SEGUIMIENTO DE LOS AMBIENTES SEDIMIENTARIOS DE LA LAGOA DOS NENOS Y DEL COMPLEJO DUNAR DE MUXIEIRO EN EL PARQUE NACIONAL DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA



ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA
PARQUE NACIONAL MARÍTIMO - TERRESTRE

Universidade Vigo

UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

XUNTA DE GALICIA

Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio

Grupo de Oceanografía Geológica y Biogeoquímica

La presente memoria incluye los resultados obtenidos del proyecto: **SEGUIMIENTO DE LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS DE LA LAGOA DOS NENOS Y DEL COMPLEJO DUNAR DE MUXIEIRO EN EL PARQUE NACIONAL DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA,** encargado por el Parque Nacional marítimo–terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia y financiado por la Xunta de Galicia y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional ("*una manera de hacer Europa*"). Consta de dos apartados principales:

- **ESTADO MEDIOAMBIENTAL ACTUAL Y SEGUIMIENTO DE LA LAGOA DOS NENOS**
- **CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL COMPLEJO DUNAR**

Previo al análisis de los mismos, en primer lugar se presentan los resultados de dos aspectos básicos en la contextualización y conocimiento del comportamiento de los dos ambientes sedimentarios objeto de estudio, lagoa dos Nenos y Complejo Dunar, estos son:

- **ANÁLISIS DEL CLIMA MARÍTIMO**
- **CARTOGRAFÍA DE LA ZONA MEDIANTE FOTOGRAFÍA AÉREA**

Este trabajo ha sido realizado por el grupo de Oceanografía, Geología y Biogeoquímica (XM1) del departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Vigo (Irene Alejo, Corinne Pérez-Estévez, Marta Pérez-Arlucea, Miguel A. Nombela y Guillermo Francés). El apartado del ESTADO MEDIOAMBIENTAL DE LA LAGUNA ha sido realizado por el Dr. Pablo Serret, María Aranguren y Damaso Martínez del Departamento de Ecología, Facultad

Ciencias del Mar. En la parte de CLIMA MARÍTIMO ha participado Nicolás Villacieros-Robineau del Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC).

INDICE

Localización de la zona de estudio…….. 4

1. ANÁLISIS DEL CLIMA MARÍTIMO…… 6

1.1. Oleaje de fondo en profundidades indefinidas…… 6

1.2. Oleaje de fondo en las proximidades de la costa de las islas…….. 7

1.2.1. Patrón de propagación del oleaje en la plataforma y costa de las islas…… 8

1.2.2. Análisis de los puntos de control en torno a las islas……. 11

2. CARTOGRAFÍA DE LA ZONA MEDIANTE FOTOGRAFÍA AÉREA…….. 13

3. ESTADO MEDIOAMBIENTAL ACTUAL Y SEGUIMIENTO DE LA LAGOA…… 16

3.1. Conocimiento del grado de eutrofización de la laguna…… 17

3.1.1. Estructura y funcionamiento de las comunidades microbianas…… 18

3.1.2. Campaña experimental…… 22

3.1.2.1. Toma de muestras y Análisis…….. 24

3.2. Colocación de equipos de medida y estacas de referencia…….. 27

3.2.1. Estacas de referencia …… 29

3.2.2. Sensores de presión…….. 30

3.2.3. Correntímetros …….. 38

3.3. Los sedimentos de la laguna…….. 43

3.3.1. Análisis del tamaño de grano …….. 45

3.3.2. Análisis composicional…….. 49

3.4. Topografía de la laguna…….. 52

3.5. Formación y colmatación de la laguna mediante el estudio de sondeos…….. 55

4. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL COMPLEJO DUNAR……. 62

4.1. Seguimiento morfodinámico…….. 63

4.2. Batimetría de la zona submareal adyacente…… 68

4.3. Topografías de detalle del *inlet* o canal de comunicación laguna-mar.. 71

4.4. Evaluación del transporte eólico…….. 75

BIBLIOGRAFÍA …….. 75

ANEXOS

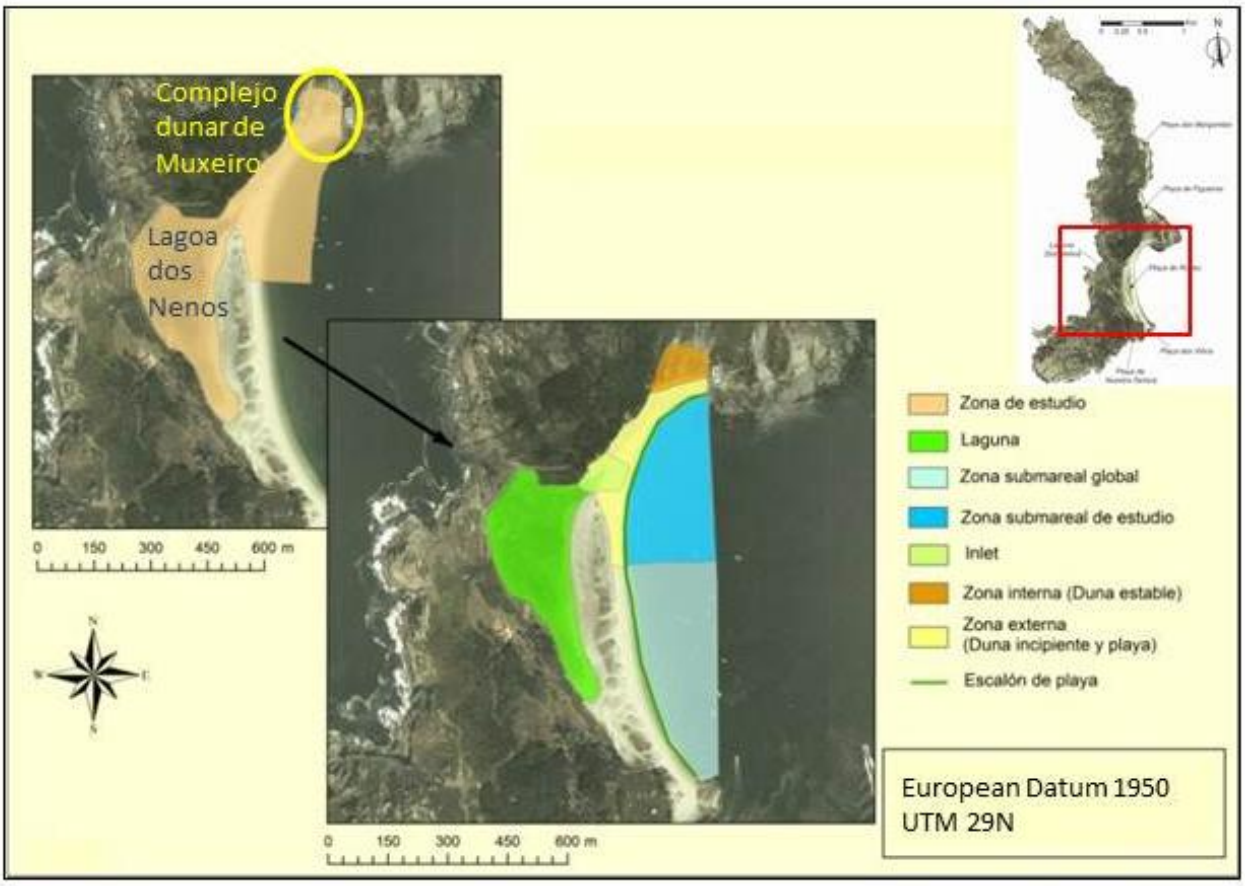
Anexo I: Anexo fotográfico

Anexo II: Resultados del análisis de las curvas de distribución granulométricas de las muestras de sedimento analizadas en la lagoa dos Nenos.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el *Archipiélago de las Islas Cíes*, el más meridional de los que constituyen el *Parque Nacional marítimo–terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia*. Se localiza en la entrada de la Ría de Vigo y representa para la misma una barrera natural frente al oleaje más energético de mar abierto.

La *lagoa dos Nenos* forma parte del complejo barrera-lagoon de Rodas, que junto con el *complejo dunar de Muxeiro* constituye el sistema o ambiente sedimentario más emblemático de las Islas Cíes, así como el de mayor envergadura de todo el Parque Nacional. La evolución de este complejo sedimentario ha unido dos de las tres islas del archipiélago: la isla de Monteagudo, al norte y la isla de Faro.



En el complejo dunar de Muxieiro pueden diferenciarse dos sectores, uno más interno, que puede definirse como una duna estable, aunque de alto valor natural debido a la flora y la fauna presentes en ella tales como la camariña. El otro sector, más externo, corresponde a la franja que limita la duna estable y la playa de Rodas, y caracterizado por la presencia de dunas embrionarias. Este último presenta una dinámica más activa y es sin duda la más sensible tanto a los cambios antrópicos (infraestructuras,…), como a los cambios naturales (eventos de tormenta asociados a épocas invernales). La lagoa dos Nenos presenta una comunicación permanente con el mar abierto por su extremo oeste y otra esporádica por el este, a través de la barrera arenosa de Rodas. Su volumen de agua está controlado por los ciclos mareales, y desde las últimas décadas está sufriendo un importante proceso de colmatación de sedimentos así como una disminución de la biodiversidad de sus fondos.

1. ANÁLISIS DEL CLIMA MARÍTIMO

Se ha realizado un estudio del clima marítimo de los últimos 50 años con el objeto de identificar el patrón principal de incidencia del oleaje y por tanto determinar el grado de exposición energética de la costa alrededor de las islas, el cual va a condicionar tanto el intercambio del prisma mareal en la Lagoa dos Nenos como el comportamiento morfodinámico, grado de estabilidad y evolución de la playa y sistema dunar asociado.

El análisis del Clima marítimo se ha realizado a partir de una serie de 44 años de valores de oleaje (punto SIMAR-44 1044069, período: 1958–2001). Se utilizó el programa CMS-FLOW (USACE-ERDC), del paquete informático SMS.

1.1. Oleaje de fondo en profundidades indefinidas

Las direcciones de mayor probabilidad de ocurrencia de aproximación de oleaje al archipiélago de Cíes corresponde con los sectores WNW y NW sumando un total de 65% (Hs_{99} de 3-5.6m) (Figura 1). Sin embargo la dirección más energética, con un Hs_{99} de 6.9m, se corresponde con el W con un 22% de ocurrencia. El SW y SSW corresponden también con condiciones energéticas (Hs_{99} 4-5.9m) aunque su probabilidad es poco significativa (sumando menos del 4% del tiempo).

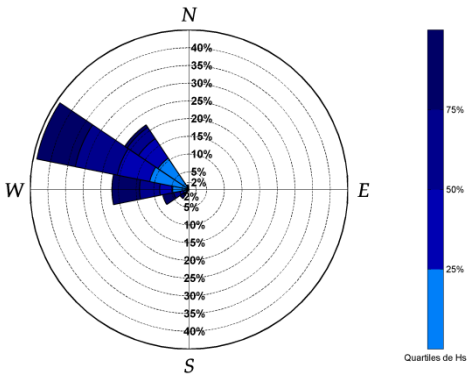


TABLA ESTADISTICOS BASICOS

Variable medida:Hs

direcciones(°)	prob.direccion	$Hs_{50\%}$	$Hs_{90\%}$	$Hs_{99\%}$	Hs_{12}
N	0.0001	1.0500	1.2000	1.2000	1.2000
NNE	0.0000	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ESE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SE	0.0000	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
SSE	0.0002	0.8000	0.9000	1.0000	1.0000
S	0.0002	1.1000	1.6000	1.8000	1.8000
SSW	0.0038	1.8000	2.9000	3.9560	5.1116
SW	0.0305	1.9000	3.8000	5.9000	6.9415
WSW	0.0757	2.0000	4.1000	6.2000	7.8167
W	0.2181	1.9000	4.1000	6.9000	9.0104
WNW	0.4393	1.6000	3.3000	5.6000	7.5000
NW	0.2188	1.2000	1.9000	3.0000	4.2000
NNW	0.0133	1.1000	1.5000	1.9000	2.1160

Figura 1-Rosa de oleaje de mar de fondo (altura significativa, HS) para el punto SIMAR44 1044069 (44 años de datos utilizados) y estadísticos básicos de la variable Hs para todas las direcciones.

1.2.Oleaje de fondo en las proximidades de la costa de las islas

Se ha aplicado la siguiente metodología:

• Propagación de 168 casos tipo (7 direcciones, 4 valores de altura significativa, Hs y 6 de periodo pico, Tp) para la creación de una malla tridimensional de Hs, Tp y Dirección dirigida a la reconstrucción del clima marítimo a lo largo de distintos puntos alrededor de las islas. El programa utilizado ha sido el CMS-FLOW (USACE-ERDC) que tiene en cuenta los procesos de refracción-difracción, asomeramiento y rotura.

• Reconstrucción del oleaje de fondo a partir de los datos SIMAR44.

• Análisis estadístico de las series de oleaje reconstruidas. Para ello se ha integrado la propagación de los 168 casos para la situación de marea baja y los mismos 168 para el caso de marea alta.

Con todo ello se analizan a continuación los siguientes aspectos:

- 1.2.1 - Patrón de propagación del oleaje en la plataforma y costa de las islas.
- 1.2.2 – Análisis de los puntos de control en torno a las islas.

1.2.1. Patrón de propagación del oleaje en la plataforma y costa de las islas

De todos los casos propagados se ha seleccionado el caso de un temporal de Hs 5m y Tp 16s para describir la situación de un temporal medio tipo para cada una de las direcciones significativas (NW, WNW, W, WSW, SW y SSW) (figura 2).

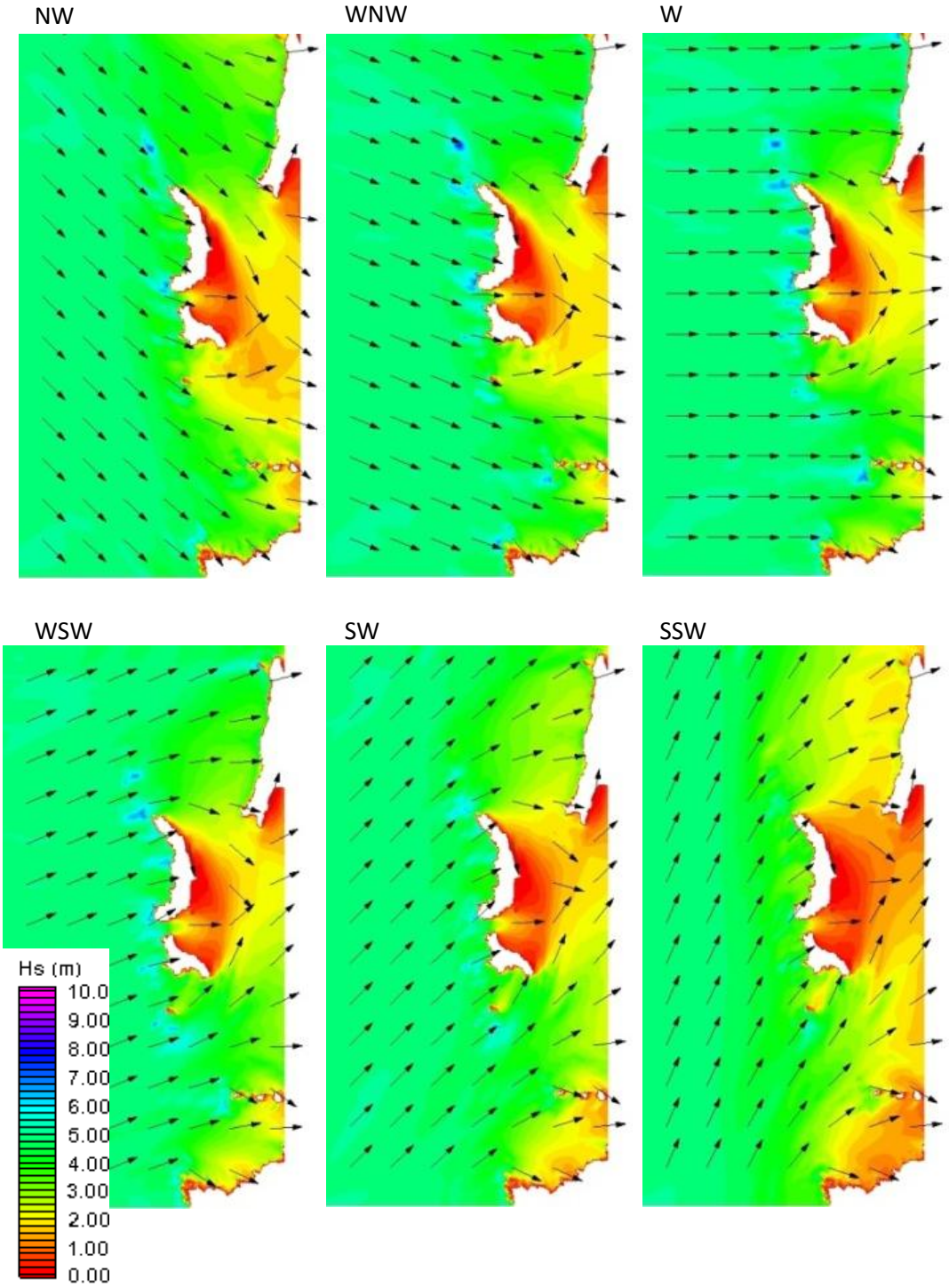


Figura 2 - Propagación de los frentes de oleaje correspondientes a un temporal tipo (Hs=5m, Tp=16s) para la zona de los archipiélagos de Cíes considerando diferentes direcciones de

aproximación.

Como se puede observar en la figura 2, debido a las dimensiones y orientación de las islas representan en todos los casos propagados una pantalla energética que protege la entrada de la ría y generan una zona de calma tras ellas, lo cual va a permitir el desarrollo de los ambientes sedimentarios que allí encontramos.

Cuando el oleaje rola hacia el SW y SSW la presencia de la isla sur (San Martiño) juega un papel fundamental ya que impide que la energía penetre hacia la costa oriental. Sin esta presencia, los sistemas de playas y dunas allí desarrollados o casi no existirían o tendrían menor envergadura. En la figura 3 puede observarse con mayor detalle el patrón de distribución de oleaje con las condiciones más frecuentes.

