia. La presencia y ausencia de picos y valles, su magnitud y su posición es relativa, dentro de cierto rango.

No fue posible establecer una relación entre las concentraciones y la reflectancia y graficar dicha relación, debido a la ausencia de datos de las concentraciones de los agentes productores de color correspondientes a la zona y a las fechas de adquisición de las imágenes utilizadas. Un hecho a destacar es que durante los veranos del 2006 y 2007, la concentración de materia en suspensión y clorofila-a aumenta (capítulo 3) por lo

que ambas sustancias, si el patrón en los años 2003 y 2004 se repite, pueden contribuir a las firmas espectrales en la zona de estudio.

Una propuesta interesante, si bien las fechas de adquisición de las imágenes correspondientes al sensor CHRIS-Proba no son simultáneas ni cercanas a las fechas de muestreo de campo, utilizando las bandas 9 (622.6nm), 10 (651.4nm) y 11 (669.7nm) de CHRIS-Proba se puede sugerir el cálculo de la concentración de clorofila-a con la fórmula de Lazzara et al., 1990.

La información brindada por este sensor hiperspectral enseña una variación en la zona de estudio diferente a aquella captada por los demás sensores utilizados. CHRIS-Proba sensa variación en la reflectancia del agua en distancias variantes a la costa, hecho que no puede observarse con otro sensor.

En algunos sitios de muestreo, CHRIS enseña un pico de reflectancia correspondiente a gran cantidad de clorofila-a que se registra en otros datos de bibliografía. Dado que la zona de estudio se caracteriza por aguas Caso-2, para obtener una mayor exactitud en el cálculo de concentración de clorofila-a, se considera necesario una mejor separación de la contribución de cada elemento disuelto que actúe como agente productor de color.

# 6. Capítulo 6

## Conclusiones Finales

La capacidad de los sensores ópticos remotos para obtener datos de manera frecuente sobre grandes superficies de agua, ha generado un emergente campo que estudia las características biofísicas y modela procesos ecológicos marinos y oceánicos a gran escala incluyendo datos de satélites (Parsons, et al., 1985; Pearce y Pattiaratchi, 1997; Tang *et al*, 2003; Ahn et al., 2006; Rodríguez-Benito y Haag, 2004; McLain, 2009).

Esta tesis se encuentra inmersa en un proyecto de mayor envergadura con objetivos generales relacionados al estudio de las características de aguas estuarinas que favorecen la presencia en la microflora autóctona de bacterias de la familia Vibronaceae para el desarrollo de sistemas de alerta. Pero siguiendo la tendencia de utilización de datos satelitales para el desarrollo de modelos de alerta; en el caso particular de este trabajo se presentaban 2 desafíos:

- calibrar y utilizar datos de sensores remotos en una zona con aguas de propiedades especialmente complejas desde el punto de vista de la teledetección (aguas tipo 2); y
- derivar un modelo que involucra más de un factor biofísico (no solo clorofila o algas) para estratificar espacialmente el alerta por presencia de *Vibrios sp*.

El diseño de muestreo, la disposición de los sitios de análisis, fue escogido proyectando la futura elección de sensores remotos como estimadores de las variables biofísicas del Mar del Norte Adriático y esta tesis se concretó utilizando datos registrados por el grupo de trabajo (del cual participe) en la zona costera de la laguna de Venecia. Se debe recordar que las zonas costeras, como la región de interés, son zonas por excelencia de aguas Caso-2 y por definición propia, son aguas con más de un componente principal afectando sus propiedades ópticas (Sathyendranath, 1986).

Así, inicialmente el desafío planteado para la tesis era desarrollar algoritmos locales que se amoldasen a las particularidades de la región de interés y de ese modo modelar situaciones de riesgo para enfermedades e intoxicaciones. Sin embargo, los datos recabados en salidas a campo y los valores correspondientes a los píxeles de los sensores remotos poseen una la correlación muy baja (capítulo 2). Esto sucede principalmente con dos variables: concentración de clorofila-a y materia total en suspensión, ambas resultan productos del mismo algoritmo del sensor MERIS. Lamentablemente, este resultado coincide con un reporte casi contemporáneo para la misma área de estudio (Reporte CLS, 2007).

La dificultad en encontrar una función que asocie de manera significativa la variable in situ con el dato recogido por sensores remotos no favorece el modelado y predicción de situaciones que involucren la salud pública y el riesgo posible ante la conjugación de factores ambientales. Por la misma razón no es posible individualizar zonas de mayor o menor riesgo para el establecimiento de emprendimientos de acuaculturas y evaluar la calidad microbiológica de aguas en zonas de recreación con gran precisión.

Las causas de esta escasa correspondencia dato in-situ/dato -sensor remoto pueden ser varias, por ejemplo, el tamaño del píxel involucrado en la medición remota (300 metros) puede poseer internamente información que resulte de la mezcla de tierra y agua al estar en zonas costeras. Los procedimientos para medir los pigmentos in situ y por sensores y la velocidad de variación o cambio de las condiciones del mar (capítulo 2). Por ejemplo las del Mar del Norte, las muestras in-situ y las satelitales solo tienen una pequeña ventana temporal en la cual son directamente comparables, de una duración tan pequeña como de una hora, constituyendo éste un criterio dificultoso de cumplir.

A su vez el efecto de adyacencia, que es la contribución del lecho marino en la reflectancia captada por un sensor en aguas poco profundas, sumado a la contribución importante en nutrientes y contaminantes proveniente de ríos que, la región de la laguna de Venecia posee.

En especial, los sitios de muestreo sometidos a estudio se ven influenciados por la propia laguna de Venecia, con sus tres ensenadas de acceso, la desembocadura del río Brenta, del río Adige y del río Po. La mezcla de sedimentos y materia en el agua, es un factor que dificulta la discriminación de componentes productores de color en la zona de estudio, en la mayoría de los casos sobrestimando la concentración de pigmentos.

Estas aguas estuarinas son la que favorecen la presencia en la microflora autóctona de bacterias de la familia Vibronaceae.

Entre los hechos generales que influyen la correlación entre mediciones in-situ y de sensoramiento remoto de clorofila-a, se deben remarcar los siguientes: las escalas de medición pertenecen a diferentes órdenes de magnitud, el sensor remoto sensa el alga completa y las mediciones in-situ solo los pigmentos algales, las muestras in-situ y las satelitales solo tienen una pequeña ventana temporal en la cual son directamente comparables y finalmente se deben utilizar datos de suficientes estaciones como para lograr una comparación significativa entre las mediciones de ambos sistemas (Atlas of Chlorophyll-a concentration for the North Sea based on MERIS imagery of 2003, Capítulo 11).

A diferencia de la baja correlación hallada entre las variables mencionadas, el sensor MODIS y los datos obtenidos en las salidas de muestreo por la sonda multiparamétrica para la temperatura superficial del mar, poseen una correlación alta, alcanzando el 92% de correspondencia entre el valor del píxel y los grados

centígrados del sitio de muestreo. La desventaja en este caso estaría planteada por el tamaño del pixel, que consta de 1km.

Siendo la temperatura del agua una de las variables determinantes (en conjunto con la salinidad o la turbidez, en forma inversa) en la presencia de *Vibrios* en el agua, es indispensable contar con el buen ajuste que se encontró en esta Tesis de la variable medida por sensores y la medida en campo. Condiciones extremas de estas variables generan una rápida adhesión de las bacterias al plancton. Teniendo en cuenta que MODIS registró correctamente las variaciones térmicas estacionales, es altamente factible incorporar a la temperatura superficial del mar como una entrada confiable para un futuro algoritmo de presencia de *Vibrios* a nivel local.

Asimismo, otra entrada a un algoritmo a considerar importante es la salinidad en el mar. La familia Vibronaceae necesita para su desarrollo de un cierto rango de sal en el agua, dadas las condiciones contrarias solo sobrevive y se mantiene latente.

En el capítulo 3 se observa que el mar en la región del Norte Adriático no es una mezcla homogénea de elementos disueltos en el agua, sino más bien que su dinámica está influenciada por procesos disruptivos. Las estadísticas descriptivas coinciden con la descripción geográfica que marca una línea de costa condicionada por la desembocadura de 3 ríos, como se describió anteriormente. Esta característica condiciona marcadamente el tipo de sensor remoto que proporcione datos apropiados para el área de estudio, especialmente en lo referido a la resolución espacial y temporal. Tanto MERIS, como MODIS, como la sonda multiparamétrica captaron una gran variabilidad tanto estacional a lo largo de los dos años de datos sometidos a análisis, como así variabilidad también inherente a cada sitio de muestreo.

El análisis de esta variabilidad, visualizada específicamente desde lo espacial (por distancias), se muestra en el capítulo 4. Así se estudió el área con un nuevo punto de vista, indicando la co-variación entre sitios de muestreo, Además de la co-variación alta entre lugares cercanos, se muestra también una elevada variación conjunta entre lugares muy alejados. Por esto, se plantea la necesidad de algoritmos locales, ya que la zona de estudio es más bien una región de disrupción que una de transición.

La utilización del sensor CHRIS-Proba en el área de estudio brinda otro punto de vista novedoso. Este sensor hiper-espectral permitió apreciar la variabilidad del agua analizada. Los patrones de reflectancia fueron capaces de discernir entre los sitios de interés que se alejan de la costa y se dirigen a mar abierto, en donde la intensidad de la reflectancia disminuye con la profundidad. Nuevamente esto puede respaldar la influencia del efecto de adyacencia sobre la señal medida por sensores remotos.

A su vez, la información brindada por CHRIS-Proba, respalda la ya mencionada gran variabilidad del sistema de estudio. En pocos metros, las propiedades ópticas del agua se modifican rápidamente, además el sensor posee bandas adecuadas para la discriminación de clorofila y ha revelado la firma espectral propuesta por otros autores (Folkestad, 2005) para la presencia de clorofila en el agua. La incongruencia temporal entre los datos de campo y los datos del sensor CHRIS, no permitieron avanzar más en este sentido, pero se reconoce el potencial de este sensor en este tipo de aguas.

Aunque los sensores remotos no hayan resuelto del modo esperado la estimación de variables biofísicas como la concentración de clorofila-a, ni la materia total en suspensión, en zonas cercanas a la costa, estos sí poseen mayor precisión en la estimación de las mismas en aguas Caso-1, es decir en regiones de mar abierto, o útiles para analizar tendencias regionales, dado la gran variabilidad captada por los mismos (Alvain et al, 2005; ZhongPing et al, 2006)

Lamentablemente, en el área de estudio los factores necesarios para predecir y/o prevenir la difusión de bacterias marinas virulentas y resistentes a antibióticos, varían en un nivel "sub-pixel" en relación a los datos de clorofila-a y materia en suspensión de MERIS,

Como inicio, la presente tesis permitió la exploración y aprendizaje de herramientas de procesamiento de imágenes, así como de la dinámica de enfermedades transmitidas a través del agua, de la simbiosis entre bacterias y algas y las condiciones ambientales que la favorecen.

A su vez las destrezas iniciales adquiridas en el trabajo en un laboratorio de microbiología, el muestreo en campo y la conexión con los resultados obtenidos del procesamiento imágenes de sensores remotos, constituye un importante factor de aprendizaje para la realización de mapas de riesgo, particularmente en el caso de enfermedades transmitidas a través del agua y que involucren, por ejemplo, la simbiosis entre organismos procariontes y algas.

El conocimiento general adquirido durante la concreción de la tesis, si bien la misma se sitúa en el norte del mar mediterráneo, podría aplicarse en situaciones particulares del mar argentino.