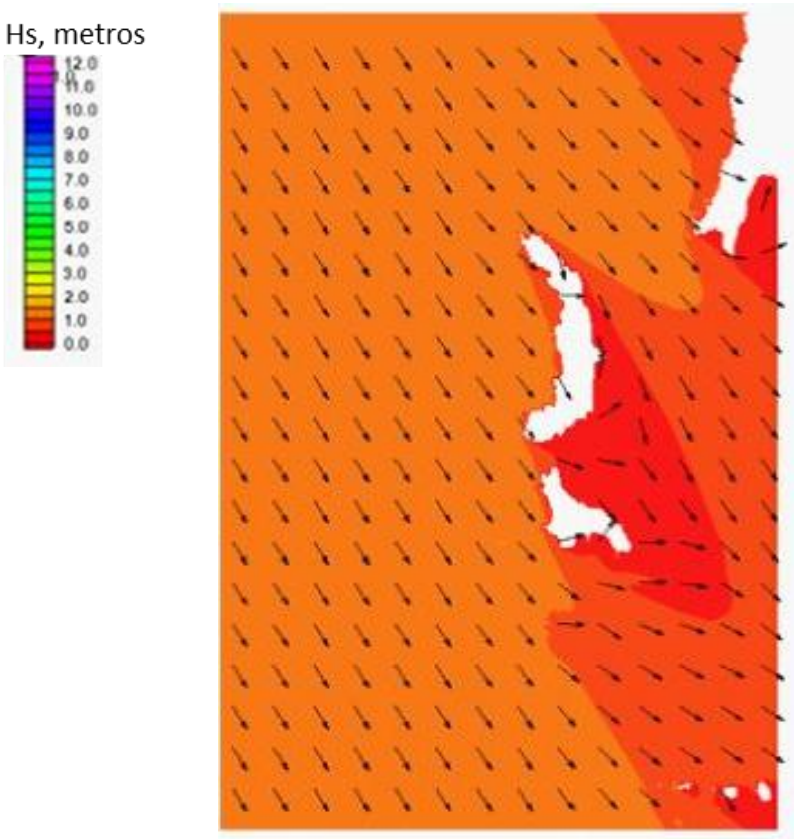


Figura 3- Propagación del oleaje de mar de fondo para las condiciones de procedencia más frecuentes.

De todo lo anterior se deduce que se pueden diferenciar tres zonas:

-*La **costa oeste** o exterior*. Es la más energética en todas las situaciones, lo que hace que predominen los procesos de erosión que caracterizan una costa de acantilados, furnas y pequeñas playas de bolos o coidos asociados a pequeños entrantes.

-*La **costa este** o interior*, siempre protegida, se caracteriza por procesos de sedimentación donde se desarrollan sistemas de playas y dunas.

-*El **canal entre islas***, representa una entrada de energía de oleaje al margen este, es decir, hacia la ría; esto genera en estas zonas un importante depósito de sedimento en forma de abanico submareal que da lugar unos fondos arenosos pocos profundos (10-5m) que representan un importante ecosistema para las islas.



COSTA OESTE



COSTA ESTE

1.2.2. Análisis de los puntos de control en torno a las islas

Se han realizado dos tipos de gráficos significativos de las condiciones del oleaje de fondo en distintos puntos de control (figura 4). En la primera serie de ellos se muestra el estadístico Hs_{50}% que está asociado a las condiciones medias, mientras que la segunda se corresponde con el estadístico Hs_{90}% que es atribuible a las condiciones de temporal medias.

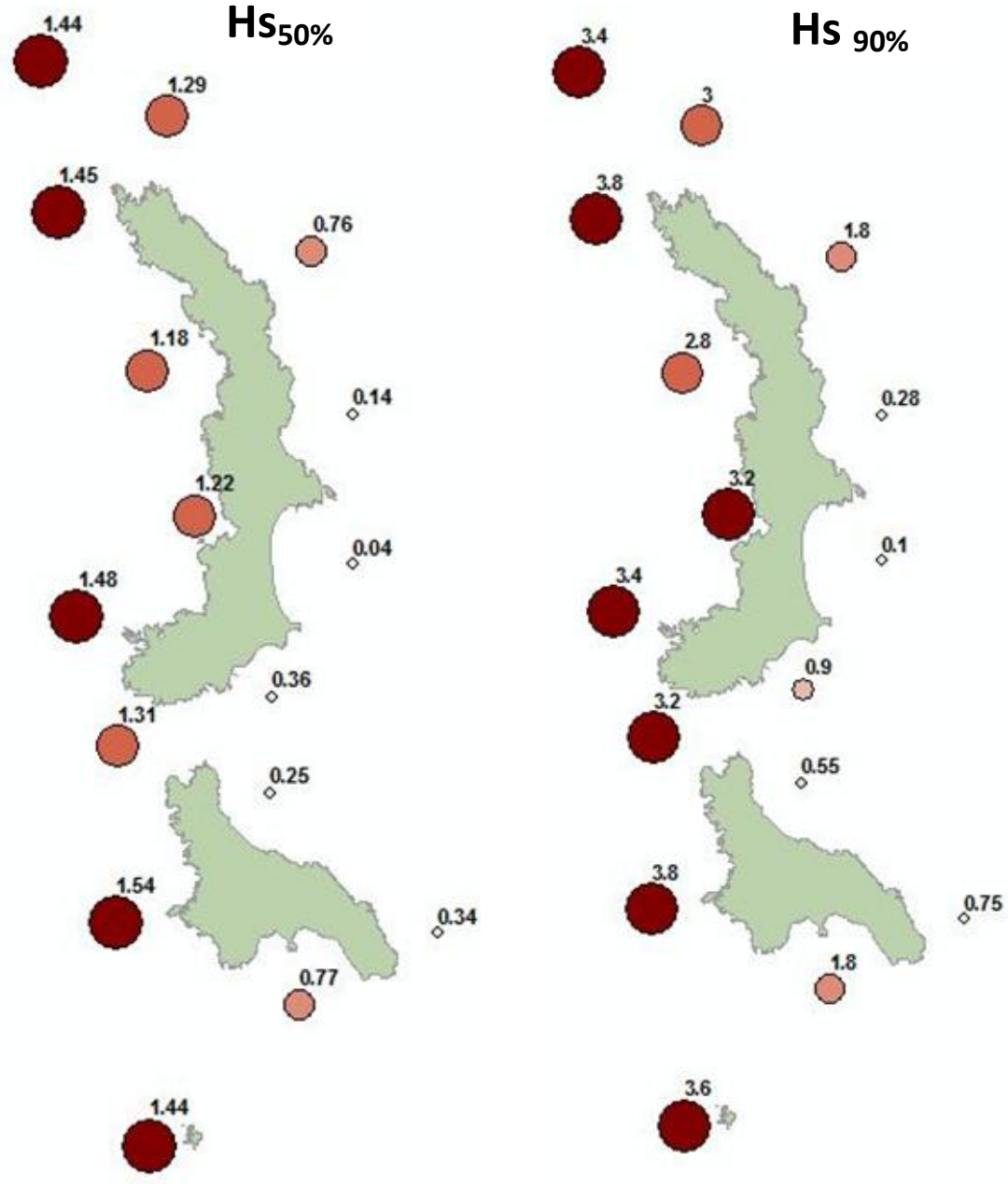


Figura 4– Valor de altura significante, Hs, en puntos de control correspondiente a las condiciones medias ($Hs_{50\%}$) y de temporal medio ($Hs_{90\%}$) de oleaje. Los colores muestran la magnitud del estadístico (colores rojizos y tamaños mayores simbolizan los valores más altos).

Los resultados obtenidos muestran el mismo patrón de distribución de oleaje para las condiciones medias y de temporal alrededor de las islas. **Las mayores alturas de ola se registran en la costa oeste** (valor medio de Hs_{50} de 1.5m y de Hs_{90} entre 3.2 y 3.8m), **con máximas en general en el extremo suroeste**.

En contraste, **la costa este o interior no muestra importantes cambios entre condiciones medias y de temporal**, oscilando entre alturas de 0.1 y 0.04m (esta última frente a Rodas) para condiciones medias que tan sólo llegan a 0.25 y 0.1m (esta última frente a Rodas) en épocas de temporal. Esto ratifica el efecto de "sombra" o protección que ejercen las islas frente al oleaje, lo cual confiere a este margen de las islas una singular característica de "abrigo" frente a los temporales.

Es de destacar no obstante los valores de mayor energía detectada en las zonas de influencia del canal entre islas, donde la altura de ola alcanza máximas de 0.3m en condiciones medias que llegan a valores de 0.9m durante condiciones de temporal.

2. CARTOGRAFÍA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO MEDIANTE FOTOGRAFÍA AÉREA

La cartografía mediante fotografía aérea nos permite en primer lugar delimitar los distintos subambientes que se pueden identificar en la zona de estudio, estos son: laguna permanente e intermareal, *inlet* o canal de comunicación esporádico, playa,

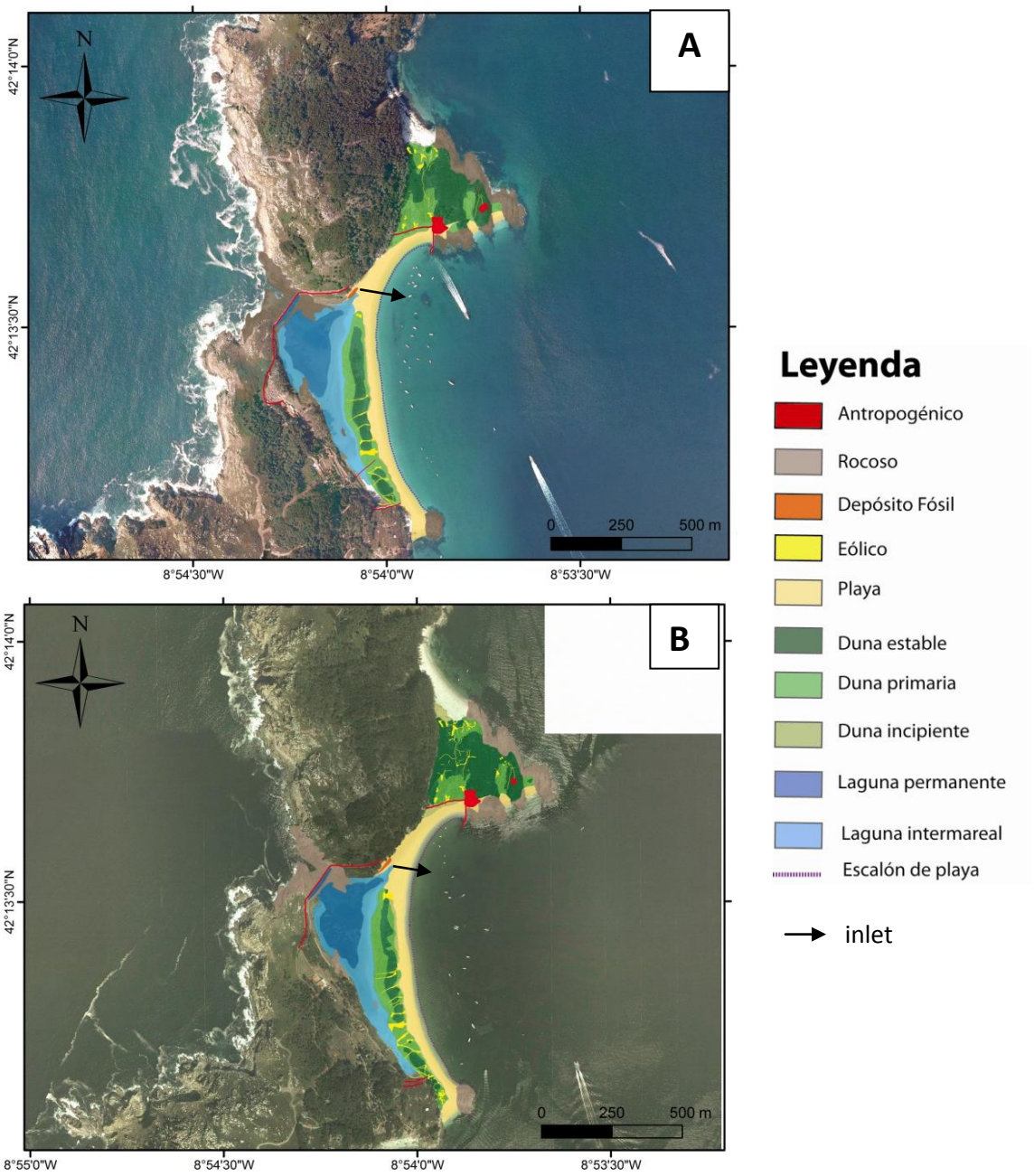


Figura 5 -Cartografía de los ambientes sedimentarios del sistema playa-barrera-*laggon* de Rodas (incluye playa-dunas de Rodas y Lagoa dos Nenos) y Dunas de Muxieiro a partir de las fotografía aéreas georreferenciadas de los años 2010, A y 2003, B.

duna incipiente o embrionaria, duna primaria y duna estable, corredores eólicos, afloramientos rocosos, afloramientos fósiles pre-Holocenos e infraestructuras de origen antropogénico. La figura 5 A, muestra esta cartografía a partir de la fotografía aérea de 2010, la más actual disponible hasta la fecha.

En esa misma figura se hace una comparación de la cartografía de esos mismos subambientes respecto a la fotografía aérea de 2003 con el objeto de conocer la evolución reciente de este medio natural y por tanto poder evaluar el grado de estabilidad del mismo durante este periodo (figura 5 B).

A continuación se resumen las variaciones más destacadas identificadas durante este periodo, de las cuales podemos deducir la tendencia evolutiva actual de estos medios:

- Aumento de la extensión de la duna estable (tanto en Muxieiro como en Rodas) en relación a la duna primaria e incipiente. Esto denota una estabilización de las zonas dunares lo que conlleva una reducción potencial de la capacidad de transporte eólico.
- Disminución de zonas de corredores eólicos en las dunas de Rodas y Muxieiro.
- Disminución de la extensión de la laguna permanente.
- Aumento de la extensión de la zona de influencia del *inlet* o canal de comunicación esporádico a través de la playa de Rodas.

Con el objeto de aumentar la escala del estudio evolutivo de la zona, hemos incorporado una cartografía basada en la fotografía aérea más antigua existente y que data del año 1945 (figura 6).

Esta cartografía la utilizamos como referencia de una situación inicial en la cual prácticamente no existía impacto humano en las islas (construcciones en la línea de costa, extracciones de áridos, etc). Las mayores diferencias detectadas entre las cartografías de 1945 y 2003-2010 se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se produce un **cambio de posición del canal de comunicación de la laguna**, *o inlet*, a través de la playa de Rodas del extremo Sur de la barrera en 1945 al

extremo norte en la actualidad, lo cual va a generar un cambio en la circulación litoral del sistema y en la redistribución de sedimentos. En esta época en el norte de la playa la comunicación era efímera.

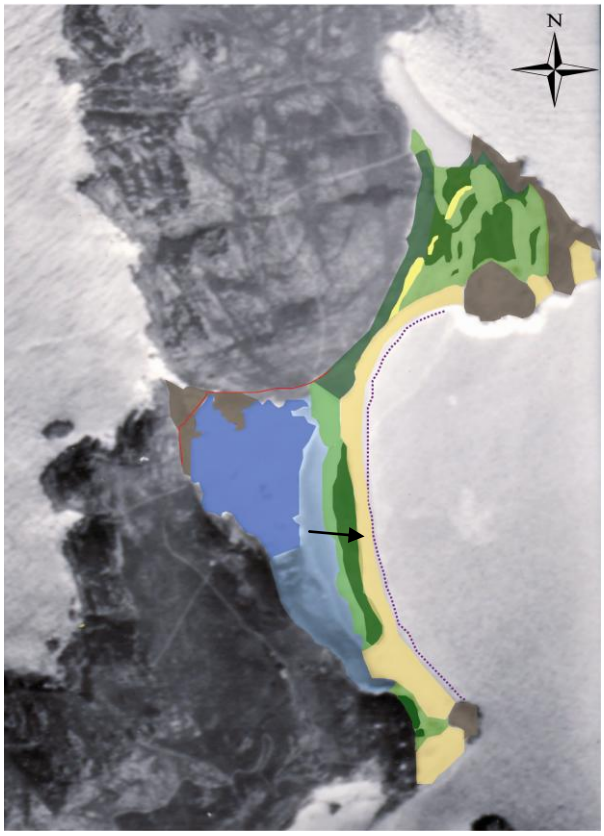


Figura 6– Cartografía de los ambientes sedimentarios del sistema playa-barrera-*lagoon* de Rodas y Dunas de Muxieiro a partir de la fotografía aérea de 1945.

- **Aumenta la extensión y estabilidad de las dunas de la parte sur de Rodas**, en el lugar donde existía ese antiguo canal de comunicación.
- **Desaparece por erosión el cordón dunar del extremo norte de la barrera**; este hecho está asociado a que se instala por este sector el canal principal de comunicación con la laguna, lo cual está a su vez relacionado con la progresiva disminución de energía en el interior de la laguna debido a las sucesivas obras del dique en el extremo oeste de la misma.
- **Se reduce la extensión de laguna permanente**.

3. ESTADO MEDIOAMBIENTAL ACTUAL Y SEGUIMIENTO DE LA LAGOA DOS NENOS

En este apartado se incluyen los resultados correspondientes a los aspectos indicados en las tres primeras fases de la Memoria Técnica del proyecto:

- **FASE I: VALORACIÓN DEL ESTADO MEDIOAMBIENTAL ACTUAL DE LA LAGUNA**. El análisis incluye aspectos biológicos y geológicos.
- **FASE II: SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DE LA LAGUNA**.
- **FASE III: RECONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA LAGUNA EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS.**



3.1. CONOCIMIENTO DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA

Se procedió a la recogida de muestra de agua de forma mensual en un punto central de la laguna, con el fin de obtener información acerca del grado de eutrofización de la misma. Para ello se han realizado medidas de clorofila, concentración de oxigeno presente en la laguna concentración de nutrientes y taxonomía. Algunos de estos análisis aún están en proceso, si bien ya se pueden mostrar algunos de los resultados correspondientes al funcionamiento de las comunidades microbianas del agua de la laguna.



3.1.1. Estructura Y FUNCIONAMIENTO DE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS

La actividad de las comunidades planctónicas microbianas en la *Lagoa dos Nenos* debe jugar un papel importante en la caracterización del estado ecológico de la laguna, al actuar como intermediarios entre los condicionantes físico-químicos externos (determinados por las condiciones locales y los intercambios de agua entre la laguna y el mar exterior) y los ciclos biogeoquímicos de la laguna. En este sentido, algunos aspectos relevantes de la química de la laguna, como las dinámicas de nutrientes y oxígeno disueltos son influidos de forma notable por la actividad de los microorganismos planctónicos.

La **Producción Neta de la Comunidad** (PNC) es el balance entre los procesos de síntesis y respiración de materia orgánica por el conjunto de organismos (auto- y heterótrofos) de la comunidad planctónica. Por lo tanto, representa la contribución neta de la comunidad a los ciclos de C, nutrientes y O2 disuelto.

Dado que la dinámica planctónica en la laguna, y particularmente la variabilidad de la fotosíntesis y respiración, son desconocidas, se ha medido mensualmente durante un año la actividad metabólica (fotosíntesis bruta, respiración de la comunidad, y producción neta de la comunidad) del plancton, mediante incubaciones de 24 h para determinar el consumo y la producción de O2 disuelto.

Además de estas medidas que caracterizan el funcionamiento metabólico, se ha medido simultáneamente una serie de variables con el fin de caracterizar tanto el estado químico del hábitat (concentración de O2 y nutrientes disueltos), como la estructura de las comunidades planctónicas (concentración de clorofila-a fraccionada por tamaño, diversidad y abundancia de organismos mediante citometría de flujo). Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de las muestras recolectadas están siendo procesadas, por lo que se presentan resultados preliminares de metabolismo, a la espera de disponer de los datos complementarios. Se espera disponer de la base de datos completa y revisada en abril de 2012, lo que permitirá completar el análisis de la

variabilidad en la estructura y funcionamiento del plancton de la laguna, y remitir un manuscrito específico de este apartado antes de final de 2012.

Los resultados obtenidos muestran un marcado ciclo estacional del metabolismo planctónico con un máximo de actividades auto- y heterotróficas en junio (Figura 7).

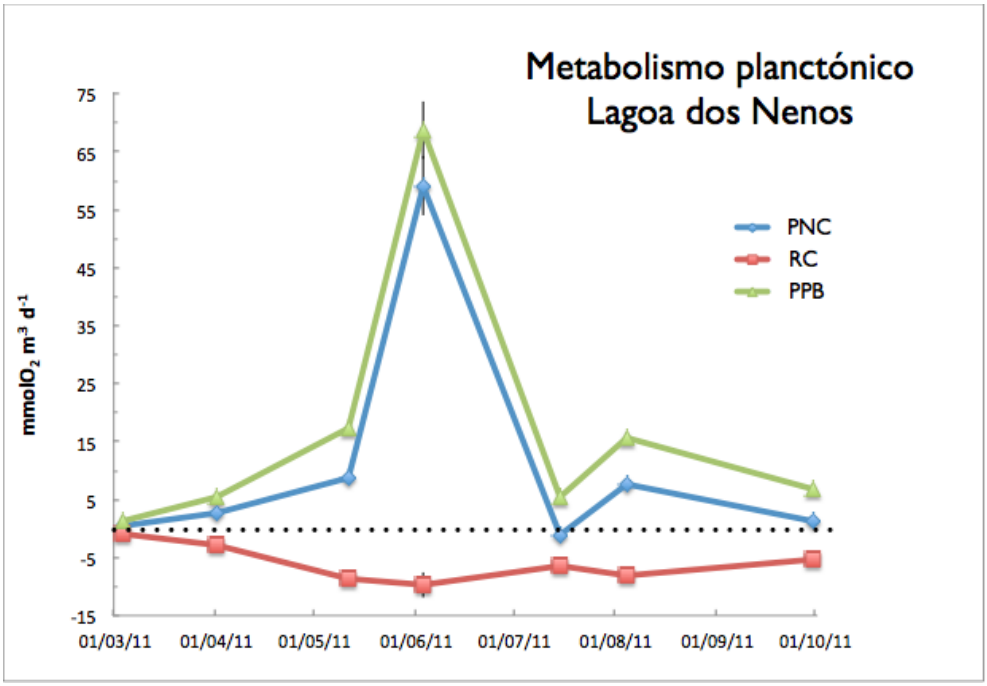


Figura 7. Variación temporal de la **producción primaria bruta** (PPB), **respiración de la comunidad** (RC) y **producción neta de la comunidad** (PNC) del plancton microbiano en la Lagoa dos Nenos durante el año 2011. Se presentan los promedios con sus correspondientes errores estándar. La respiración se representa en valores negativos. La línea de puntos indica el valor de 0 mmol O2 m-3 d-1, es decir, en el caso de la PNC, marca la transición de auto- a heterotrofia neta.

Durante gran parte del año el metabolismo neto de la comunidad se encontró próximo al balance (PNC=0), y sólo en una ocasión (julio) se encontró un metabolismo neto heterotrófico (mayor respiración que producción primaria) (Figura 7).

Se observó una buena relación entre la variación de la producción primaria bruta (PPB) y la de la respiración de la comunidad (RC) (Figura 8), lo que sugiere que el metabolismo heterotrófico en la laguna está conectado a los procesos locales de síntesis de materia orgánica, con una influencia relativamente menor de los aportes alóctonos. Por otro lado, la variabilidad de la producción primaria bruta (PPB) fue mucho mayor (con un rango entre 1,2 y 68,7 mmolO2 m-3 d-1) que la de la respiración de la comunidad (RC) (con un rango entre 0,8 y 9,7 mmolO2 m-3 d-1). Consecuentemente, la variación estacional de la PNC estuvo muy ligada a la de PPB, lo que indica que en situaciones favorables al crecimiento del fitoplancton (junio), se debe acumular una importante cantidad de materia orgánica en la laguna, lo que podría dar lugar a periodos de heterotrofia neta (RC>PPB). De hecho, la única ocasión en que se midió PNC<0 fue en el mes de julio, después de la proliferación de fitoplancton de junio.

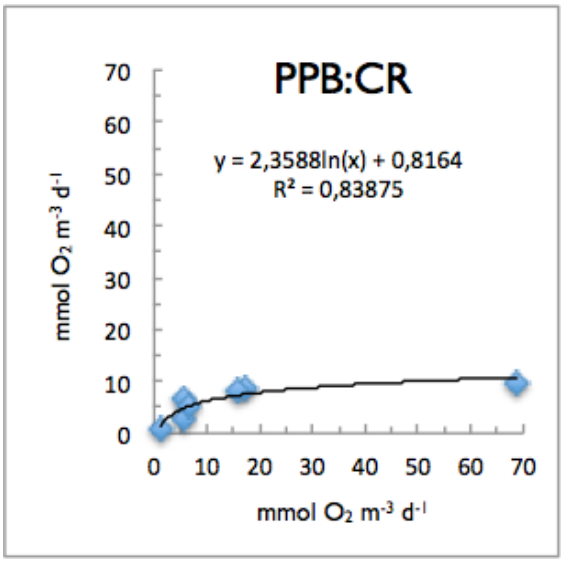


Figura 8. Relación empírica entre la Producción Primaria Bruta (PPB) y la Respiración de la Comunidad (RC) del plancton microbiano en la *Lagoa dos Nenos*.

La buena relación entre PPB y RC (Figura 8) permite establecer valores umbrales de PPB por debajo de los cuales se puede esperar encontrar una PNC<0. En el conjunto del ciclo anual estudiado el valor umbral de PPB que separa el metabolismo neto auto- del heterotrófico es de 4,8 mmolO2 m-3 d-1. Aunque la PPB se mantuvo próxima a este valor durante varios meses, la ausencia de eventos productivos durante los meses de otoño e invierno sugiere que en ese período la heterotrofia neta no debería alcanzar valores negativos elevados. Aunque el ciclo anual muestreado ha permitido identificar estas fases críticas, la separación entre muestreos (por ejemplo para la transición auto-heterotrofia: 3-junio a 15 de julio) hace difícil determinar la dinámica de la acumulación y consumo estacional de materia orgánica. Dado el importante impacto que puede tener sobre las condiciones químicas de la laguna el desarrollo de eventos de eutrofización, caracterizados por un fuerte metabolismo neto heterotrófico, se sugiere la necesidad de estudiar dicha dinámica con mayor resolución temporal, particularmente durante el periodo inmediatamente posterior a la proliferación de primavera. La interpretación de estos resultados, y en particular, el análisis de las consecuencias que la actividad del plancton tiene sobre el hábitat químico de la laguna, se completarán cuando estén disponibles los datos procedentes de las muestras que se están analizando.

3.1.2. Campaña experimental

Con el objetivo de aumentar la resolución de los datos mostrados anteriormente, tomados a lo largo de la campaña del año 2011 (marzo-octubre), se estimó conveniente realizar una serie temporal en la laguna para estudiar el grado de eutrofización a escala temporal corta.

Los muestreos se realizaron durante 5 días, comprendidos entre el 25 y el 29 de junio de 2012, teniendo en cuenta que dentro de la laguna se había observado un desfase de al menos hora y media en la máxima pleamar con respecto a la marea en mar abierto (según estudios previos realizados por la Dra. Alejo I.). En la tabla I se muestra la planificación del muestreo realizado.

Se instaló una batea provisional fondeada en la laguna en la parte más próxima al dique, donde presenta mayor profundidad, en donde se colocaron las incubaciones correspondientes (figura 9).

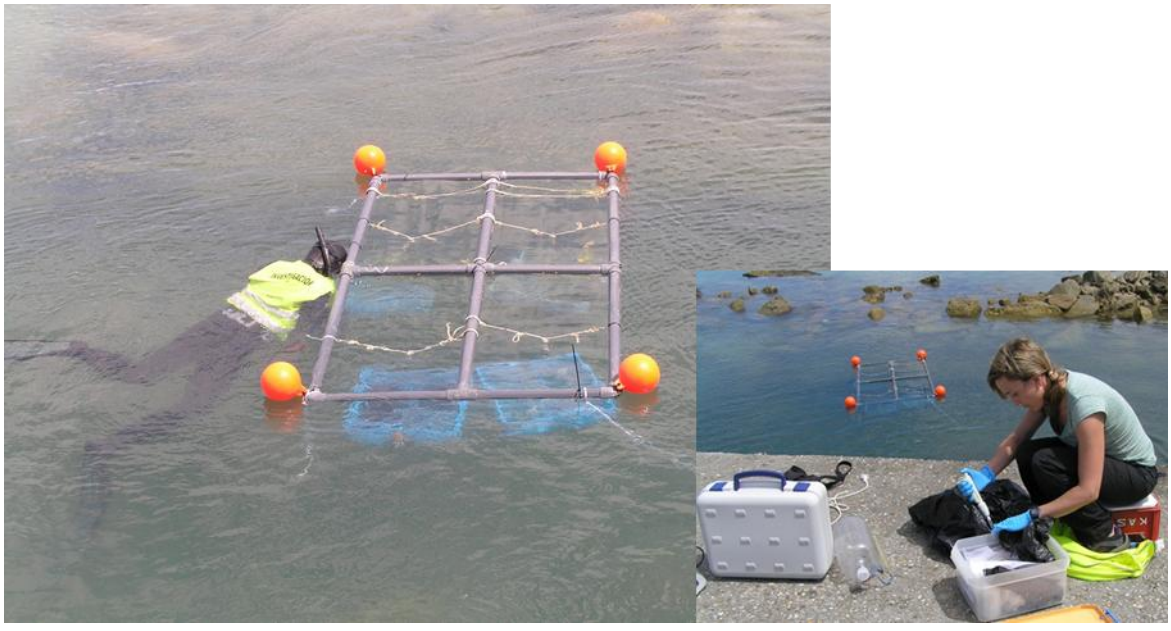


Figura 9. Batea de experimentación con las incubaciones y primeras medidas en campo.

A continuación se especifican las variables objeto de estudio:

- Determinación de las tasas metabólicas: producción primaria bruta (PPB), neta (PNC) y respiración de la comunidad planctónica (RC) mediante incubaciones *in situ* de botellas claras/oscuras y titulador automático (método Winkler). Muestreos realizados a 6, 12 y 24 h en el caso de PPB y RC y a 24 h en el caso de PNC.

- Análisis de clorofila fraccionada (PNC *in situ*) de las comunidades fitoplanctónicas mediante fluorometría, Muestreos realizados al comienzo (0 h) y fin de la marea (6 h).

- Determinación de la respiración real (de la comunidad y bacteriana) *in vivo* de comunidades planctónicas mediante la técnica ETS (método INT). Muestreos realizados cada dos horas entre el comienzo (0 h) y fin de la marea (6 h).

- Caracterización taxonómica y determinación de abundancias de especies fitoplanctónicas mediante el método Utermöhl con microscopio invertido. Muestreos realizados al comienzo (0 h) y fin de la marea (6 h).

- Caracterización y recuento de poblaciones fitoplanctónicas mediante citometría de flujo. Muestreos realizados al comienzo (0 h) y fin de la marea (6 h).

- Determinación del crecimiento real de la población de fitoplancton a través del método propuesto por Landry et al. 1995. Muestreos realizados al comienzo (0 h) y fin de la marea (6 h).

- Medición de los parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, O2 disuelto, pH) en cada tiempo de muestreo mediante sonda multiparamétrica.

t	Chla	Winkler	Landry	ETS	Citometría	Microscopía	Medición de Parámetros
T0h	R.M.	I	R.M. / I	I	R.M.	R.M.	Si
T2h				R.I. / I			Si
T4h				R.I. / I			Si
T6h	R.M.	R.I.	R.I.	R.I.	R.M.	R.M.	Si
T12h		R.I.					
T24h		R.I.					

Tabla I. **R.M. :** Recogida de muestra; **I** : Colocación de Incubación; **R.I.** : Recogida de la Incubación

3.1.2.1. TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS

A continuación se expecifican los análisis realizados y finalidad de los mismos, haciendo mención a la metodología expecífica.

- **Determinación de las tasas metabólicas mediante método Winkler.**

  Se llenaron 16 botellas oscuras y 4 claras de 50ml de borosilicato dejando desbordar una vez el volumen de la botella, y asegurándonos de que no quedaba ninguna burbuja en su interior. Cuatro botellas oscuras se fijaron inmediatamente después de ser llenadas, y las demás botellas, claras y oscuras, se incubaron a diferentes tiempos en la batea en condiciones de temperatura y luz naturales. Las botellas oscuras se metieron en bolsas de tela opacas para evitar la incidencia de la luz. Las muestras se fijaron según las recomendaciones de Grasshoff et al. (1983), añadiéndose sucesivamente a cada muestra 0,5ml de solución de $MnSO_4$ y 0,5ml de solución de KI/KOH dejándolas reposar al menos durante dos horas antes de disolver el precipitado con 0,5ml de H_2SO_4. La concentración de O_2 disuelto se determinó mediante un valorador automático 721 NET TITRINO utilizando el punto final potenciométrico (Pakulski et al. 1995). Para maximizar la reproducibilidad del muestreo se emplearon pipetas Knudsen previamente taradas.

- **Análisis de clorofila fraccionada (PNC *in situ*).**

  Se filtraron 250 mL (por duplicado) secuencialmente (20, 2, 0.2 µm) a través de filtros de policarbonato de 47mm, que se congelaron inmediatamente a -20°C. La clorofila se extrajo sumergiendo los filtros en acetona al 90% durante 18 h y se midió utilizando el fluorómetro TD-700, calibrado con un estándar de clorofila.

- **Determinación de la respiración real (de la comunidad y bacteriana) *in vivo* de comunidades planctónicas mediante la técnica ETS (método INT).**

  Se Llenaron 4 botellas de PE con 100 mL de muestra. Se fijó inmediatamente una (que sería el control) añadiendo 2.5 mL de formol al 37%. Se esperaron como mínimo 20 minutos. Se añadieron 1.25 mL de sal INT a las 4 botellas y se incubaron durante 2 horas. Tras la incubación se fijaron las tres réplicas igual que el control. Se almacenaron en cajas opacas a temperatura ambiente. En el laboratorio se filtraron secuencialmente en campana a través de filtros de policarbonato de 0.8 y 0.2 micras de 47 mm. Los filtros se congelaron en crioviales de 1.5 mL a -20°C.
  (**Pendiente de análisis)**

- **Caracterización taxonómica y determinación de abundancias de especies fitoplanctónicas mediante el método Utermöhl con microscopio invertido.**

  Se muestrearon 60 mL en botellas topacio de vidrio y se fijaron con 1,8 mL de lugol. Se conservaron a temperatura ambiente y en oscuridad

  (Pendiente de análisis)

- **Caracterización y recuento de poblaciones fitoplanctónicas mediante citometría de flujo.**

  Se muestrearon 1,8 mL en crioviales de 2 mL (por duplicado) y se fijaron con 180µL de P+G. Las muestras se conservaron a -20°.
)Pendiente de análisis)

- **Determinación del crecimiento real de la población de fitoplancton a través del método propuesto por Landry *et al.* 1995.**

  Se realizaron diluciones al 33% y 5% en bidones Nalgene de PC de 5L y se tomaron 250 mL (por duplicado) de cada dilución así como de agua sin diluir, y se filtraron secuencialmente (20, 2, 0.2 µm) a través de filtros de policarbonato de 47mm; que se congelaron inmediatamente a -20ºC. La clorofila se extrajo sumergiendo los filtros en acetona al 90% durante 18 h, y se midió utilizando el fluorómetro TD-700, calibrado con un estándar de clorofila.

3.2. COLOCACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA Y ESTACAS DE REFERENCIA

A lo largo del periodo de estudio se instalaron una serie de estacas de seguimiento en el interior de la laguna con el objeto de establecer puntos de referencia fijos para determinar la tendencia evolutiva de la misma. Estas se distribuyeron por toda la laguna con el fin de permitir obtener una medida directa de aumento o disminución de sedimentos (figura 10). A finales de enero de 2011 un temporal hizo desaparecer varias de ellas, y obligó a la instalación de otras nuevas, con lo cual la serie de medidas se redujo. Esta red de estacas se mantendrá en la laguna tras la finalización de este proyecto con el objeto de ampliar el registro a varios años de medida, de forma que nos permita determinar con mayor fiabilidad la tendencia evolutiva, más allá del impacto de eventos puntuales.



Figura 10. Localización de estacas de referencia (anteriores, en rojo, y posteriores, en verde, al temporal de enero de 2011) y sensores de presión y correntímetro ("equipos", círculos en morado y azul respectivamente) dentro y fuera de la laguna.

Paralelamente se han mantenido dos sensores de presión (AQUAloguer 520PT y SBE39) que registran el nivel de la lámina de agua (registro del prisma mareal) tanto en el interior de la laguna como en un muerto localizado frente a la playa de Rodas (círculos morados en la figura 10). Estas medidas nos permiten analizar el comportamiento del prisma mareal e intercambio de aguas dentro de la laguna.

De forma puntual a lo largo del periodo estudiado se ha colocado también un correntímetro monopunto en dos posiciones (círculos azules en la figura). Una, en el extremo oeste central de la laguna (frente a la zona de comunicación permanente con el mar), con el fin de evaluar la capacidad de transporte asociada a la entrada y salida de la marea así como la circulación dominante en el interior de la laguna. Otra, frente a la playa de Rodas en la zona de apertura del *inlet*, para detectar la componente longitudinal del transporte de sedimentos en la playa.

A continuación se muestran los datos más relevantes tratados hasta la fecha.

3.2.1. Estacas de referencia

Si bien, las variaciones topográficas de la lagoa dos Nenos se han determinado mediante la realización de varias topografías-batimetrías de detalle realizadas mediante levantamiento continuo con GPS diferencial (los resultados se presentan en el apartado 3.4), el sistema de "estacas de referencia" se estableció para obtener un control puntual de las variaciones topográficas del sustrato sedimentario de la laguna que pudiera mantenerse de forma continua a lo largo del tiempo y que por su sencillez no requiriera de la utilización de ningún equipamiento. Se trata por tanto de un sistema de control diseñado para aumentar la frecuencia de adquisición de datos de control topográfico como apoyo a las cartografías que se realicen. Es aconsejable mantener en el tiempo esta monitorización, por lo que este sistema de referencia quedará en la laguna hasta que la dirección del Parque Nacional lo considere oportuno.