En dicha zona, cada vez son más frecuentes los casos de veda de pesca para diferentes especies de crustáceos y peces por presencia de toxinas provenientes de algas, mayoritariamente en zonas de golfos. A su vez, al aumentar los sucesos de floraciones se incrementarían las probabilidades de contagio de enfermedades transmitidas por bacterias.

MERIS es uno de los sensores con más frecuencia utilizados en trabajos que involucren la radiometría de océanos, conjuntamente con MODIS. El trabajo con imágenes y productos derivados de ambos sensores,

resulta un aporte favorable, si se amerita la utilización de sensores remotos en la zona de la plataforma del mar argentino.

Para estudios fuera de la zona que involucran golfos como San Julián, San Jorge o canales como el de Beagle, que impliquen el conocimiento sobre ubicación, extensión, variación sea espacial y/o temporal del las corrientes marinas y variables biofísicas de la plataforma del mar argentino así como para estudiar la aparición y evolución de florecimientos algales y determinar algunas zonas de riesgo de estos eventos, así como aspectos de sus dinámicas, productos como la temperatura superficial del mar (SST) y concentración de clorofila del sensor MODIS y ALGAL 1 del sensor MERIS son muy útiles, el primero porque su amplia resolución espacial (1Km) no afecta la variación de la temperatura y el segundo porque es un producto validado en gran variedad de mares (Alvain et al, 2005; ZhongPing et al, 2006) para concentración de clorofila en zonas lejanas a la costa. Incluso existen trabajos que involucran

En las zonas costeras, si el objetivo planteado es la obtención de valores puntuales de ambas variables, los productos derivados del algoritmo ALGAL 2 del sensor MERIS presentan los obstáculos ya previamente definidos, sin embargo si aquello que constituye el fin de una investigación, es establecer zonas de posible riesgo de intoxicación o contagio, sin la precisión de punto de muestreo-pixel, los productos derivados de MERIS e incluso MODIS, son recomendables (Tello y Rodriguez-Benito, 2009; Rodriguez-Benito et al, 2004 (b); Rodriguez-Benito et al, 2004; Atlas of Chlorophyll-a concentration for the North Sea based on MERIS imagery of 2003).

Nuevamente, se debe aclarar el hecho de que en un ambiente marino, usualmente la clorofila-a y la materia en suspensión poseen una variabilidad muy alta, sea temporal (estacional e interanual) como espacial, que excede la resolución espacial de 300m del sensor MERIS, e incrementada en zonas cercanas a la costa.

Sin embargo, lo anterior no sucede a la dinámica de las corrientes y la temperatura de superficie del mar, que es captada por la resolución espacial de 1km de MODIS.

Los productos de MODIS y SeaWiFS pueden utilizarse para sensor valores y dinámica de la temperatura de la superficie del mar, sin embargo lo mismo no ocurre con los datos de clorofila-a y materia en suspensión, incluso si el sensor remoto en cuestión es MERIS. En el último caso es aconsejable la utilización de datos de campo para observar la variabilidad.

Por lo anteriormente citado, si el objetivo es desarrollar un sistema orientado al modelado de posibles riesgos, de floraciones y vibrios, la información brindada por los sensores remotos en la actualidad debe analizarse con cautela en áreas costeras, sugiriéndose un análisis detallado de la variabilidad, cotejada con datos de campo.

## Bibliografía

- Abramovitz, J.N., Dunn S. 1998. Weather-Related Disaster. Worldwatch Institute Available at <http://www.worldwatch.org>.
- Ahn, Y., Shanmugam P. 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal water Remote Sensing of Environment 103: 419–437s
- Anand Ganesh, E., Sunita Das, K., Chandrasekar, G. Arun y Balamurugan S. 2010. Monitoring of Total Heterotrophic Bacteria and *Vibrio* Spp. in an Aquaculture Pond. Current Research Journal of Biological Sciences 2(1): 48-52.
- Anderson, D. M.1995. Toxic red tides and harmful algal blooms: A practical challenge in coastal oceanography. Rev. Geophys. Suppl.: 1189-1200.
- Anderson, D.M. 1989. Toxic algal blooms and red tides: a global perspective. En: Okaichi, T., Anderson, D.M., Nemoto, T. (Eds.), Red Tides: Biology Environmental Science and Toxicology. Elsevier, N.Y., pp. 11–16.
- Arrieta, C. y De Elia, E. 2008. Trabajo Especial Licenciatura en Ciencias de la Computación: Desarrollo de una herramienta de acceso vía web para ser aplicada en la detección de mareas rojas utilizando imágenes satelitales, Fa.M.A.F Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ARPAV. 2005. "Monitoraggio integrato dell'ambiente marino costiero nella regione Veneto" Gennaio - Dicembre 2004. Area Técnico-Scientifica, Osservatorio Alto Adriatico – Polo Regionale Veneto, Dipartimento Provinciale di Rovigo, Dipartimento Provinciale di Venezia. Padova, Italia.