En la tabla II se muestran un resumen de los datos y variaciones topográficas registradas hasta el momento. A vista de estos datos podemos determinar que las variaciones topográficas observadas durante este periodo han sido muy poco significativas y que las mismas (y por tanto la evolución del sistema) han de ser observadas durante un periodo de tiempo mayor de registro, por ello el interés de que se mantenga esta red de control en la zona.

códigos	22/02/2011	28/09/2011	24/11/2011	13/11/2012	variación registrada
1	0.46	0.48	0.43	0.37	0.09
2	0.76	0.74	0.77	0.77	-0.01
3	1.02	1.02	1.04	1.02	-0.01
4	1.19	1.20	----	1.21	-0.02
5	1.03	1.04	1.03	1.05	-0.02
6	0.91	0.94	0.93	0.94	-0.03
7	1.02	1.02	1.02	0.95	0.08

Tabla II. Alturas de las estacas de control tomadas en distintos momentos desde su instalación en la laguna. Corresponde a la distancia (en metros) desde el lecho sedimentario hasta el extremo de la estaca. La posición de las mismas, con el código correspondiente) se muestra en la figura 10. En color se indican los valores más significativos y que corresponden a acumulación.

3.2.2. Sensores de presión

La figura 11 muestra la situación de los sensores instalados en la zona para registrar la curva de marea en el ambiente confinado de la *lagoa dos nenos* (circulo naranja) y la curva correspondiente al mar (círculo azul) en la ensenada de Rodas. El registro en estos mismos puntos fue iniciado en septiembre de 2009, dentro del marco de un proyecto anterior concedido por el Ministerio de Medio Ambiente, Red de Parques Nacionales. El presente proyecto, permitió continuar en el tiempo con los registro, ampliando de este modo la escala temporal de datos disponibles. Actualmente estos equipos siguen instalados y se continúa con el registro de las curvas de marea. No obstante, en esta memoria se mostrarán los datos correspondientes al periodo diciembre 2010-septiembre 2011.



Figura 11. Situación de los sensores de presión dentro (naranja) y fuera (azul) de la laguna. Detalle de los modelos de equipos utilizados.

A continuación, en las figuras 12 y 13, se muestran la representación de las curvas de marea registradas dentro de la laguna (figura 12) y fuera de ella (figura 13) durante el periodo comprendido del 1 de diciembre de 2010 al 1 de octubre del 2011.

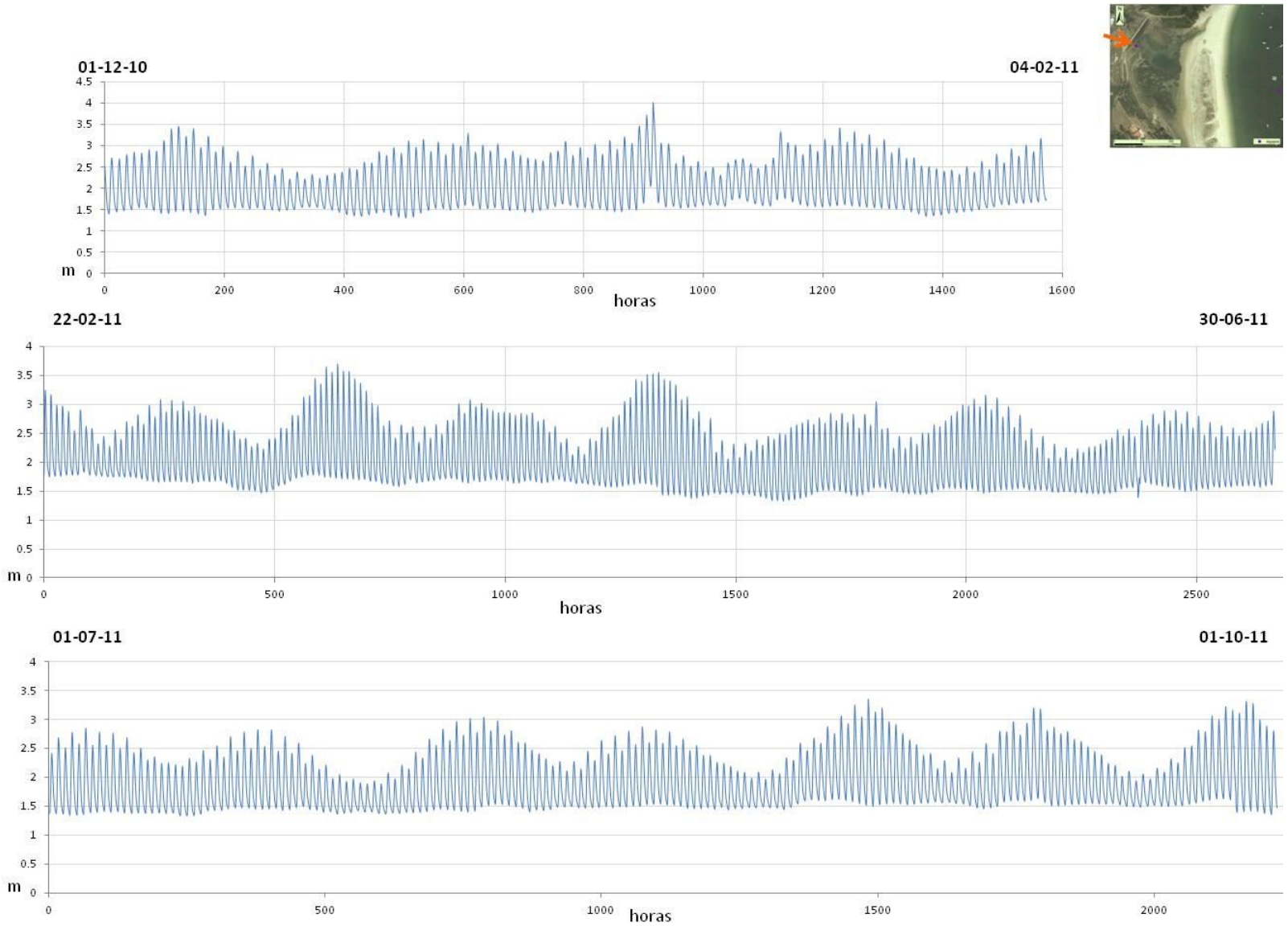


Figura 12- Curvas de marea registradas en la Lagoa dos Nenos desde el 1 de diciembre de 2010 al 1 de octubre de 2011. Altura referida al cero topográfico. .

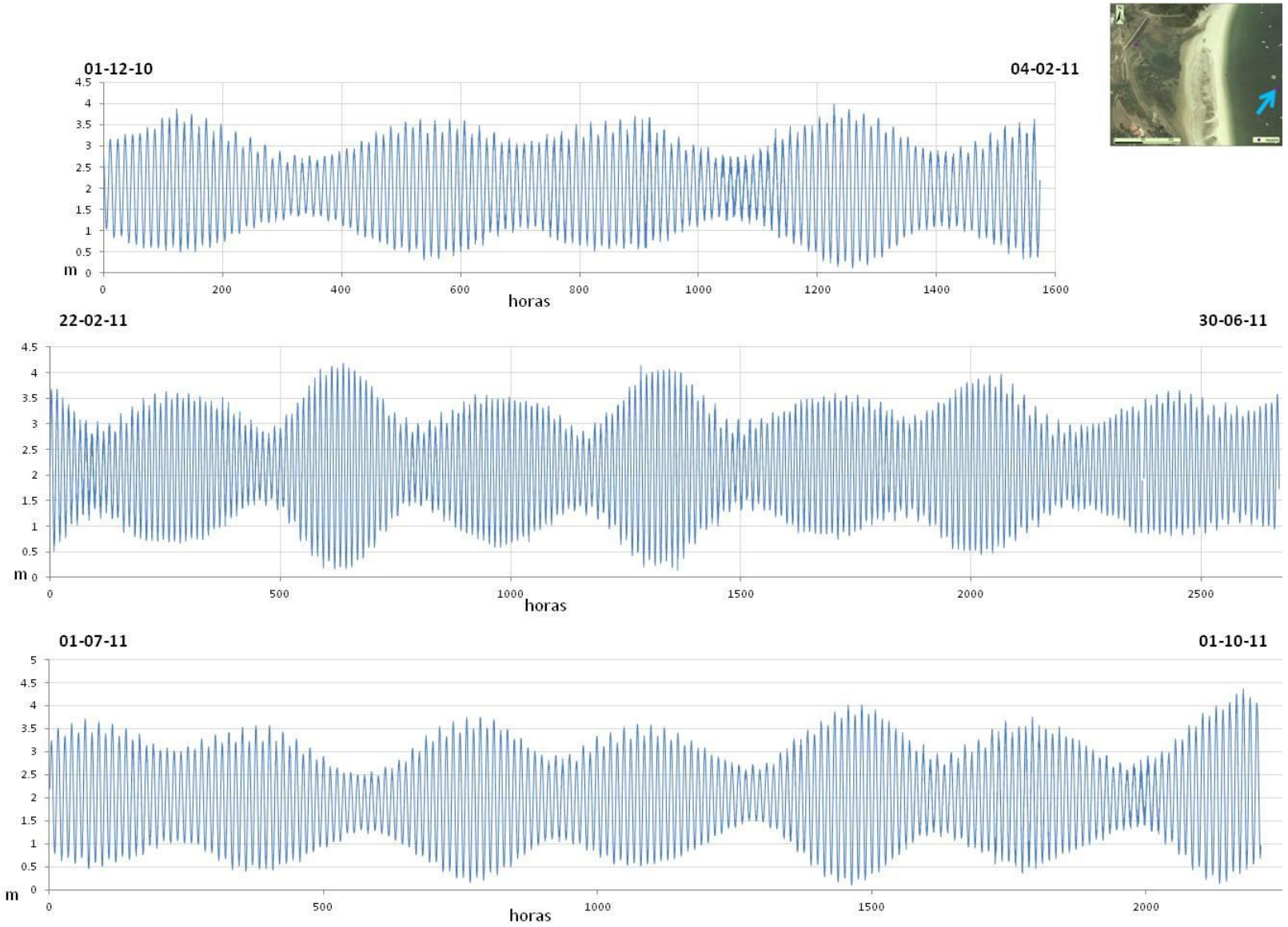


Figura 13- Curvas de marea registradas en el mar frente a la playa de Rodas desde el 1 de diciembre de 2010 al 1 de octubre de 2011. Altura referida al cero topográfico.

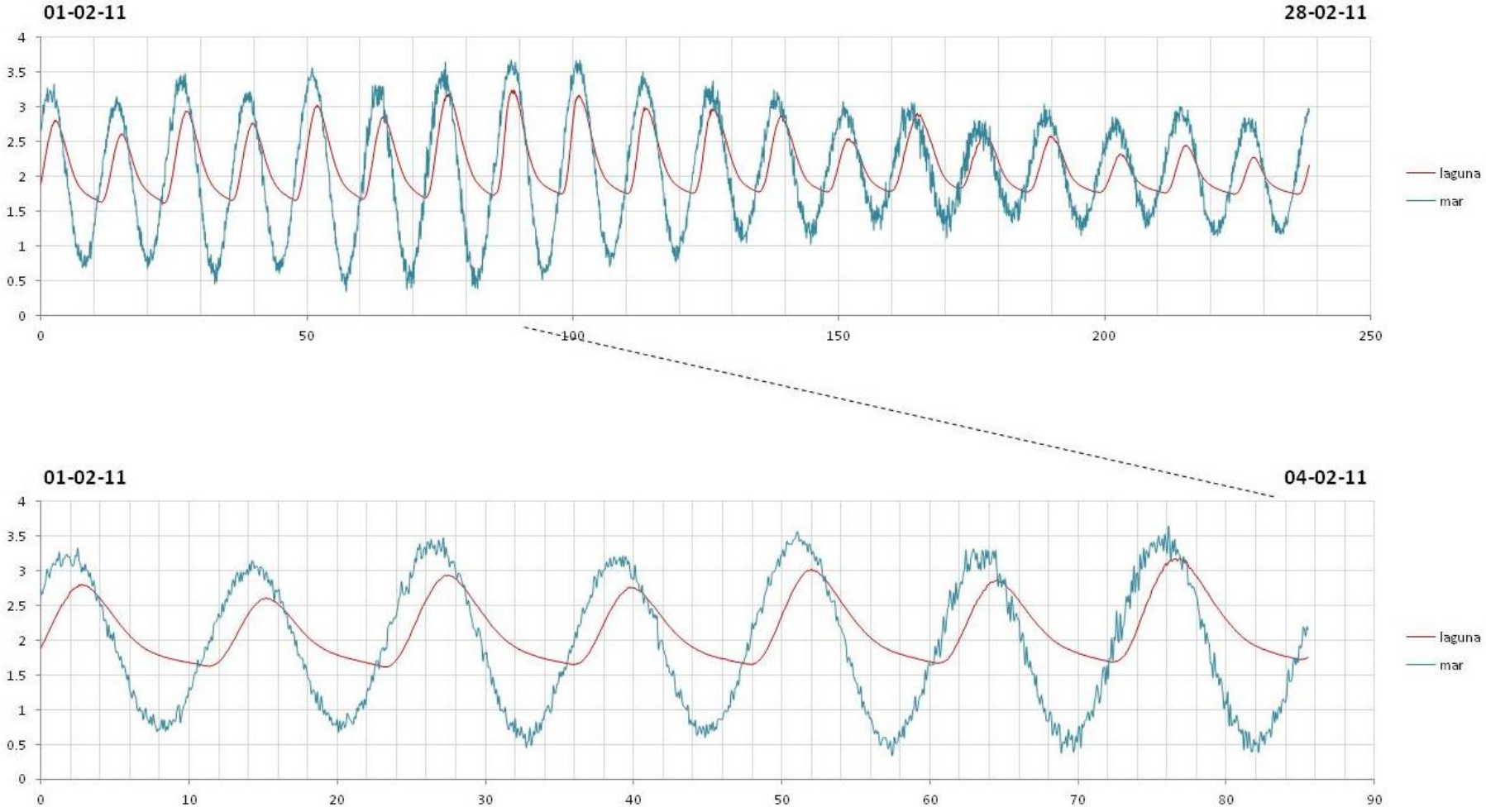


Figura 14- Detalle de una comparativa de las curvas de de marea registradas dentro (rojo) y fuera (azul) de la laguna.

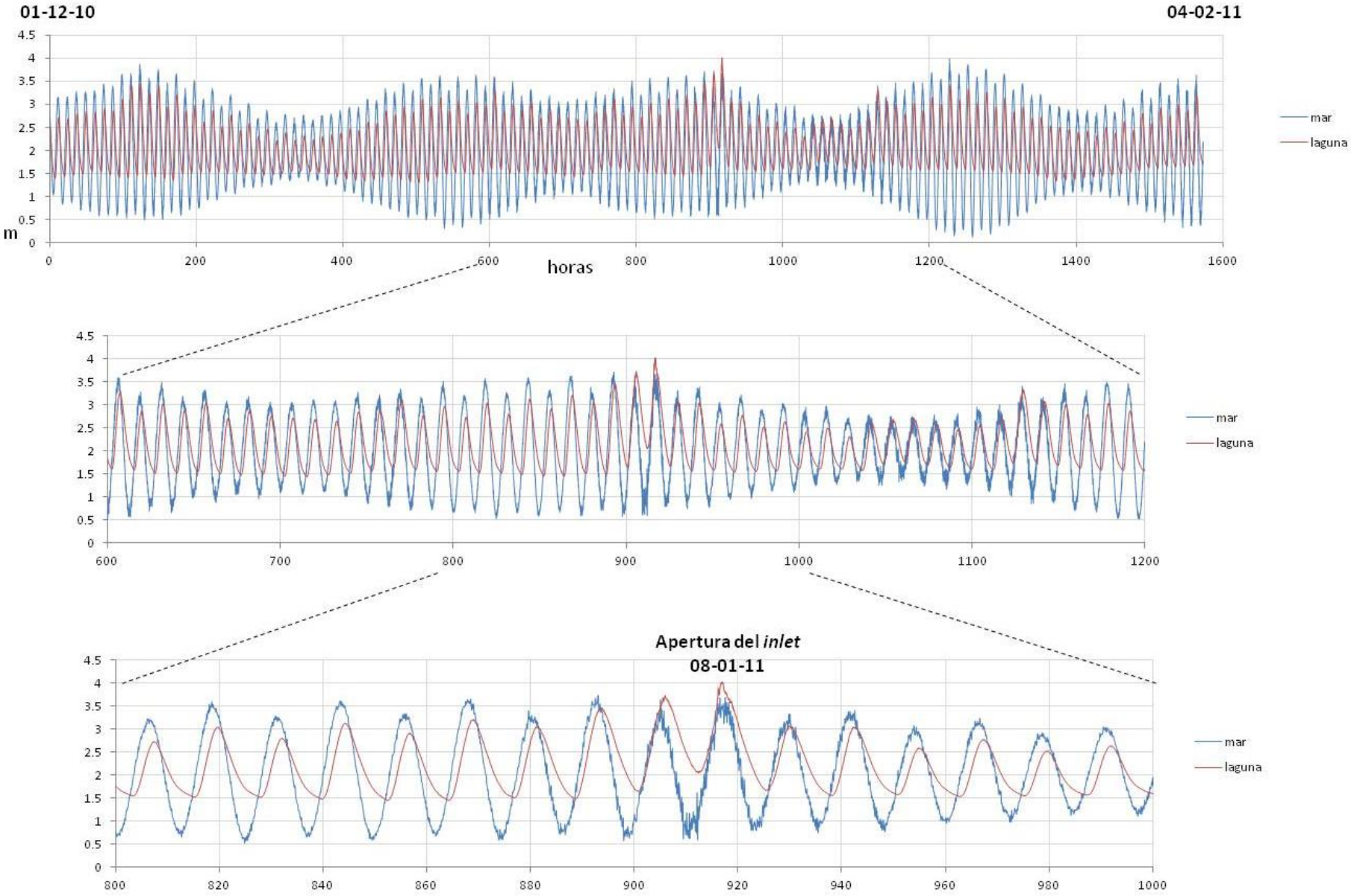


Figura 15- Detalle de una comparativa de las curvas de de marea registradas dentro (rojo) y fuera (azul) de la laguna durante un periodo de apertura del *inlet,* coincidiendo con fuertes vientos y oleaje del oeste.

Del Análisis de las curvas de marea registradas dentro de la laguna (figuras 12) se puede señalar que si bien en la laguna se registran variaciones del nivel del agua en relación con las subidas y bajadas de la marea esta, a diferencia de la curva registrada en mar (figura 13), presenta en bajamar un nivel permanente de agua con una altura media de 1.5 m sobre el cero topográfico, con lo que en momentos de bajamar puede llegar a existir una diferencia de altura de lámina de agua entre el mar y la laguna de 0.5 m en mareas muertas y algo más de 1.5m en mareas vivas (figura 14). El comportamiento de la subida y bajada de la marea dentro de la laguna es también asimétrico con respecto a la curva marina, observándose el siguiente comportamiento, que se acentúa durante las mareas vivas (figura 14):

- El tiempo de bajada de marea (o desagüe de la laguna) duplica al de subida de marea. Es decir, sube más rápido y desagua más lentamente.
- Hay un retardo en el repunto de pleamar de una media de 1.5 horas.
- Hay un retardo aún mayor en el repunte de bajamar, que supera las 3 horas. De hecho, la laguna sigue desaguando hasta que la siguiente subida de marea desde el exterior alcanza el nivel topográfico de la laguna, momento en el que se invierte el ciclo y se produce un rápido ascenso del nivel del agua en la laguna.

Una excepción a este comportamiento se observa durante momentos de tormenta, cuando se registran en la laguna los valores más elevados de lámina de agua, tanto en bajamar (la laguna a penas desagua) como en pleamar (tanto en momentos de mareas muertas como de mareas vivas). En esas condiciones, el fuerte oleaje de mar abierto se concentra en la bocana permanente de comunicación con la laguna (margen oeste de la misma), esto provoca un efecto de apilamiento de agua hacia la laguna que impide que esta desagüe normalmente y a su vez provoca alturas más altas en pleamar de las que corresponderían en condiciones normales, aumentando la diferencia del nivel de agua entre la laguna y la playa. En la figura 15 se muestra un ejemplo de los registros de marea obtenidos en la *lagoa dos Nenos* y ensenada de Rodas un periodo en el que se registraron varias situaciones de fuerte oleaje de componente oeste (10 de febrero de 2009 a 2 de marzo de 2010) durante mareas vivas.

Si estas condiciones prevalecen durante mucho tiempo, se produce la apertura de una bocana o *inlet* en el margen este de la laguna, rompiendo el sector norte de la playa de Rodas, generando una importante erosión en la misma. Esto ha sido detectado en situaciones anteriores como muestra la figura 16, en este caso durante mareas muertas.

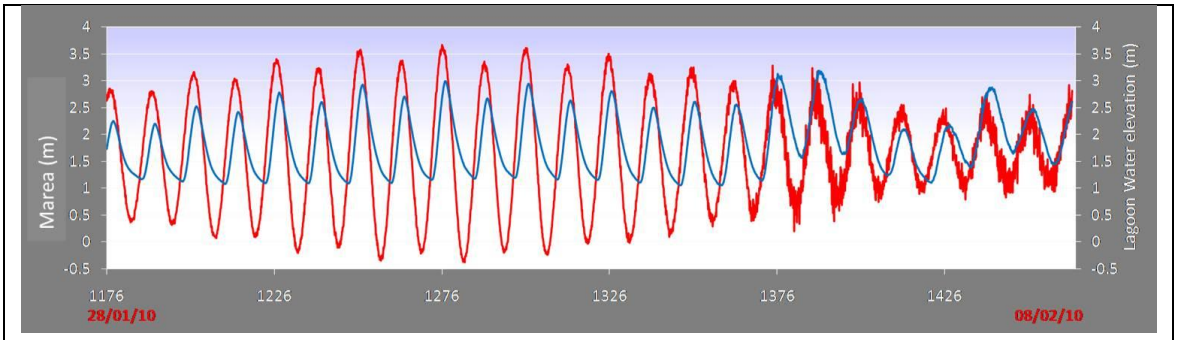






Figura. 16. Detalle de las curvas de marea registradas en la *lagoa dos nenos* (línea azul) y en la ensenada de Rodas (línea roja), islas Cíes, del 28 enero al 8 febrero 2010. Alturas referidas al cero topográfico. Imágenes de detalle del margen oeste y este tras una tormenta.

La figura 16 muestra igualmente un detalle de ambos registros que permiten apreciar, tal y como se ha comentado anteriormente, la diferencia en duración e intensidad del ciclo mareal dentro y fuera de la laguna. La primera parte del registro muestra condiciones normales, registrándose al final un evento de tormenta, coincidiendo en este caso con mareas muertas. Se detecta un retardo en los repuntes de pleamar y bajamar en la laguna, mucho más marcados en bajamar. Así mismo, la curva en la laguna presenta la asimetría mareal antes comentada, con un mayor tiempo de bajada de marea (o desagüe de la laguna) respecto a la subida. En este ejemplo, las máximas diferencias de lámina de agua entre el mar y laguna son de 0.7 metros en la pleamar y de 1.5 metros en bajamar. Esta diferencia se reduce a 0.2 y 0.5 metros respectivamente hacia la marea muerta y se incrementan durante tormentas (en la pleamar de la laguna el nivel de agua puede llegar a estar entre 0.5 y 1 m por encima del nivel del mar en la playa). En estas condiciones se produce la apertura de

un canal de desagüe (*inlet*) que rompe la berma de la playa de Rodas (figura 17). Esta dinámica repetida a lo largo del tiempo ha provocado una degradación topográfica en este sector de la playa, en consecuencia durante la pleamar de mareas vivas, en ausencia de tormenta, se produce igualmente un intercambio de aguas en esta zona pero en este caso se produce una entrada de agua desde el mar a la laguna: la batida de la ola asciende por la playa, supera la berma y se derrama hacia la laguna (proceso de *overswash*) (figura 18).

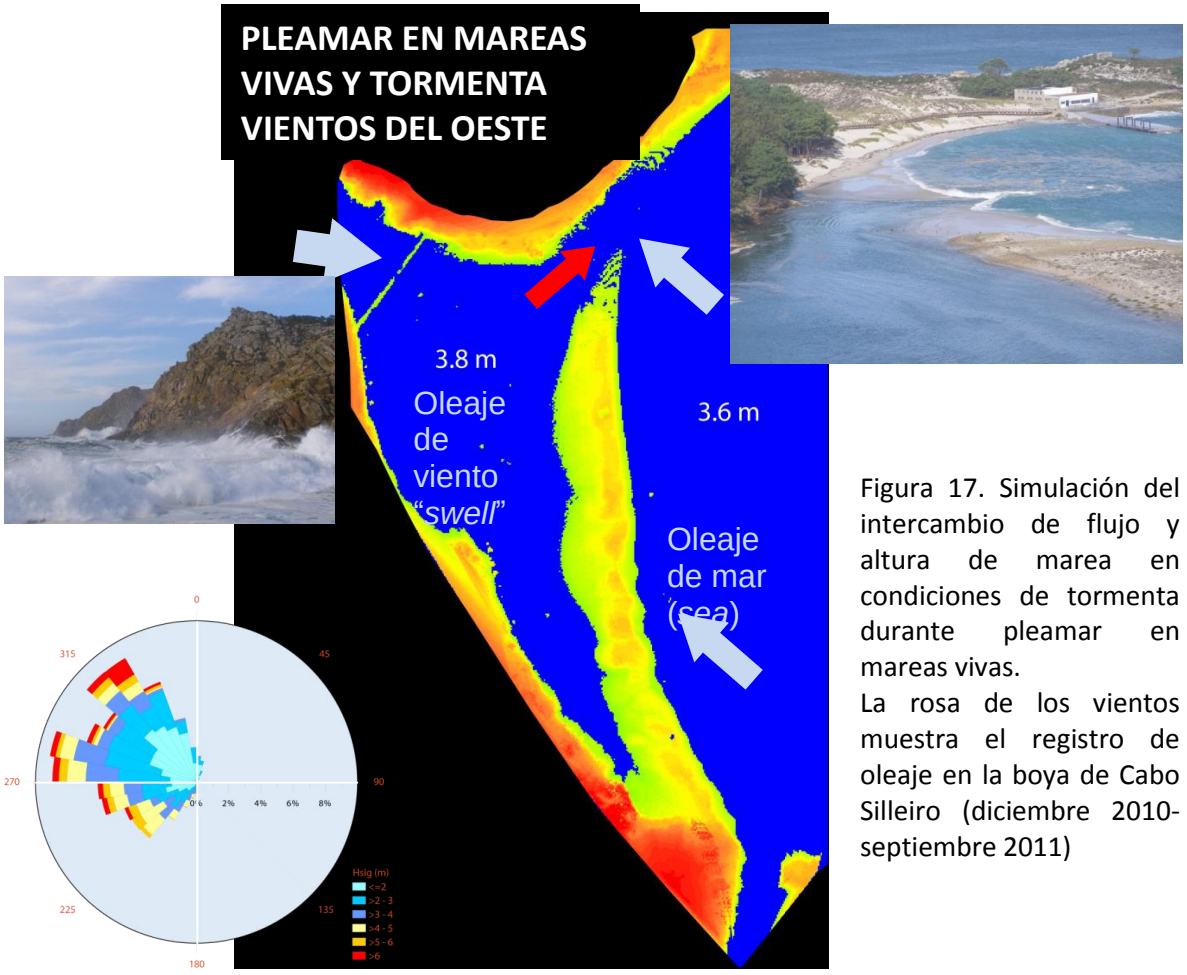


Figura 17. Simulación del intercambio de flujo y altura de marea en condiciones de tormenta durante pleamar en mareas vivas.
La rosa de los vientos muestra el registro de oleaje en la boya de Cabo Silleiro (diciembre 2010-septiembre 2011)



Figura 18. Entrada de agua desde el mar hacia la laguna (proceso de overwash) durante pleamar de mareas vivas.

3.2.3. Correntímetros

Como se ha comentado anteriormente, de forma puntual a lo largo del periodo estudiado se ha colocado un correntímetro monopunto en dos posiciones distintas (figura 19). Una frente a la zona de comunicación permanente con el mar en el extremo oeste central de la laguna, con el objeto de registrar las corrientes de entrada y salida de marea y poder evaluar la capacidad de transporte asociada al prisma mareal. Otra, frente a la playa de Rodas en la zona de apertura del *inlet*, para detectar la componente longitudinal del transporte de sedimentos en la playa y la redistribución de los mismos a lo largo de esta.

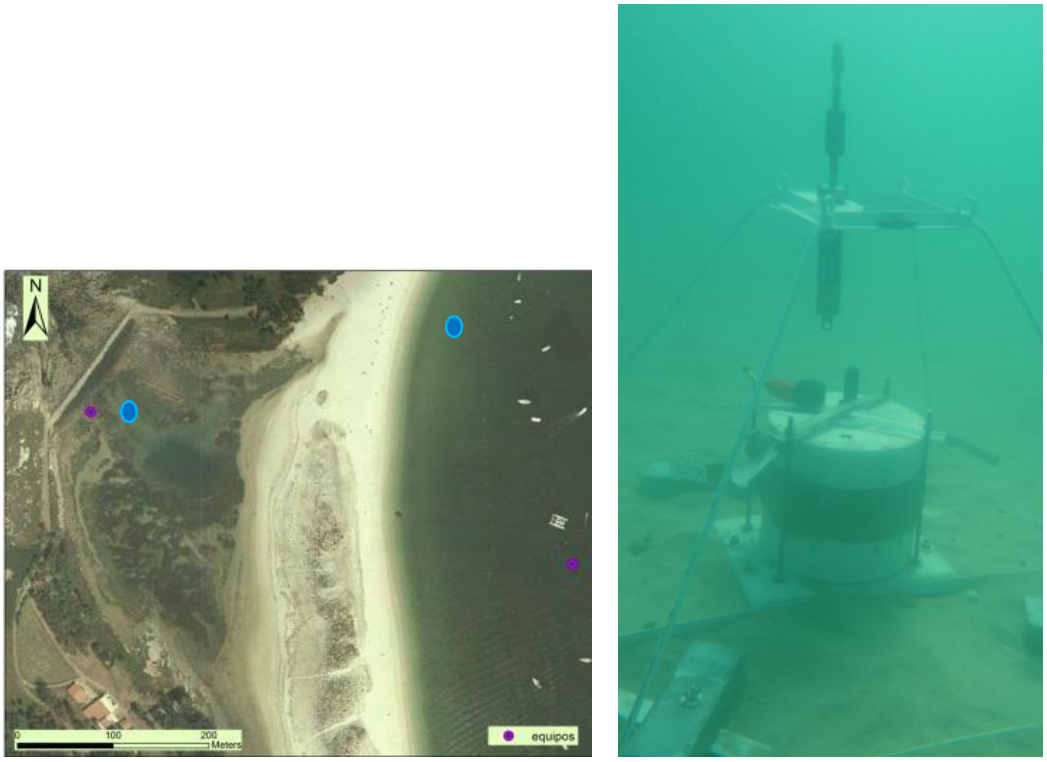


Figura 19. Posición de las dos zonas donde puntualmente fueron instalados los correntímetros (círculos azules). Los círculos morados indican la situación permanente de los sensores de presión para el registro de las mareas comentado en el punto anterior. La foto muestra un detalle del fondeo de los equipos.

A continuación se muestran los resultados más representativos del periodo registrado. Las figuras 20 y 21 corresponden a registros dentro de la laguna, mientras que la figura 22 corresponde a la parte submareal de la playa de Rodas. Las unidades de los rangos de velocidades en ambas gráficas corresponden a cm/s.

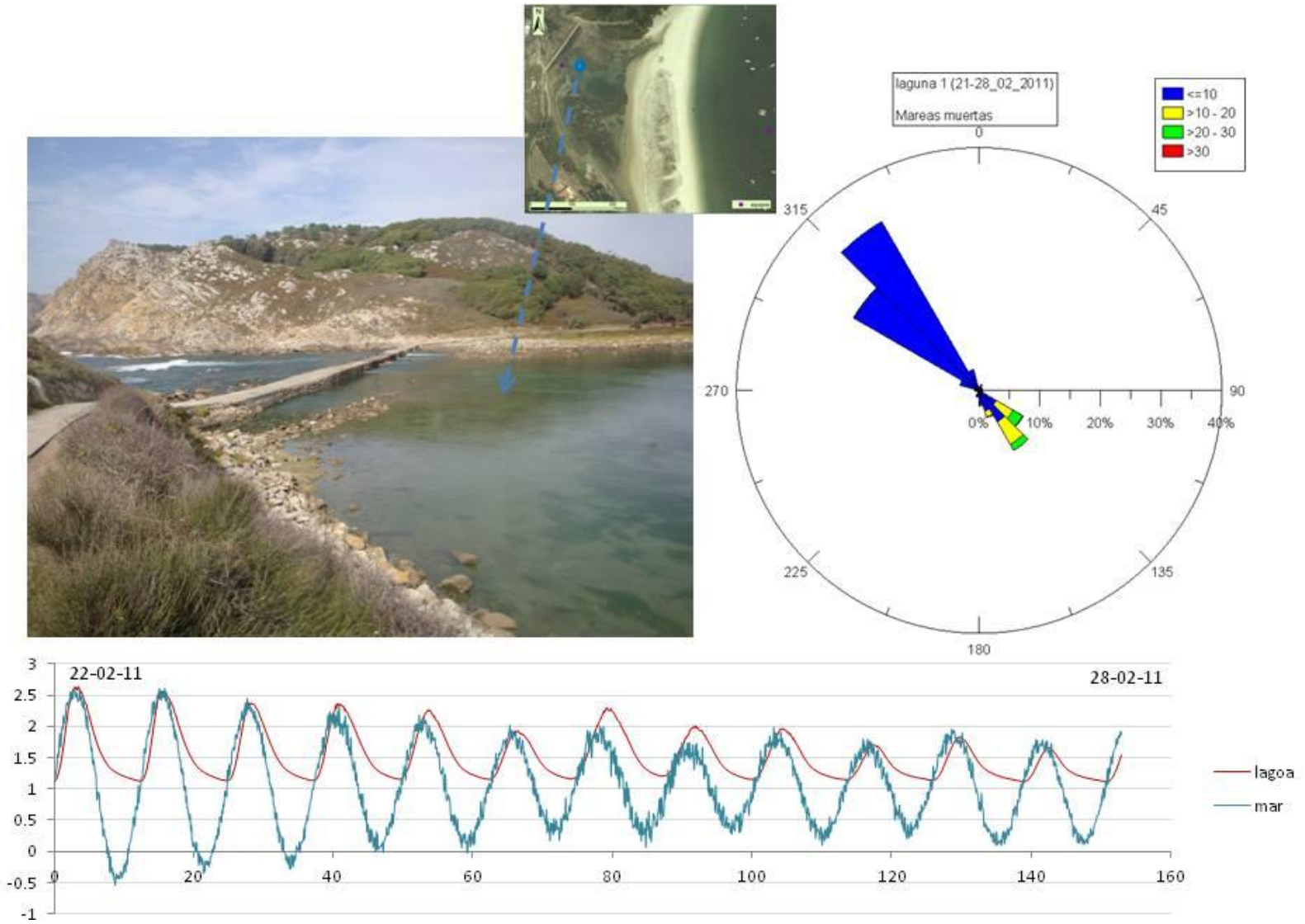


Figura 20– Rosa de direcciones y velocidades de entrada/salida de la marea en la laguna durante **mareas muertas**. En la foto se muestra la posición del correntímetro dentro de la laguna. La gráfica inferior muestra la curva de marea registrada en ese periodo dentro de la laguna (rojo) en comparación con el mar (azul).

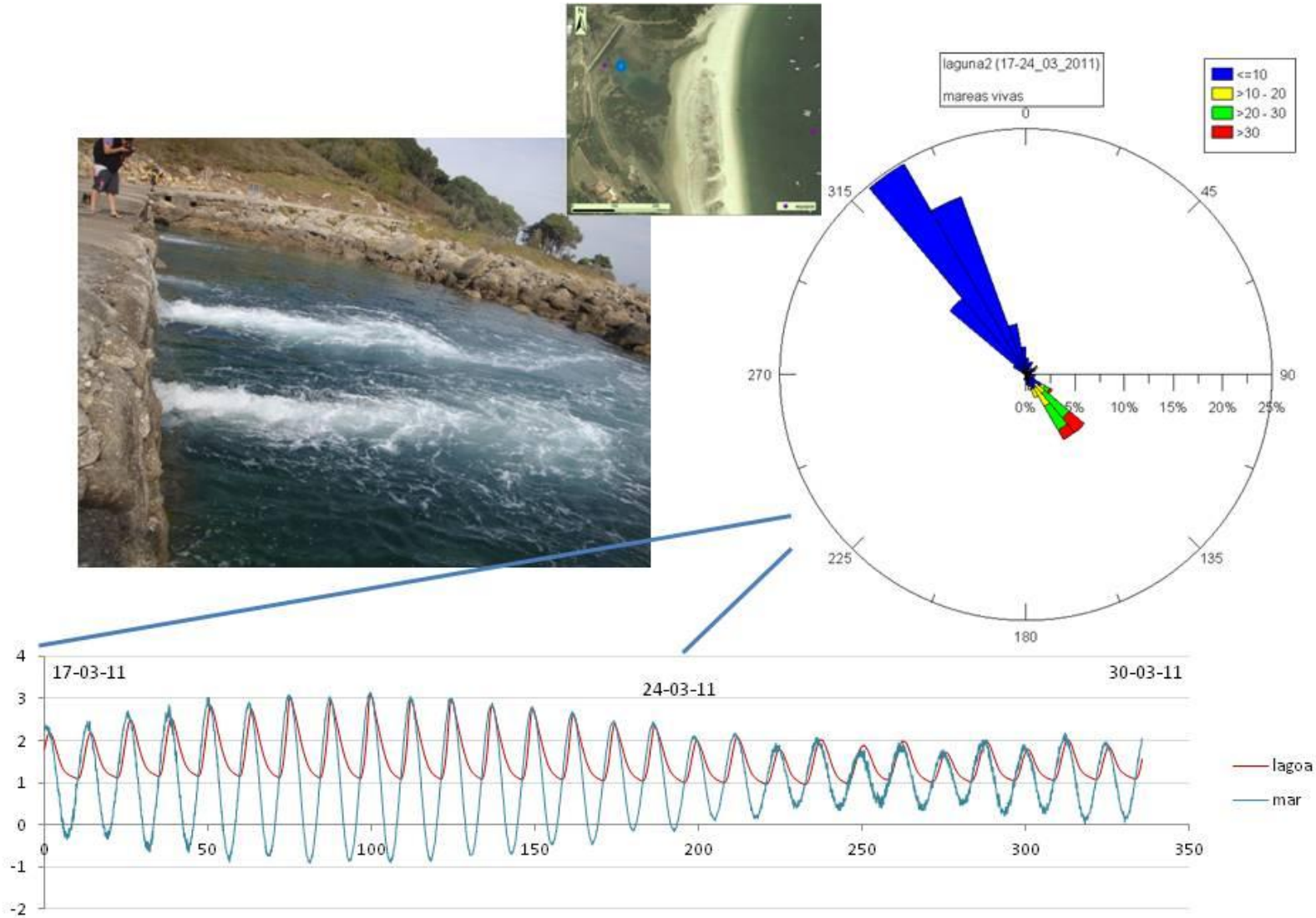


Figura 21– Rosa de direcciones y velocidades de entrada/salida de la marea en la laguna durante mareas vivas. En la foto se muestra la posición del correntímetro dentro de la laguna. La gráfica inferior muestra la curva de marea registrada en ese periodo dentro de la laguna (rojo) en comparación con el mar (azul).