- Atlas of Chlorophyll-a concentration for the North Sea based on MERIS imagery of 2003, Edition 3.0. 23 May 2005. Producto del EC-FP5 REVAMP Project, Publicados en la Vrije Universiteit, Amsterdam. Capítulo 10-11.
- Barnes, E. 2005. Easy route to fame and gripe. En: Diseases and Human Evolution. Albuquerque: the University of New Mexico Press, pp. 279-298.
- Behrenfeld, M.J., O'Malley, R.T., Siegel, D.A., McClain, C.R., Sarmiento, J.L., Feldman, G.C., Milligan, A.J., Falkowski, P.G., Letelier, R.M., Boss, E.S. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. Nature, 444:752-755.
- Bergamasco, A., Gacic, M., Boscolo, R., y Umgiesser G. 1993. Winter oceanographic conditions and water mass balance in the Northern Adriatic. Journal Marine Systems, 7: 67-94, 1996.
- Bernard, S., Balt, C., Pitcher, G., Probyn, T., Fawcett, A., y du Randt, A. 2005. The use of MERIS for harmful algal bloom monitoring in the southern Benguela. En: Lacoste H. (ed) Proceedings of the MERIS (A) ATSR Workshop 2005 (ESA SP-597), September 2005. ESRIN, Frascati, p 26-30 (publicado en CD-ROM).
- Binsztein, N., Costagliola M. C., Pichel M., Jurquiza V., Ramirez, F. C., Akselman, R., Vacchino M., Huq A., y Colwell, R. R. 2004. Viable but nonculturable *Vibrio cholerae* O1 in the aquatic environment of Argentina. Applied and Environmental Microbiology 70:7481-7486
- Bresciani, M., Giardino, C., Bartoli, M., Longhi, D., y Pinardi, M. 2010. Assessment of chlorophyll-a and algal blooms in inland waters from hyperspectral data. Proc. 'Hyperspectral 2010 Workshop', Frascati, Italy, 17-19 March 2010 (ESA SP-683, May 2010).
- Burkholder, J.M., Glasgow, H.B., y Lewitus, A.J. 1998. Physiological ecology of *Pfiesteria piscicida* with general comments of "ambush-predator" dinoflagellates. En: Physiological Ecology of Harmful Algae (Anderson DM, Cembella A, Hallegraeff GM, eds). NATO ASI Series G: Ecological Sciences, Vol 41. Berlin:Springer-Verlag, 175-191.
- Caburlotto, G., Bradd J., Lleò, M., Huq, A., y Colwell, R. 2010. Serodiversity and ecological distribution of *Vibrio parahaemolyticus* in the Venetian Lagoon, Northeast Italy. Environmental Microbiology Reports (2010) 2(1), 151-157
- Chakraborty, S., Mukhopadhyay, A. K., Bhadra, R. K., Ghosh, A. N., Mitra, R., Shimada, T., Yamasaki, S., Faruque, S. M., Takeda, Y., Colwell, R. R., y Nair, G. B. 2000. Environmental strains of *Vibrio cholerae*. Applied and Environmental Microbiology 66:4022-4028.
- Chuvieco E., 2002. Teledetección ambiental. Ariel Ciencia. Barcelona, España.
- Colwell, R.R., y Huq, A. 1999. Global microbial ecology: biography and diversity of *Vibrio*'s as a model. J. Appl. Microbial. Symp. Suppl., 85:134-137.
- Colwell, R., y Spira, W. 1992. The ecology of *Vibrio cholerae*. En: Cholera. Edited by Dhiram Baura and William B. Greenough III. New York: Plenum Medical Books, pp. 107-127.
- Colwell, R.R., y Kaper, J. 1977. *Vibrio* spp. as bacterial indicators of potential health hazards associated with water. American Society For Testing And Materials. pp: 115.
- Cui, T., Zhang, J., Groom, S., Sun, L., Smyth, T., y Sathyendranath, S. 2010. Validation of MERISocean-color products in the Bohai Sea: A case study for turbid coastal waters. Remote Sensing of Environment 114, 2326-2336.
- Doerffer, R., Röttgers, R., Schönfeld, W., Krasemann, H., y Heymann, K. 2010. Information content of hyperspectral reflectance data of coastal waters. Proc. 'Hyperspectral 2010 Workshop', Frascati, Italy, 17-19 March 2010 (ESA SP-683, May 2010).

- Draft risk assessment on the Public Health impact of *Vibrio parahaemolyticus* in raw molluscan shellfish, Center for Food Safety and Applied Nutrition Food and Drug Administration U.S. Department of Health and Human Services, Dec. 2000.
- Epstein, P.R. 1999. Climate and health. *Science*, 285:347-348.
- Epstein, P.R. 1995. Emerging diseases and ecosystem instability: new threats to public health. *Am. J. Public Health*, 85:168-172.
- Errera, R.M. y Campbell, L. 2011. Osmotic stress triggers toxin production by the dinoflagellate *Karenia brevis*. Online PNAS [www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1104247108](http://www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1104247108)
- Falkowski, P.G., Ziemann, D., Kolber, Z., y Bienfang, P.K. 1991. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. *Nature* 352, 55–58.
- Folkestad, A. December 2005. Satellite monitoring of algal blooms in Norwegian coastal waters. Tesis para el grado de Doctor, Instituto de Geofísica, Universidad de Bergen, Noruega.
- GEOHAB. 2001. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan P. Gilbert and G. Pitcher (eds.) SCOR and IOC, Baltimore and Paris. 87 pp.
- Graneli, E., Codd, G.A., Dale, B., Lipiatou, E., Maestrini, S.Y., y Rosenthal H. 1998. Harmful algal blooms in European marine and brackish waters. EuroHAB Science initiative. (EU- Commission 18592) Directorate General for Research. Kalmar Sweden.
- Grimens, D.J., Brayton, P., Colwell, R.R. y Gruber, S.H. 1986. *Vibrios* as autochthonous flora of neretic sharks. *Syst. Appl. Microbiol.*, 6: 221-226.
- Hamasaki, K., Horie, M., Tokimitsu, S., Toda, T. y Taguchi, S. 2001. Variability in toxicity of dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Hiroshima Bay, Western Japan, as a reflection of changing environmental conditions. *J. Plankton Research*. 23. 3: 271-278.
- Harvell, C., Mitchell, C., Ward, J., Altizer, S., Dobson, A., Ostfeld, R., y Samuel, M. 2002. Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota. *Science*. 21: 2158-62.
- Hervio-Heath, D., Colwell, R. R., Derrien, A., Robert- Pillot. A., Fournier, J. M., y Pommepeuy, M. 2002. Occurrence of pathogenic vibrios in the coastal areas of France. *J Appl Microbiol*; 92: 1123-35.
- Hsieh, J., Stephen Fries, J. y Noble., R. 2007. *Vibrio* and phytoplankton dynamics during the summer of 2004 in a eutrophying estuary. *Ecological Applications*, 17(5) Supplement, 2007, pp. s102–s109.
- Huang, Y., Jiang, D., Zhuang, D. y Fu, J. 2010. Evaluation of Hyperspectral Indices for Chlorophyll-a Concentration Estimation in Tangxun Lake (Wuhan, China). *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 7, 2437-2451
- Huq, A., Colwell, R. R., Rahman, R., Ali, A., Chowdhury, M. A., Parveen, S., Sack, D. A. y Russek-Cohen, E. 1990. Detection of *Vibrio cholerae* O1 in the aquatic environment by fluorescent-monoclonal antibody and culture methods. *Applied and Environmental Microbiology* 56:2370–2373.
- IOCCG (2000). Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Kourafalou, V.H. 1999. Process studies on the Po River plume, North Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research*, 104 (C12), 29,963-29,985.
- Kratzer, S., Brockmann, C y Moore, G. 2008. Using MERIS full resolution data to monitor coastal waters- a case study from Himmerfjorden, a fjord-like bay in Northern Baltic Sea. *Remote Sensing of Environment* 112, 2284-2300.