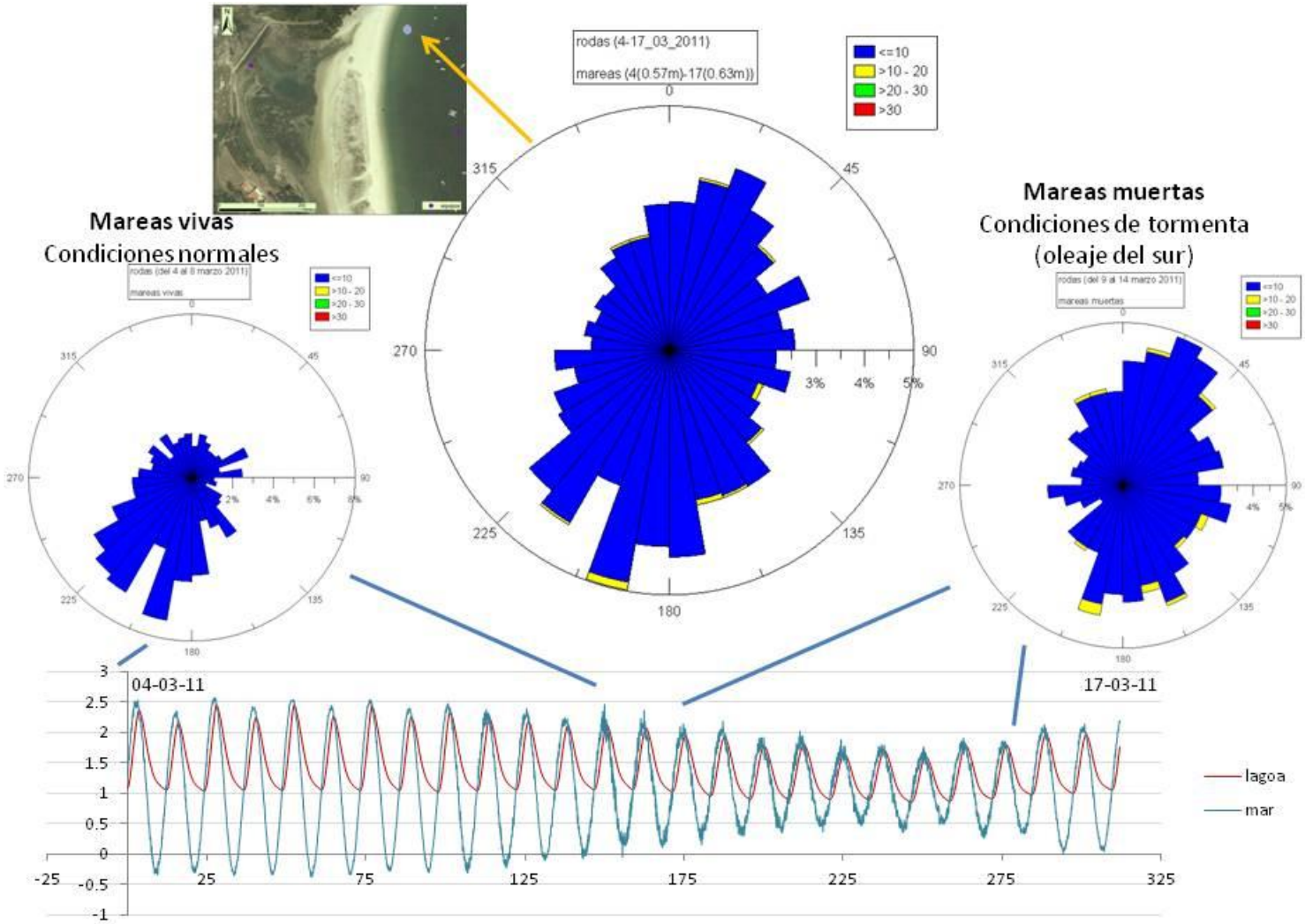


Figura 22– Rosa de direcciones y velocidades de la corriente longitudinal, o de deriva, en la playa de Rodas. En la foto se muestra la posición del correntímetro en el submareal de la playa (a 3 metros de profundidad de media). La rosa central muestra la totalidad del periodo muestreado; las rosas a ambos lados muestran situaciones de mareas vivas, en condiciones normales y de mareas muertas bajo condiciones de temporal con fuertes vientos del sur. La gráfica inferior muestra el detalle de la curva de marea registrada en ese periodo dentro de la laguna (rojo) en comparación con el mar (azul).

La figura 20 muestra un registro de 6 días (del 22-02-11 al 28-02-11) coincidiendo con mareas muertas en donde se registró un periodo de tormenta, con el consiguiente apilamiento de oleaje en el margen oeste (zona del dique), impidiendo el desalojo mareal normal de la laguna, provocando a su vez una mayor altura de la lámina de agua en pleamar en la laguna y la apertura del inlet a través de la playa de Rodas (proceso comentado en el apartado anterior).

La figura 21 muestra un registro 8 días de velocidades de corriente durante mareas vivas (del 17-03-11 al 24-03-11), aunque en este caso no coincidió con periodo de tormenta. En esta ocasión (ver gráfico inferior en la figura 21, comparación de curvas de marea), el evento de tormenta coincidió también con mareas muertas (entre los días 25 y 26 de marzo), produciéndose el efecto de elevación de la lámina de agua en la laguna y apertura del inlet ya comentado en la figura 20. Sin embargo, en este caso ya había sido retirado el correntímetro de la laguna.

En ambas situaciones se observa que las mayores velocidades de corriente (por tanto mayor capacidad de transporte de sedimentos) se registran durante la entrada de la marea a la laguna, aunque con un menor tiempo de duración respecto a la salida, tal y como se desprende también de la comparación entre las curvas de marea dentro y fuera de la laguna (gráficas inferiores en las figuras 20 y 21). Es decir, la entrada de la marea se produce de forma más rápida y con mayores velocidades (máximos de 40cm/s en mareas vivas y 30cm/s en mareas muertas) mientras que la salida de la marea ocupa más tiempo pero con velocidades menores (menores de 10cm/s en ambos casos). Estas velocidades registradas de entrada de marea son capaces de transportar sedimentos de tamaño arena (arena gruesa en mareas vivas y arena media en mareas muertas) mientras que las velocidades de salida no superan el umbral de movimiento de estos sedimentos. En consecuencia, la laguna actúa como una “trampa de sedimentos”.

Los gráficos de corrientes registrados del 4-03-11 al 17-03-11 en la playa de Rodas (Figura 22) muestran una deriva litoral en la playa, que en condiciones normales de oleaje tiene una componente hacia el sur, con velocidades muy bajas (< 10cm/s) aún coincidiendo con mareas vivas (gráfica izquierda de la figura 22). Sin embargo, durante mareas muertas, bajo un oleaje más energético (condiciones de tormenta) se registra también una componente de transporte hacia el norte, que permitiría el transporte de sedimentos hacia esta dirección. En esta situación se observa un aumento de las velocidades de corriente que llegan a los 20 cm/s, tanto hacia el norte como hacia el sur de la playa, aunque con mayor prevalencia hacia el sur y suroeste (gráfica derecha de la figura 22).

Así pues, la intensidad y la dirección de corriente de deriva en esta parte de la playa está condicionada por la intensidad del oleaje incidente. Esto es especialmente relevante para entender el patrón de distribución de los sedimentos que son arrastrados desde el cordón dunar y la playa hacia la zona submareal de la playa en esta zona cuando se abre el *inlet* durante condiciones de tormenta.

3.3. LOS SEDIMENTOS DE LA LAGUNA

Con el fin de caracterizar, de una forma representativa, los sedimentos que constituyen el sustrato actual de la laguna se recogieron muestras superficiales en distintos puntos de la misma (septiembre 2011), coincidiendo con la posición de las estacas de seguimiento antes mencionadas.

En la figura 23 se indica la posición y código asignado de las muestras analizadas.



Figura 23. Situación de las muestras superficiales de sedimento analizadas (coincidiendo con la posición de las estacas mostradas en la figura 10..

La caracterización de los sedimentos se llevó a cabo a partir de los siguientes análisis:

- **Análisis granulométrico** mediante tamizado por vía seca utilizando una columna de tamices con ½ phi de apertura de malla.
    - **Objetivo**: determinar el tamaño de las partículas del sedimento como principal característica textural de los mismos. Se analiza la curva de distribución del tamaño de las partículas y se determinan los parámetros estadísticos asociados (media o "tamaño medio", mediana o "D_{50}", desviación estándar o "grado de selección", asimetría o "sesgo" y kurtosis) cuyo análisis permite principalmente inferir la energía incidente en cada zona.

- **Análisis composicional,** en este caso se realizaron dos tipos de análisis:
    - Análisis de las principales fases cristalinas mediante Difracción por rayos-X (DRX, realizado en el Centro de Apoyo Científico y Tecnológico a la Investigación, CACTI).
        - **Objetivo:** determinar los principales minerales constituyentes del sedimento, de lo cual se puede inferir cual fue la fuente de aporte de sedimento y por tanto la procedencia del mismo.
    - Determinación del **contenido en materia orgánica** mediante el uso de un LECO (realizado en el CACTI).

A continuación se exponen los principales resultados de estos análisis (resúmenes de valores en tablas III y IV).

3.3.1. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO

A partir del análisis granulométrico se obtiene la curva de distribución de tamaños de cada una de las muestras. Todas ellas, a excepción de la muestra 7, presentan un carácter unimodal, con una moda en el tamaño de 0.427 mm en todas y ligeramente mayor, 0.605 mm, en la muestra 5, lo cual indica la gran homogeneidad del sedimento que constituye el lecho de la laguna (figura 24). Todas ellas, a escepción de la muestra 4, presentan una "cola" más o menos marcada hacia fracciones más gruesas.

La muestra 7 presenta el mayor tamaño de toda la laguna además de estar constituida por un amplio rango tamaños, lo que queda reflejado en el carácter trimodal que presenta (con tamaños por orden de importancia de 4.800 mm, 1.700 mm y 0.650 mm). Esta muestra se encuentra localizada frente a la conexión permanente con mar abierto (margen oeste, ver figuras 23 y 25) y caracteriza el sector que va a recibir una mayor energía dentro de toda la laguna.

A partir de los resultados de distribución de tamaño, utilizando el programa GRADISTAT (Blott, 2000) procedimos a calcular los parámetros estadísticos granulométricos: media, grado de selección, asimetría y kurtosis. Un resumen de los principales resultados se presentan en la tabla III (en el Anexo II se incluye una información más completa del análisis de tamaño de cada una de las muestras mediante el programa GRADISTAT).

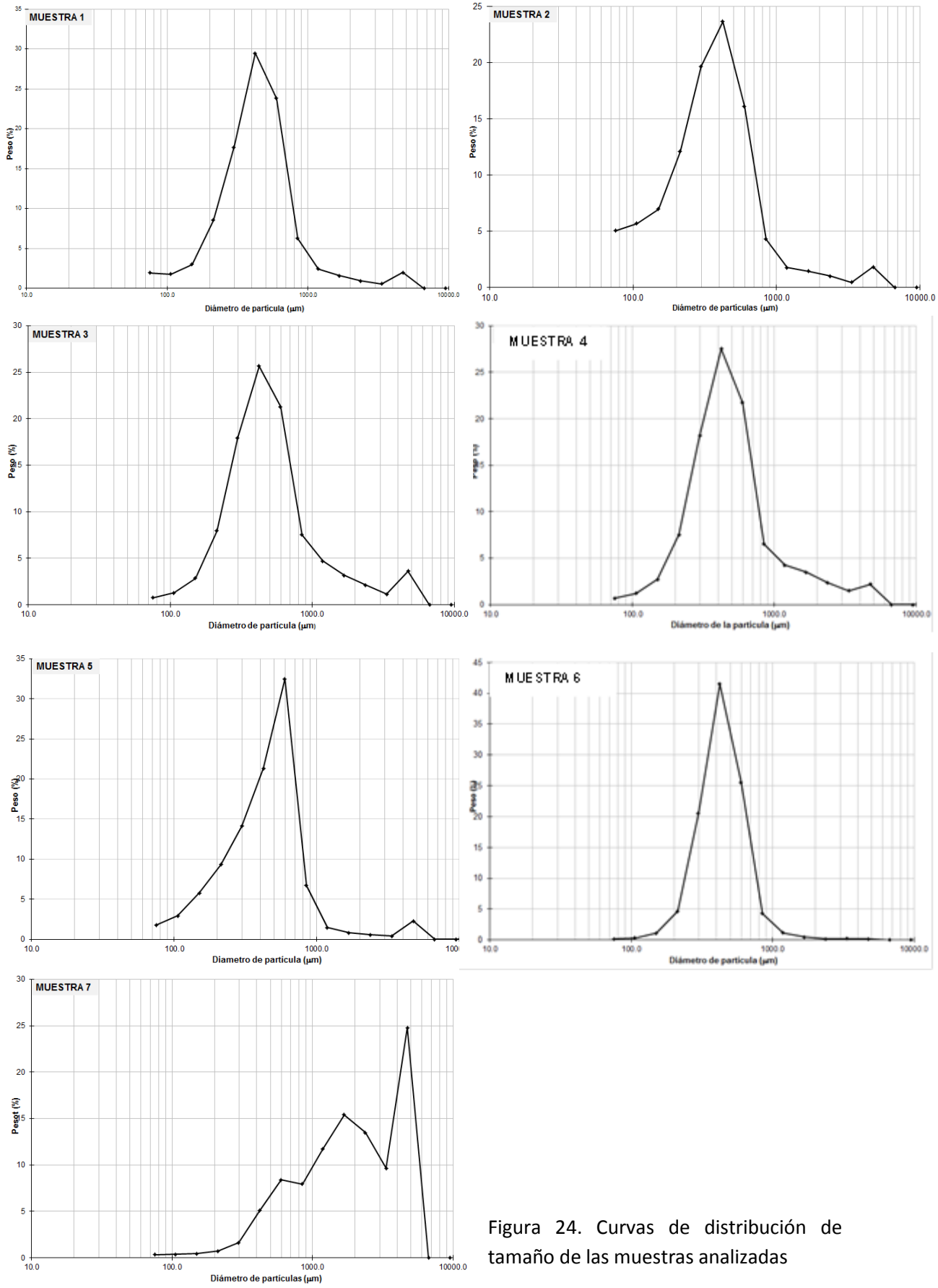


Figura 24. Curvas de distribución de tamaño de las muestras analizadas

código	Tamaño Medio (mm)	selección	asimetría	D_{50}	Arenas (%)	Finos (%)
1	0,423 (AM)	0,854 (MS)	-0,221	0,434	83,82	16,18
2	0,333 (AM)	1,080 (PS)	0,095	0,358	86,90	13,10
3	0,487 (AM)	1,045 (PS)	0,018	0,460	93,67	5,33
4	0,478 (AM)	0,984 (MS)	-0,204	0,454	96,92	3,68
5	0,409 (AM)	0,880 (MS)	0,252	0,461	98,03	1,97
6	0,430 (AM)	0,535(MS)	0,011	0,431	90,92	9,08
7	1,790 (AMG)	1,248 (PS)	0,150	1,890	94,34	5,66

Tabla III. Resultados del análisis granulométrico de la fracción arena de las muestras de la laguna realizado mediante tamizaje en seco. **AM**, arena media; **AMG**, arena muy gruesa; **MBS,** moderadamente bien seleccionado; **MS**, moderadamente seleccionado; **PS**, pobremente seleccionado.

Estos resultados siguen mostrando la gran homogeneidad del sedimento actual en la laguna, con el predominio de la fracción arena (entre el 83% y el 98%) con un aumento (13-16%) del contenido en finos (material menor a 0.062 mm) hacia el sur (muestras 1 y 2), mostrando las zonas de menor energía dentro de la laguna.

Analizando la fracción arena, en general el tamaño medio corresponde a arena media (0,41-0,48 mm), esto nos indica una gran homogeneidad de los aportes que constituyen el relleno sedimentario, lo cual también se refleja en la composición del mismo (ver tabla IV en el siguiente apartado).



Figura 25. Vista hacia el este de la Lagoa dos Nenos en bajamar. A la izquierda el dique de paso entre las dos islas (Monteagudo y del Faro) construido sobre la conexión permanente con el mar abierto (sector de la muestra 7).

La excepción a esta homogeneidad de tamaño de grano la encontramos en la muestra 7, que corresponde a arena muy gruesa (1,79 mm). Esta muestra es la más cercana al canal permanente de comunicación con mar abierto y por tanto es la más próxima a la zona de entrada de aportes de sedimento y la que recibe mayor energía. La muestra 2, aunque es arena media refleja un menor tamaño respecto al resto (0,33 mm), lo cual junto con el contenido en fracción fina antes mencionado (13.10%) nos indica unas condiciones menos energéticas para el sector sur de la laguna.

En cuanto al grado de selección que presentan, este se encuentra entre pobre y moderado, lo que denota un carácter dinámicamente restringido. El sector que presenta mejor grado de selección (entre moderado y moderadamente seleccionado, muestras 4, 5 y 6) corresponde con la zona de influencia del canal esporádico de comunicación (*inlet*) a través de la barrera de Rodas (figura 26), por lo que el aporte sedimentario que recibe este sector son los sedimentos de playa y duna de Rodas, los cuales presentan un alto grado de selección y un tamaño de grano muy definido (muestras unimodales con un tamaño medio de 0.47 mm), con una curva granulométrica muy similar a la de la muestra 6 (ver figura 25).



Figura 26. Entrada de sedimentos desde la playa de Rodas hacia la Lagoa dos Nenos (principalmente afectando al sector de la muestra 4 y 6) durante un periodo de apertura del *inlet*

3.3.2. ANÁLISIS COMPOSICIONAL

A partir del análisis de las fases mineralógicas de los sedimentos realizados mediante difracción por rayos X (DRX) se ha podido establecer la gran homogeneidad composicional que presenta el sustrato sedimentario del fondo de la laguna (figura 27). Mediante dicho análisis se determina la composición mineralógica de los sedimentos, que serán indicadores del área fuente de procedencia.

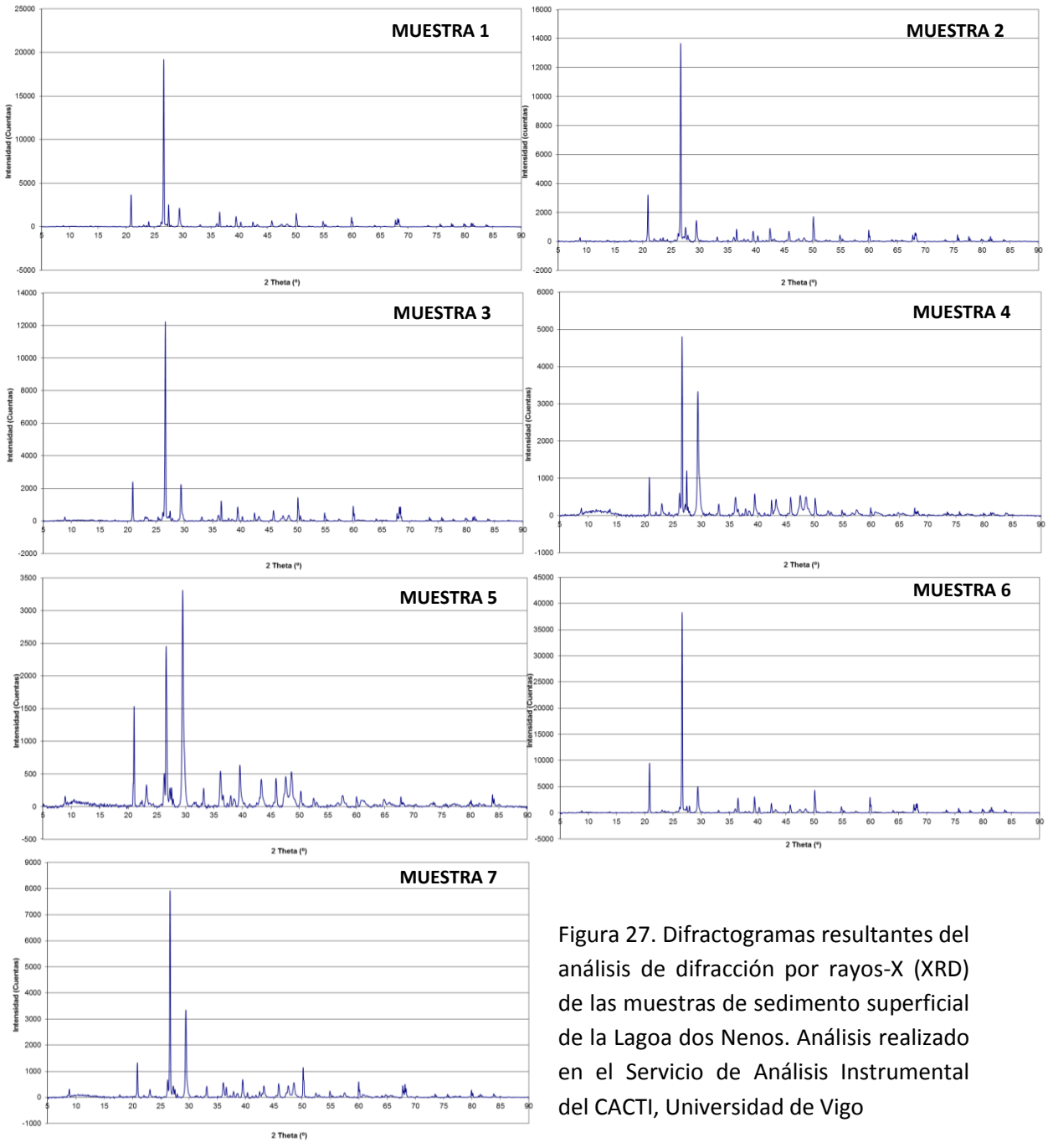


Figura 27. Difractogramas resultantes del análisis de difracción por rayos-X (XRD) de las muestras de sedimento superficial de la Lagoa dos Nenos. Análisis realizado en el Servicio de Análisis Instrumental del CACTI, Universidad de Vigo

Como resultado en la tabla IV se indica se indica la composición mineralógica mayoritaria de los sedimentos superficiales que constituyen cada una de las muestras analizadas.

código	Materia Orgánica	Mica	cuarzo	Feldespato potásico	Feldespato sódico	Calcita	Aragonito
1	0,23	7,87	58,11	5,93	1,57	21,37	5,15
2	0,74	8,04	61,33	8,83	3,90	12,91	5,00
3	0,16	2,75	62,15	16,58	1,27	13,71	3,54
4	2,33	7,93	28,93	14,55	1,48	39,83	7,29
5	0,27	8,94	19,85	4,94	2,05	55,62	8,61
6	0,25	4,26	66,03	4,37	4,53	17,16	3,65
7	0,62	10,97	41,96	3,27	1,38	35,34	7,07

Tabla IV. Resultado composicional (porcentajes) de las muestras de sedimentos en la laguna mediante DXF (análisis mineralógico) y LECO (materia orgánica) (realizados en el CACTI).

Con respecto al **contenido composicional del sedimento**, los resultados analíticos mostrados en la Tabla IV se ha representado la figura 28 con el fin de facilitar la observación de la distribución espacial de los mismos. Así pues, la composición mineralógica muestra un patrón general muy homogéneo, con el predominio de la fracción siliciclástica (compuesta por cuarzo, mica y feldespatos fundamentalmente potásicos) lo cual marca una procedencia continental de los sedimentos frente a la bioclástica (calcita y aragonito) que indicarían una procedencia marina. Sin embargo, se puede observar un aumento del contenido bioclástico en las zonas de comunicación de la laguna con el mar, tanto en de comunicación permanente por el margen oeste (muestra 7) como en la zona de influencia de apertura esporádica del *inlet* a través de la barrera de Rodas (muestras 4, 5 y 6). La muestra 6 sin embargo, pese a su cercanía al *inlet* presenta una composición más característica de los sedimentos propios de la barrera arenosa de Rodas.

En la tabla IV se señala también el **contenido en materia orgánica** que presentan los sedimentos analizados y que normalmente va a estar relacionado con el porcentaje de finos (tamaños inferiores a 0.062 mm), el cual según vimos en la tabla III en nuestra

zona es en general muy escaso, llegando a valores de 13% y 16% en las muestras 1 y 2 respectivamente. Sin embargo los valores de materia orgánica detectados en todas las muestras son muy bajos, inferiores al 1%, con un máximo del 2,33% en la muestra 4 que no representa sin embargo un aumento significativo.

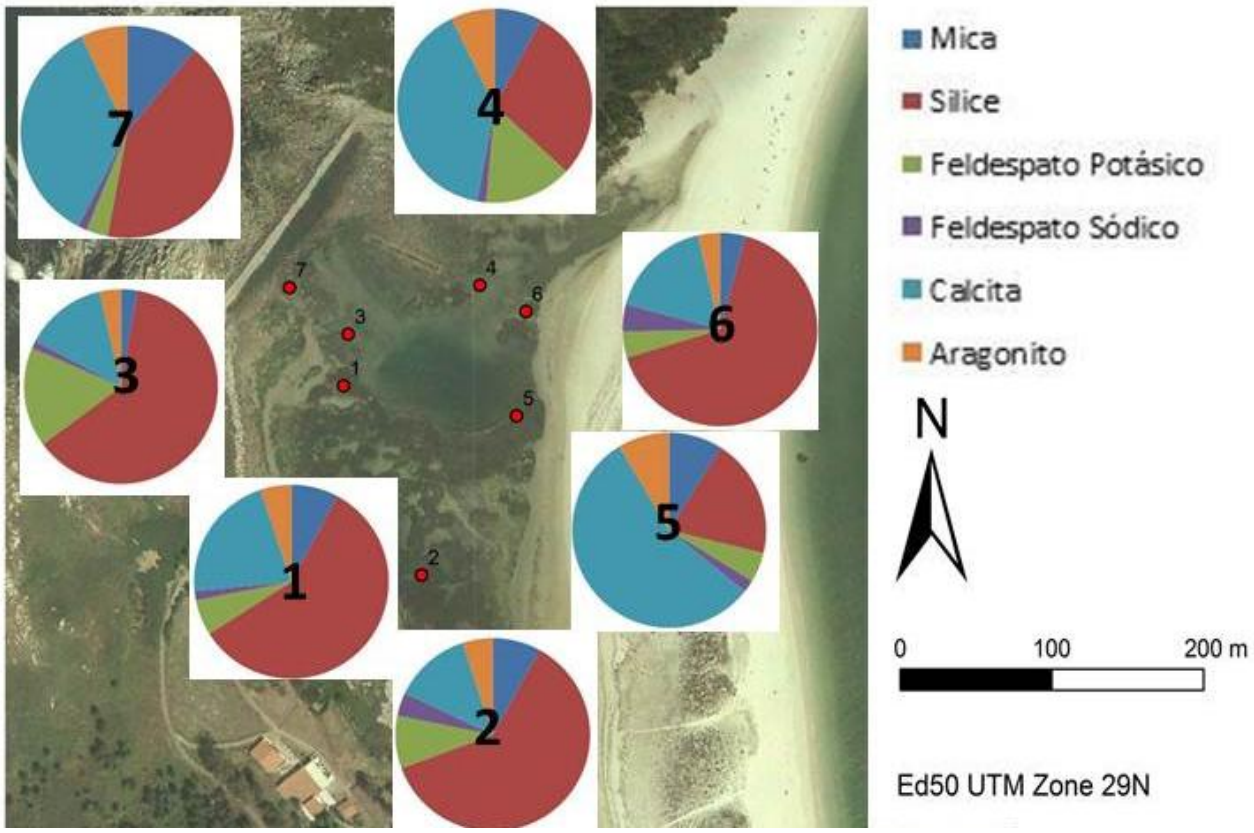


Figura 28. Representación de los componentes principales que constituyen los sedimentos de la laguna.

3.4. TOPOGRAFÍA DE LA LAGUNA

Se han realizado dos topografías de detalle de la laguna (condiciones invierno-verano, marzo y septiembre), realizadas mediante registro continuo con GPS Diferencial, con una resolución de 0.250m (figura 29).



Figura 29 – Dos instantáneas de la toma de datos topográficos mediante registro continuo con GPS diferencial.

La figura 30 muestra el modelo digital del terreno, realizado mediante sistemas de información geográfica (GvSIG), con los datos de la topografía de ambas campañas. Se utilizó una interpolación Topogrid con 0.5m de tamaño de celda.

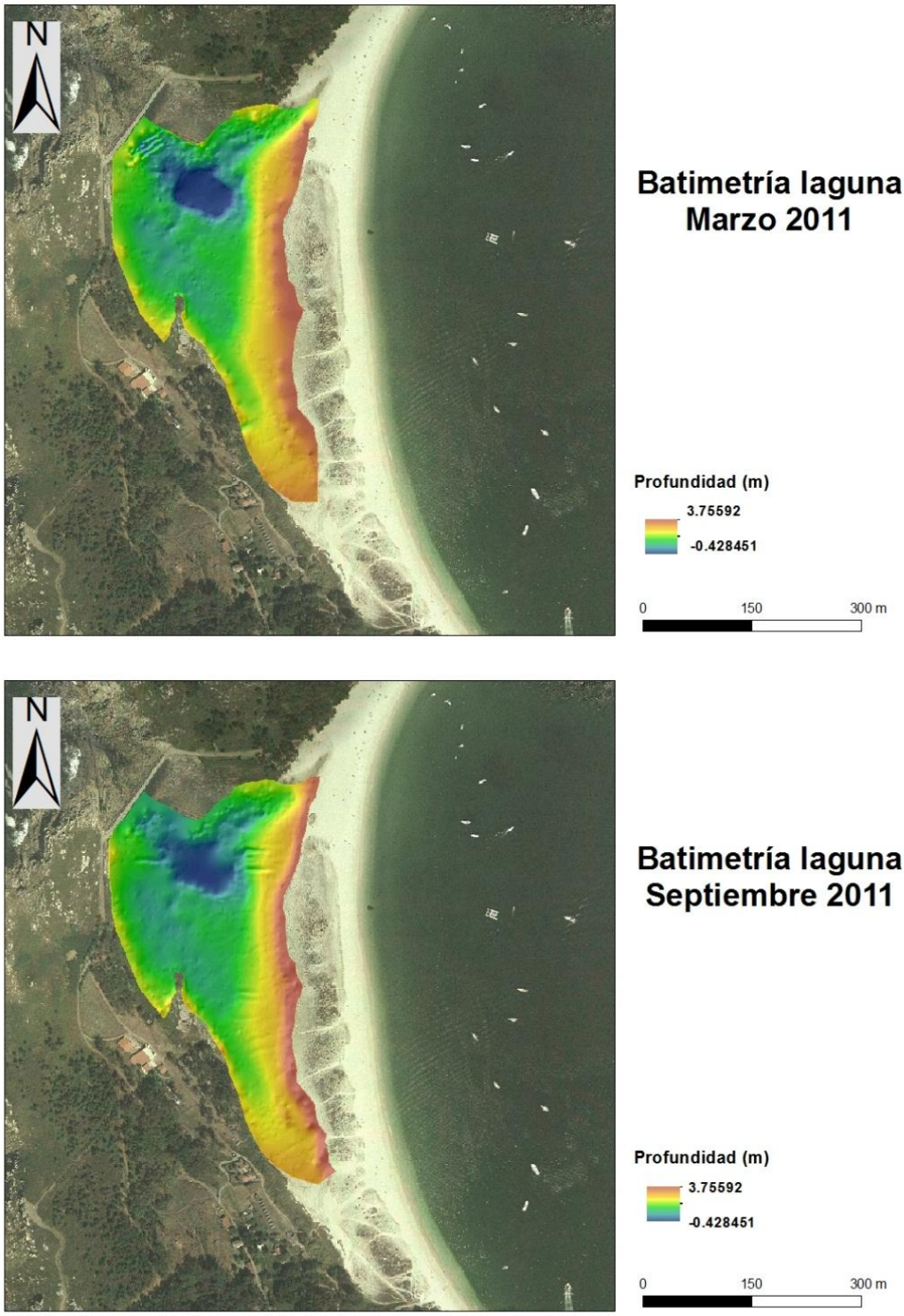


Figura 30 - Mapa digital del terreno del fondo de la *Lagoa dos Nenos* según datos registrados mediante DGPS en marzo y septiembre de 2011. Los datos de profundidad, o elevación del fondo de la laguna, están referidos al cero topográfico.

En ambas imágenes se observa el fondo de la laguna como una suave superficie con valores en general ligeramente por encima del cero topográfico. Se extiende con suave pendiente hacia el extremo sur, aumentando progresivamente la topografía a medida que nos aproximamos a la barrera dunar. Por el contrario, en la mitad norte se localizan las mayores profundidades asociadas tanto al canal permanente de conexión con el mar abierto por el extremo oeste, como el que se produce en condiciones esporádicas por el extremo este (*inlet*), a través de la playa de Rodas. En la parte central de este sector se localiza una zona más profunda (con máximos valores en torno al 1.4-2m por debajo del cero topográfico) de la cual hasta el momento no tenemos una topografía detallada.

En la figura 31 se ha comparado la topografía entre ambas campañas para obtener el balance neto y tendencia evolutiva durante este periodo de estudio. Se observa como la acumulación de sedimentos predomina en la mayor parte de la laguna (0.15m de media), con valores que aumentan considerablemente hacia la barrera dunar en especial asociados a dos zonas: 1) hacia el sur de la barrera y 2) al abanico de sedimentos (delta de flujo) que cierra el canal esporádico por el norte de Rodas una vez que las condiciones energéticas se reducen. En ambas se registran máximos de 1.3m. Asociado al canal permanente de comunicación por el margen oeste se registran zonas puntuales de erosión con máximas que no superan los 0.7m.

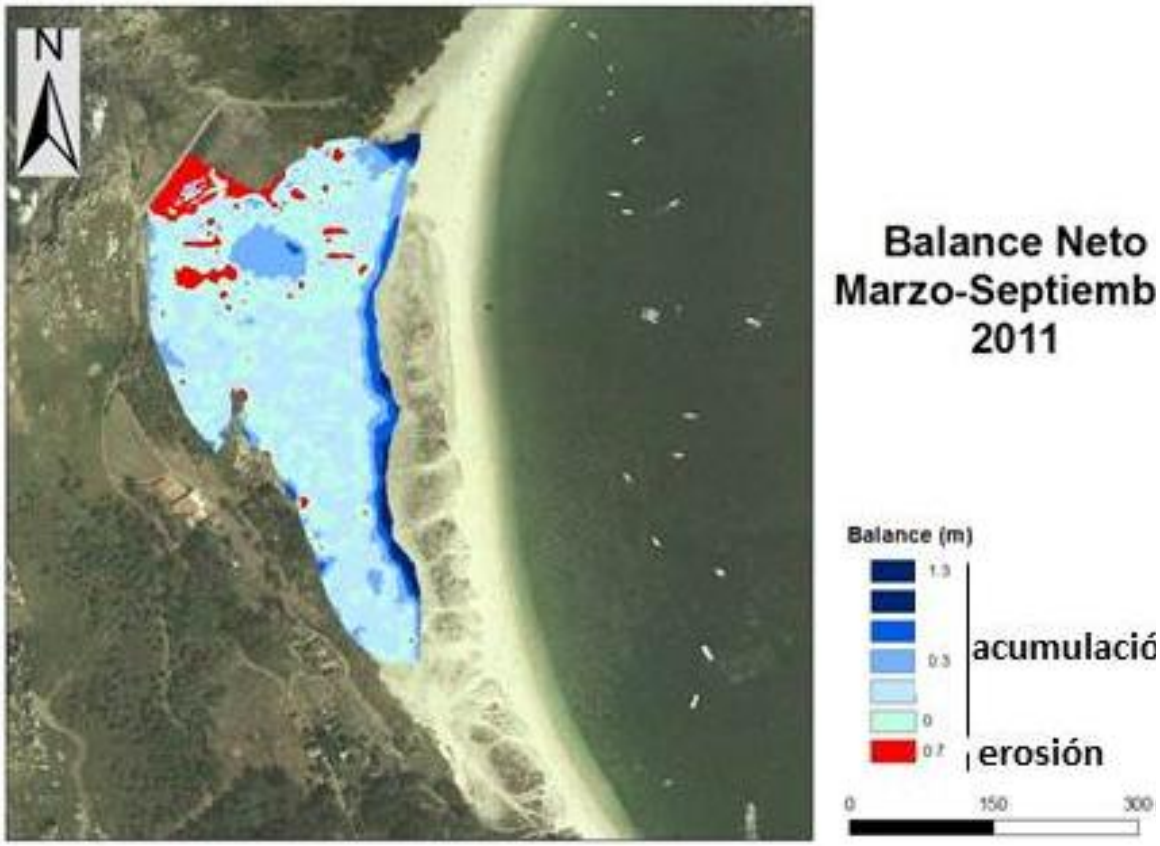


Figura 31 - Resultante neta de la variación topográfica de la laguna al contrastar los modelos digitales del terreno de la *Lagoa dos Nenos* de marzo y septiembre de 2011.