- Lazzara, L., Bianchi, F., Falcucci, M., Hull, V., Modigh, M., y Ribera d'Alcalà, M. 1990. Pigmenti clorofilliani. *Nova Thalassia* 11: 207-223.
- Laurs, R. M. y Lynn, R. J. 1977. Seasonal migration of north Pacific albacore. (*Thunnus alalunga*) into North American coastal waters: Distribution relative abundance and association with transition zone waters. *Fisheries Bulletin*. US 75(4):795-822.
- Lipp, E. K., Rivera, I. N. G., Gil, A. I. Espeland, E. M., Choopun, N., Louis, V. R., Russek-Cohen, E., Huq, A. y Colwell, R. R. 2003. Direct detection of *Vibrio cholerae* and *ctxA* in Peruvian coastal water and plankton by PCR. *Applied and Environmental Microbiology* 69:3676–3680.
- Lipp, E.K., Huq, A., y Colwell, R.R. 2002. Effects of Global Climate on Infectious Disease: The Cholera Model. *Clin Microbiol Rev.* 15:757-70
- Louis, V. R., Russek-Cohen, E., Choopun, N., Rivera, I. N., Gangle, B., Jiang, S. C., Rubin, A., Patz, J. A., Huq, A. y Colwell, R. R. 2003. Predictability of *Vibrio cholerae* in Chesapeake Bay. *Applied and Environmental Microbiology* 69:2773– 2785.
- Mannheim, S., Segl, K., Heim, B., y Kaufmann, H. 2004. Monitoring of lake water quality using hiperespectral CHRIS-Proba data. 2004. Proc. Of the 2<sup>nd</sup> CHRIS/Proba Workshop, ESA/ESRIN, Frascati, Italy 28-30 Abril (ESA SP, July 2004).
- Martínez-Urtaza, J., Lozano-León, A., DePaola, A., Ishibashi, M., Shimada, K. y Nishibuchi, M. 2004. Characterization of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* isolated from clinical sources in Spain and comparison with Asian and North American pandemic isolates. *J Clin. Microbiol.* 2004; 42: 4672-8.
- Maugeri, T. L., Carbone, M., Fera, M. T., Irrera, G. P., y Gugliandolo, C.. 2004. Distribution of potentially pathogenic bacteria as free living and plankton associated in a marine coastal zone. *Journal of Applied Microbiology* 97:354–361.
- Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McGaig, L. F., Bresee, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M., y Tauxe, R. V. 1999. Food related illness and death in the United States. *Emerging Infectious Diseases* 5:607–625.
- MERIS Product Handbook Issue 2.1, 24th October 2006. European Space Agency
- McLain, C.R. 2009. A Decade of Satellite Ocean Color Observations. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 1:19–42
- Morel, A., y Prieur, L. 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.* 22:709-722.
- Olaizola, M., Ziemann, D.A., Bienfang, P.K., Walsh, W.A., y Conquest, L.D. 1993. Eddy-induced oscillations of the pycnocline affect the floristic composition and depth distribution of phytoplankton in the subtropical Pacific. *Mar. Biol.* 116, 533–542.
- Oliver, J. D., y Bockian, R.1995. In vivo resuscitation, and virulence towards mice, of viable but nonculturable cells of *Vibrio vulnificus*. *Applied and Environmental Microbiology* 61:2620–2623.
- Palaniappan, R., 1982. Studies on the microflora of the prawn *Penaeus indicus*, Milne Edwards (crustacea, decapodes, penaeidae) with reference to its digestive system. Ph.D Thesis, Annamalai University, India.
- Pearce, A., y Pattiaratchi, C. 1997. Applications of satellite remote sensing to the marine environment in Western Australia. *J. R. Soc. West. Aust.* 80, 1-14
- Radiarta, N., y Saitoh, S. 2008. Satellite-derived measurements of spatial and temporal chlorophyll-variability in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79. 400-408

- Rizzoli, P.M., y Bergamasco, A. 1983. The Dynamics of the Coastal Region of the Northern Adriatic Sea. *Journal Physical Oceanography*, 13, 1105-1130.
- Tello, A G., y Rodríguez-Benito, C. 2009. Characterization of mesoscale spatio-temporal patterns and variability of remotely sensed Chl-a and SST in the Interior Sea of Chiloe (41.4–43.5u S). *International Journal of Remote Sensing Vol. 30, No. 6, 20, 1521–1536*
- Rodríguez-Benito, C., Lleó, M., y Haag, C. 2007. Satellite-based Early Warning Systems to Predict and Alert on the Risk of Waterborne Disease Outbreak. *Reporte de las Naciones Unidas: Space Technology for E-health Space technology-based tele-health project initiatives in Latin America and the Caribbean. Office for Outer Space Affairs, Viena, Septiembre 2007.*
- Rodríguez, C., y Haag C. 2004. Applications of ENVISAT data in the South of Chile. Monitoring algal blooms and other coastal ocean features using MERIS and AATSR imagery”. *Revista Gayana*, 68 (2): 508-513.
- Rodríguez-Benito, C., Haag, C., Fea, M., y Steffens, H. 2004. Primera aplicación de datos ENVISAT para el monitoreo costero en Chile. *Proceedings Simposio Selper 2004.*
- Rodríguez-Benito, C., Fea, M., Vergara, J. A., Vicente, P., y Haag, C. 2004 (b). The use of remote sensing from ENVISAT satellite to prevent infections by *Vibrio parahaemolyticus*. *Proceedings Simposio Selper 2004.*
- Rodriguez-Benito, C., Haag, C., y Alvial, A. 2003. Implementation of new technologies to monitor phytoplankton blooms in the south of Chile *Proc. MERIS User Workshop, Frascati, Italy, 10 – 13 November 2003 (ESA SP-549, MAY 2004)*
- Sar, E.A., Ferraioli, M. E., y Reguera, B. 2002. Floraciones algales nocivas en el cono sur Americano. *Instituto Español de Oceanografía,*
- Shumway, S.E. 1990. A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *J. World Aquacult. Soc.* 21, 65– 104.
- Simidu, V., y Tsukamoto, K. 1985. Habitat segregation and biochemical activities of marine members of the family Vibrionaceae. *Appl. Environ. Microbiol.*, 105: 781-790.
- Simpson, J. J. 1994. Remote sensing in fisheries: a tool for better management in the utilization of a renewable resource. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 743-759
- Strom, M. S., y Paranjpye, R. N. 2000. Epidemiology and pathogenesis of *Vibrio vulnificus*. *Microbes and Infection* 2.177–188
- Stum, J., y Commien, L. September 2007 *Reporte CLS, Vibrio Project –End of Contract Meeting*
- Suárez, V., y Guzmán, L. 2002. *Mareas rojas y toxinas. Ed. Biblioteca Universitaria.*
- Sun, L., Chen, Y., y Wang, X. 2010. Comparison of Multi-sensor data application in algal bloom detection. *Third Congress on Image and Signal Processing (CISP2010).*
- Tang, D.L., y Kester, D.R. 2003. In situ and satellite observations of a harmful algal bloom and water condition at the Pearl River estuary in late autumn 1998, *Harmful Algae*, 2, 89-99
- White, W., y Walker, A. E. 1974. Time and depth scales of anomalous subsurface temperatures of Ocean Weather Stations P. N and V in the North Pacific. *Journal of Coastal Research* 79.4517-4522
- Wong, H. C., Liu, S. H., Ku, L. W., Lee, I. Y., Wang, T. K., Lee, Y. S., Kuo, L. P., y Shih, D. Y. 2000. Characterization of *Vibrio parahaemolyticus* isolates obtained from food-borne illness outbreaks during 1992 through 1995 in Taiwan. *Journal of Food Protection* 63:900–906.

- Yaohuan, H., Dong, J., Dafang, Z., y Jingying, F. 2010. Evaluation of Hyperspectral Indices for Chlorophyll-a concentration estimation in Tangxun Lake (Wuhan, China). Int. J. Environ. Res. Public Health 2010, 7, 2437-2451; doi:10.3390/ijerph7062437 .
- [www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_italy/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_italy/es)
- [www.fao.org/fishery/countrysector/FI-CP\\_IT/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/FI-CP_IT/es)
- <http://eopi.esa.int/category1>
- <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
- <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

## ANEXO 1

---

Space applications for  
Emergency and Early Warning  
in the marine environment: risks  
for human health associated to  
algal blooms

---

Full Proposal derived from project  
C1P.7735

---

---

## **Full Proposal derived from project C1P.7735**

### **Title:**

Space applications for Emergency and Early Warning in the marine environment: risks for human health associated to algal blooms

**Study-area:** This project would be developed in the North Adriatic Sea area close to the Venetian Lagoon, Italy. Specifically, the region of interest is considered between North latitude 43.50° and 46° and west longitude 12° to 13°.

### **Data Requirements**

**Type:** MERIS FR 2P, MERIS RR 2P, MERIS level 1B \*\*, Chris-PROBA

### **Amount**

In regions near the shore, satellites do not accurately measure chlorophyll concentration, mainly due to the adjacency effect and lack of dissociation between pigments and sediments. Hence, the need arises for algorithms that correct the difference of what the satellite measures, and those measurements from monitoring campaigns.

In that way the origin, growth, as well as the dispersion, of algal blooms, would be plausible to be monitored by information originated by remote sensing.

So far, we have not succeeded on this matter.

A relevant fact to point out is that time series were not sufficiently broad, and being the study area, one with high cloud cover, there were many cases where the time series grew even smaller.

If possible, we would request an image of the study area for each and every one of the campaigns done on the following dates:

Year	Month	Day
**2006	06	13
2006	06	19
**2006	07	10
2006	07	24
Year	Month	Day
**2006	08	08
2006	08	31
**2006	09	19
**2006	10	02
**2006	11	06
2006	11	27
**2006	12	13
2007	01	15
2007	02	27
**2007	03	29
2007	04	17
2007	05	22
**2007	06	12
2007	06	26
**2007	07	17
2007	08	07
**2007	08	27
2007	10	02
**2007	11	06
**2010	04	19
**2010	06	28

**\*\* - MERIS Level 1B images are required only for those dates.**

The environmental data obtained comes from two campaigns done last year and from VibrioSEA project's campaigns in 2006 and 2007.

Likewise, if possible we would like to request an image for every month from 2002 to 2010, since there is data availability from ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) regarding their monthly shore monitoring campaigns reports from 2000 to 2010

**Team Composition, Experience:**

PhD in Biology Ximena Porcasi Gomez. Currently working at Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich" at CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales Argentina): research and development tools of remote sensing and GIS for applications in human health, mainly oriented to dynamics of infectious diseases.

Since July 2009, is an Assistant Professor in Statistics and Spatial Analysis at Master of Spatial Applications for Early Warning System (EWS). Instituto Gulich -U.N.C. Córdoba, Argentina.

Biologist Marina Compagnucci. Currently working on final Thesis regarding human health and algal blooms, to obtain the title of master in Space Applications for Early Warning and Response to Emergencies Master, at Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich" at CONAE. Córdoba, Argentina.

PhD Maria del Mar Lleó

## Anticipated results

It is expected to observe a cyclic variation on the quantity of chlorophyll a between seasons as well as between years along the decade studied, be it detected by remote sensing or by *in situ* data.

Also, underestimation and overestimation, of the real monitoring value is expected from remote sensors, mainly in regions near the coast.

In certain environmental conditions, is expected to observe bacteria accumulate and persist in the seawaters by adhering to algal substrates then incrementing the related risk for human health.

An interesting outcome of the study would be a risk map regarding aquacultures, algal blooms, and possible bacterial presence.

## Detailed Description and Schedule

### Scientific rationale

It has been demonstrated that the emergence, transmission and persistence of some diseases, such as waterborne diseases, are influenced by environmental conditions and changes (Lobitz et al., 2000).

Floods, extreme rainfall hence increased runoff and washing of fecal material into potable water, warmer water temperature and sea surface height (SSH) are associated with increased transmission of diseases such as cholera, cryptosporidiosis, leptospirosis and harmful algal blooms (HAB) (Epstein 1995, 1999; Abramovitz et al., 1998). Hence, monitoring of environmental parameters is mandatory to predict and prevent environment-related disease outbreaks.

The identification of the marine environmental parameters influencing the presence, concentration and adhesion to phytoplankton of marine autochthonous bacteria would facilitate the monitoring of key oceanic variables in order to predict possible anomalous events with consequences on human health.

Previous studies have demonstrated strong relationships between *Vibrio* abundance and environmental conditions such as salinity, temperature, and attachment to planktonic organisms (Lipp et al. 2003, Louis et al. 2003, Maugeri et al. 2004).

In this context, space technology might play a complementary role providing additional data to those obtained by *in situ* measurements and, due to the possibility of a permanent environmental monitoring, implementing the creation of large databases.

To correlate *in situ* and spatial data we focused on Sea Surface Temperature (SST) and Chlorophyll a (Chloa) concentration, two variables known to influence the presence and persistence of phytoplankton and autochthonous marine bacteria.

The main subject of the project is the application of spatial tools to the study and monitoring of the aquatic parameters influencing the presence, persistence, abundance and spread of living organisms of interest for human health, mainly bacteria and toxic algae. Therefore, our aim is to

- Evaluate the usefulness of satellites in monitoring aquatic parameters in comparison with the *in situ* measurements, especially close to the coast.
- Correlate spectral signatures obtained *in situ* to satellite hyper-spectral signatures and classical satellite images

## Proposed methodological and technical approach

### Sampling Campaign in the marine environment

On each sampling sites along the coast of the Venetian Lagoon, temperature, chlorophyll, salinity, turbidity and pH were measured using a multiparametric probe. Turbidity was also measured with a Secchi disk. Water and sediments samples were obtained and filtered in order to isolate bacteria, and to calculate the chlorophyll concentration in the laboratory facilities.

The water spectral signature in all sampling sites was taken by a SpectraScan apparatus and lab spectrophotometric characteristics of the water with and without phytoplankton was applied.

### Chlorophyll a, b, c concentration

By measuring chlorophyll total absorbance in each of the water samples obtained in the campaign, above mentioned, the pigment concentration was calculated. The entire procedure was performed according to the protocol by Lazzara et al., 1990.

### Preparation of lab microcosms mimicking the seawater environment

Using the sampled seawater, a series of microcosms were prepared in the lab. Microcosms were inoculated with a fluorescence-labeled *Vibrio parahaemolyticus* strain and maintained for 7 days at different environmental conditions. They were monitored as concern the quantity of free and adhered bacteria.

**Images** will be downloaded and then checked for georeference. Values from pixels corresponding to samples sites will be analyzed by comparison with field data. Relation between processed products (as Chlorophyll A) as well as raw reflectance bands will be included in the analysis.

Temporal variation through the time period mentioned will be analyzed with satellite images and also spatial variability between neighbors pixels will be done, in order to assess the amount of chlorophyll spatial autocorrelation, detected by remote sensors.

Shapes from marine currents and isotherms will be included as part of the study.

## Bibliographic references

- Abramovitz JN, Dunn S: Weather-Related Disaster. Worldwatch Institute; 1998. Available at <http://www.worldwatch.org>.
- Epstein PR: Emerging diseases and ecosystem instability: new threats to public health. Am J Public Health 1995, 85:168-172.
- Epstein PR: Climate and health. Science 1999, 285:347-348.
- Lazzara, L. Bianchi, F. Falcucci, M. Hull, V. Modigh, M. Ribera d'Alcalà, M. 1990 Pigmenti clorofilliani. Nova Thalassia 11: 207-223.
- Lipp, E. K., I. N. G. Rivera, A. I. Gil, E. M. Espeland, N. Choopun, V. R. Louis, E. Russek-Cohen, A. Huq, and R. R. Colwell. 2003. Direct detection of *Vibrio cholerae* and *ctxA* in Peruvian coastal water and plankton by PCR. Applied and Environmental Microbiology 69:3676–3680.
- Lobitz B, Beck B, Huq A, Wood B, Fuchs G, Faruque AS, Colwell RR: Climate and infectious disease: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. Proc Natl Acad Sci USA 2000, 97:1438-1443.
- Louis, V. R., E. Russek-Cohen, N. Choopun, I. N. Rivera, B. Gangle, S. C. Jiang, A. Rubin, J. A. Patz, A. Huq, and R. R. Colwell. 2003. Predictability of *Vibrio cholerae* in Chesapeake Bay. Applied and Environmental Microbiology 69:2773– 2785.
- Maugeri, T. L., M. Carbone, M. T. Fera, G. P. Irrera, and C. Gugliandolo. 2004. Distribution of potentially pathogenic bacteria as free living and plankton associated in a marine coastal zone. Journal of Applied Microbiology 97:354–361.

## ANEXO 2

Como se mencionó en el capítulo 5, en referencia a los patrones espectrofotométricos, se detectó en la campaña de junio de 2010 un bloom incipiente en el sitio de Caleri 2, del cual se extrajeron muestras para identificar y contar especies de la población de fitoplancton, adicional al cálculo de concentración de clorofila.

En la campaña de abril del 2010, las especies fueron identificadas y conjuntamente con su conteo aparecen en la tabla 1. Aquellas especies resaltadas en amarillo son aquellas presentes exclusivamente en cada sitio en particular.

Fecha muestreo:	19-Abr-10	19-Abr-10	19-Abr-10	19-Abr-10
Estación:	Caleri 1	Caleri 2	Fosson 1	Brenta 1
Nombre especie				
<b><u>Bacillariophyceae</u></b>				
Amphora exigua	10,781	0	10,781	16,335
Amphora sp. < 20	0	36,755	0	0
Chaetoceros socialis	237,190	343,044	539,069	326,709
Cocconeis sp.	0	12,252	0	0
Cyclotella spp.	21,563	61,258	86,251	81,677
Cylindrotheca closterium	43,126	24,503	32,344	32,671
Fragilaria sp.	0	0	10,781	0
Licmophora cfr. dalmatica	0	0	0	16,335
Navicula cryptocephala	0	12,252	21,563	0

Navicula spp. <20	0	12,252	32,344	16,335
Pseudo-nitzschia delicatissima	129,377	110,264	75,470	0
<b>Synedra &lt; 20</b>	<b>0</b>	<b>12,252</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Thalassionema nitzschioides</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>16,335</b>
Thalassiosira spp.	0	73,509	86,251	49,006
<b><u>Dinophyceae</u></b>				
<b>Gymnodinium spp. &lt;20</b>	<b>0</b>	<b>49,006</b>	<b>86,251</b>	<b>32,671</b>
<b>Gyrodinium spp. &lt;20</b>	<b>10,781</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Minuscola bipes</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>16,335</b>
Prorocentrum minimum	0	24,503	0	0
Protoperdinium spp.	10,781	12,252	0	0
Scripsiella trochoidea	21,563	36,755	10,781	0
Und. naked dino <20 µm	32,344	24,503	10,781	16,335
Und. thecate dino <20 µm	0	0	0	16,335
<b><u>Prymnesiophyceae</u></b> <b><u>(Coccolitine)</u></b>				
Emiliana huxleyi	32,344	73,509	0	0
<b><u>Cryptophyceae</u></b>				
Und. Cryptophyceae	21,563	73,509	118,595	0
<u>Others flagellates</u>				

Nanoflagellates	743,915	1,151,648	1,239,859	1,241,492
<b>Groups</b>				
<b>Bacillariophyceae</b>	<b>442,037</b>	<b>698,341</b>	<b>894,854</b>	<b>555,403</b>
<b>Dinophyceae</b>	<b>75,469</b>	<b>147,019</b>	<b>107,813</b>	<b>81,676</b>
<b>Prymnesiophyceae (Coccolitine)</b>	<b>32,344</b>	<b>73,509</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Cryptophyceae</b>	<b>21,563</b>	<b>73,509</b>	<b>118,595</b>	<b>0</b>
<b>Others flagellates</b>	<b>743,915</b>	<b>1,151,648</b>	<b>1,239,859</b>	<b>1,241,492</b>
<b>Total</b>	<b>1,315,328</b>	<b>2,144,026</b>	<b>2,361,121</b>	<b>1,878,571</b>

Tabla 1: Identificación y conteo de especies de fitoplancton en la campaña de abril 2010

En la tabla 1 se enseña el conteo de diferentes especies de fitoplancton identificadas en cuatro sitios de muestreo durante la campaña de abril de 2010. Como se puede observar, algunas especies de fitoplancton (resaltadas en amarillo) son exclusivas de ciertos sitios, mientras que otras especies son ubicuas.

En adición, existen diferencias cuantitativas, ya que Caleri 1, aquel más cercano a la costa, posee menor cantidad de especies de fitoplancton y Fosson 1 con más del doble de cantidad de especies (resaltado en verde).

El cálculo de la abundancia e identificación de fitoplancton para la campaña de junio 2010, no fue posible por el método de recolección por red, que concentra la muestra. Sin embargo se pudieron establecer las especies más representativas en las muestras (Tabla 2)

<i>Dinophysis</i> sp
<i>Melosira granulata</i>
<i>Prorocentrum compressum</i>
<i>Thalassionema nitzschioides</i>
<i>Amphora</i> sp
<i>Scenedesmus quadricaudata</i>
<i>Protoperidinium</i> sp
<i>Fragilaria crotonensis</i>
<i>Cocconeis scutellum</i>
<i>Thalassiosira</i> sp

Tabla 2: especies más representativas de especies de fitoplancton identificadas en microscopio de las muestras de la campaña de Junio de 2010