3.5. FORMACIÓN Y COLMATACIÓN DE LA LAGUNA MEDIANTE EL ESTUDIO DE SONDEOS

Se han recogido una serie de testigos verticales de sedimento con el objeto de analizar la naturaleza del relleno sedimentario en la laguna, así como para completar el modelo de evolución definido en trabajos anteriores para este medio natural (Costas 2006, Costas *et al.,* 2009). A excepción de los realizados en la parte más profunda de la laguna, en todos ellos se ha podido llegar al sustrato rocoso (granito alterado o *xabre*), lo cual nos ha permitido analizar el relleno sedimentario, con espesores que varían entre los 0.4m a los 6m. La figura 32 muestra fotografías, a modo de ejemplo, de tres de los testigos recogidos. Una vez fotografiados se procede a la descripción de los mismos y a la identificación de facies (sedimentos con características similares de composición y características texturales de los clastos constituyentes). Las figura 33, 35, 36, 37 y 38 muestran las columnas de facies identificadas en los testigos analizados en este proyecto y en otro anterior financiado por la Red de Parques Nacionales (Ministerio de Medio Ambiente).



Figura 32 - Fotografías de tres testigos recogidos en la laguna. En la parte inferior de los mismos los colores claros corresponden al sustrato (granito alterado).

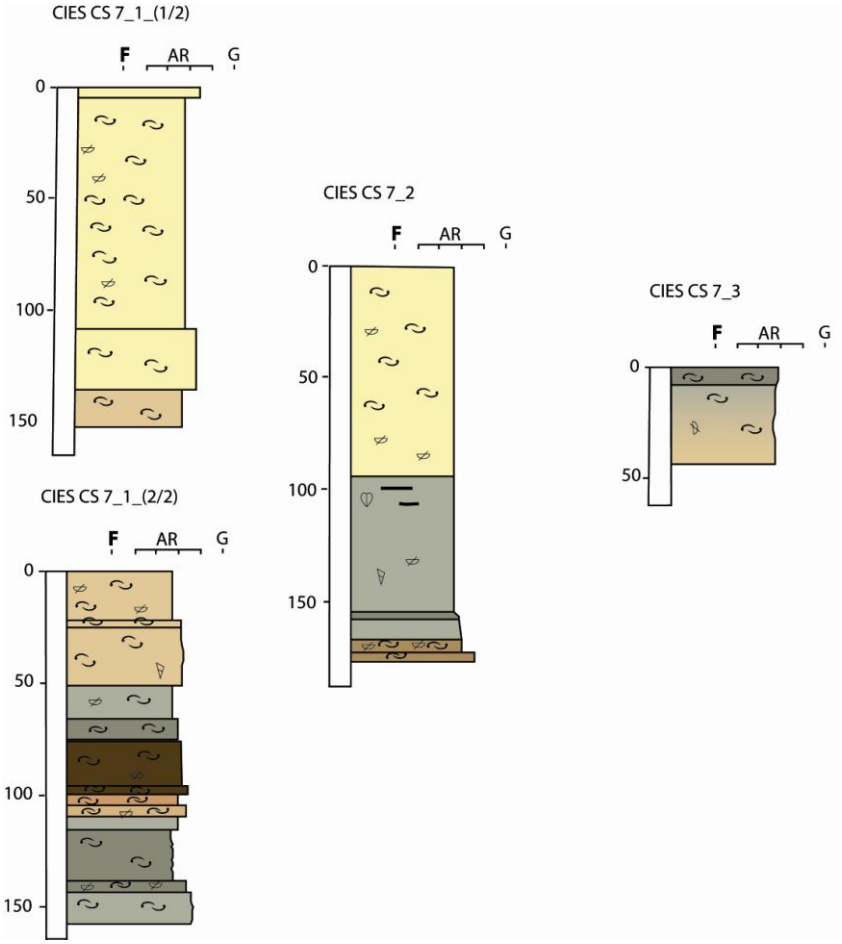


Figura 33– Levantamiento de facies de los testigos de sedimento de la lineación CS 7 en la laguna. Orientación Este-Oeste.

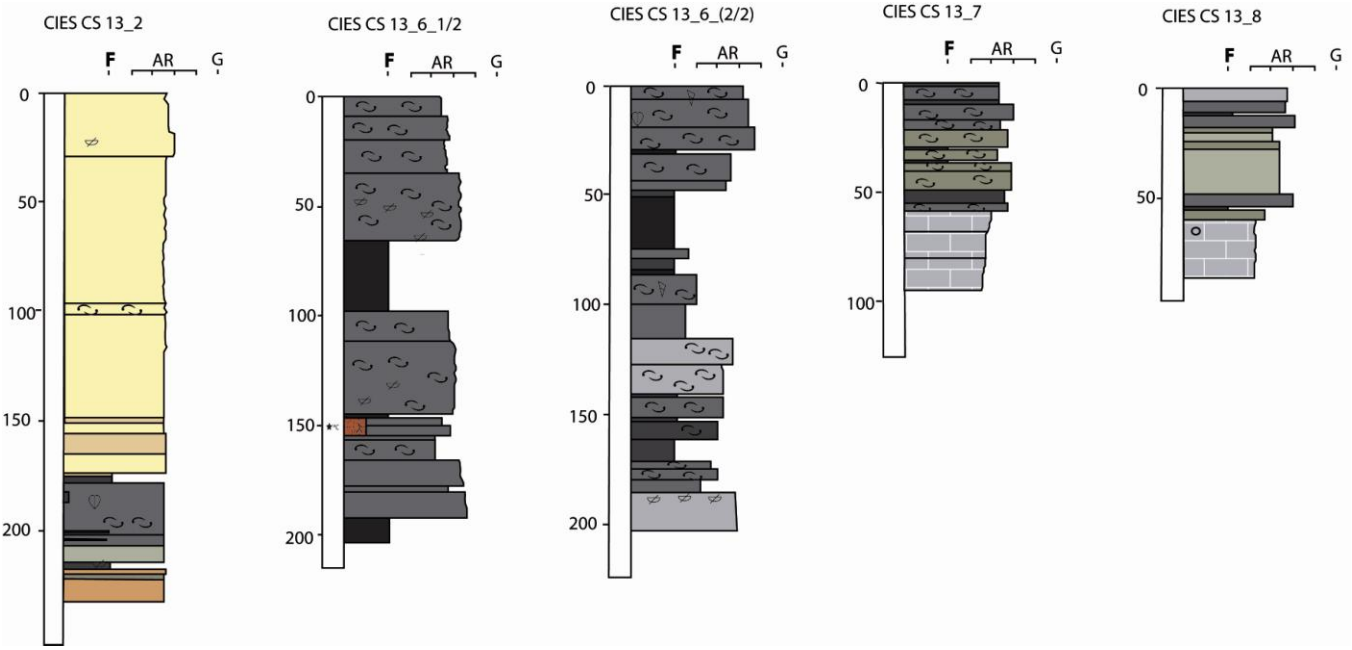


Figura 34– Levantamiento de facies de los testigos de sedimento de la lineación CS 13 en la laguna. Orientación Este-Oeste.

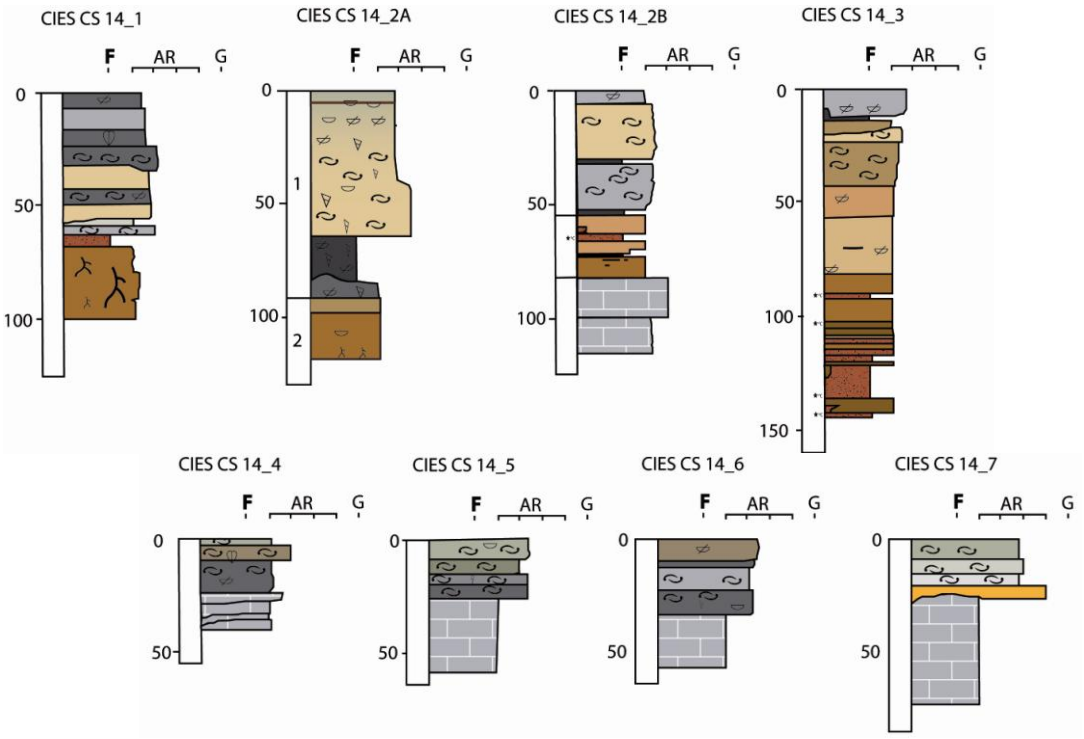


Figura 35– Levantamiento de facies de los testigos de sedimento de la lineación CS 13 en la laguna. Orientación Este-Oeste.

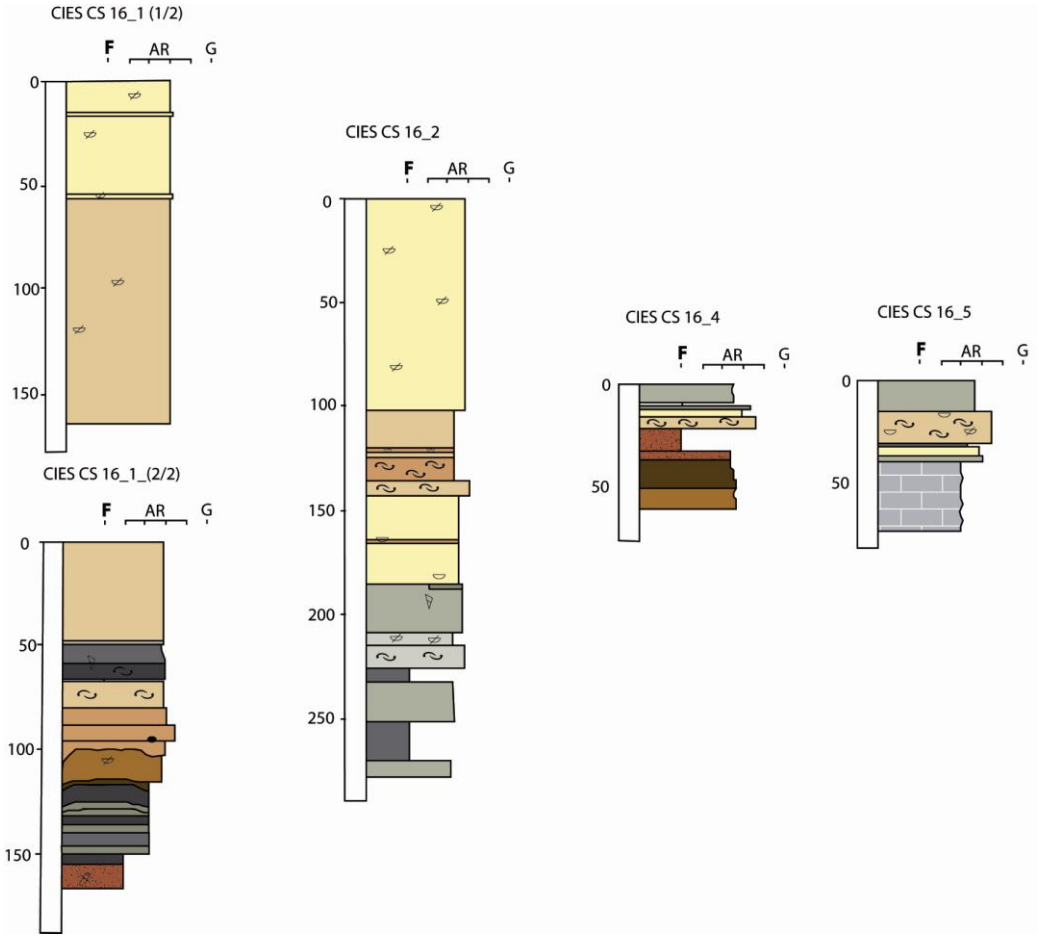
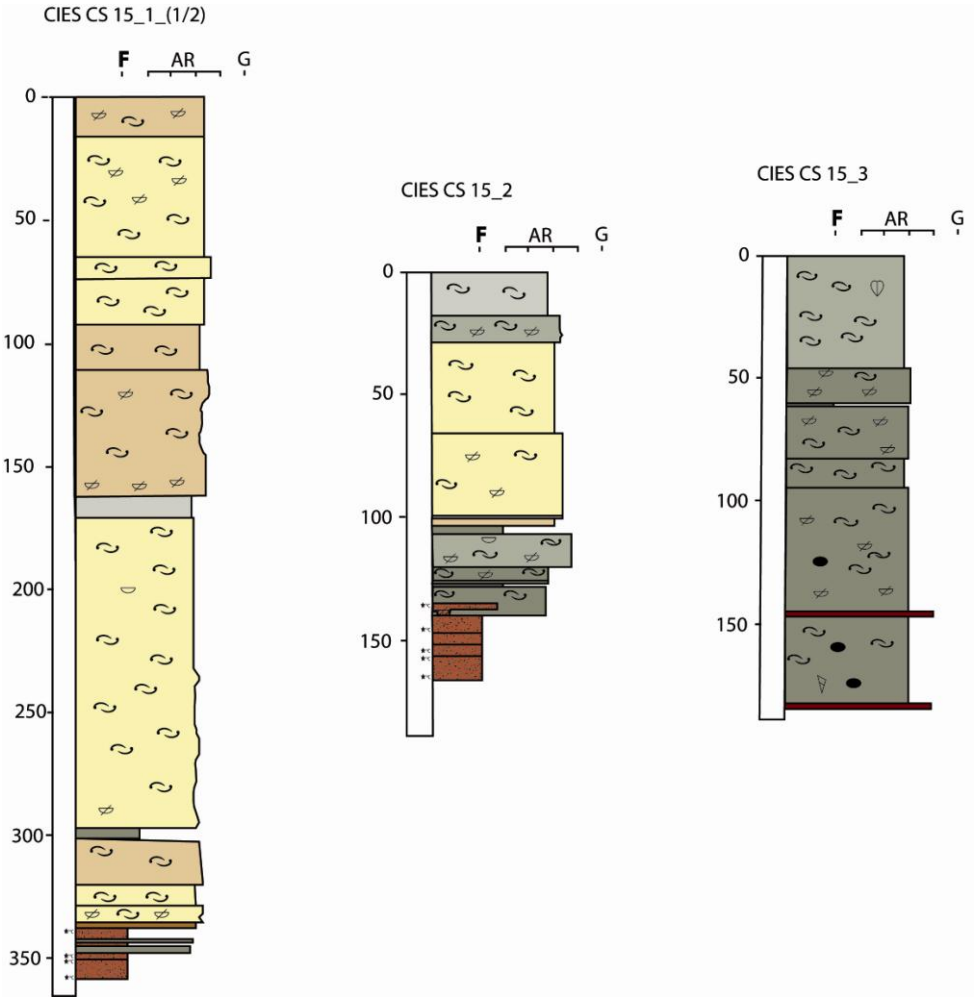


Figura 36– Levantamiento de facies de los testigos de sedimento de la lineación CS 13 en la laguna. Orientación Este-Oeste.



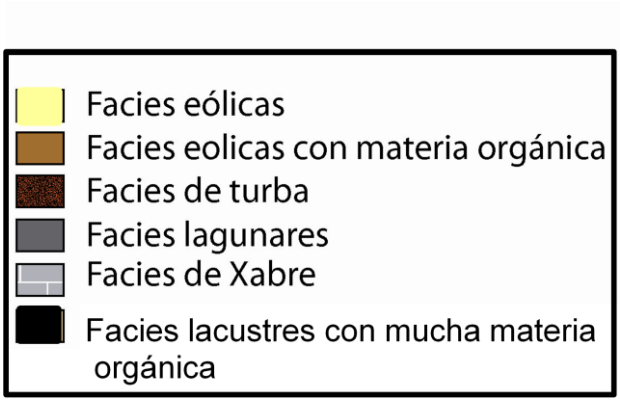


Figura 37– Levantamiento de facies de los testigos de sedimento de la lineación CS 15 en la laguna. Orientación Este-Oeste.

En la figura 38 se establece una correlación entre las facies diferenciadas en cada sondeo, lo que permite caracterizar la naturaleza y por tanto la fuente de aporte del relleno sedimentario. El sedimento procedente de la barrera dunar (facies eólicas, en amarillo) ocupan la parte superficial del relleno sedimentario de la mitad este de la laguna, mientras que en el resto de ella domina el sedimento propio de fondo lagunar con entrada de aportes marinos (facies lagunares en gris). El sedimento correspondiente a las facies eólicas es arena media bien seleccionada compuesta principalmente por cuarzo muy redondeado. El sedimento de las facies lagunares está formado por arenas medias heterométricas y mal seleccionadas compuestas principalmente por granos de cuarzo, micas y fragmentos de conchas de bivalvos y gasterópodos.

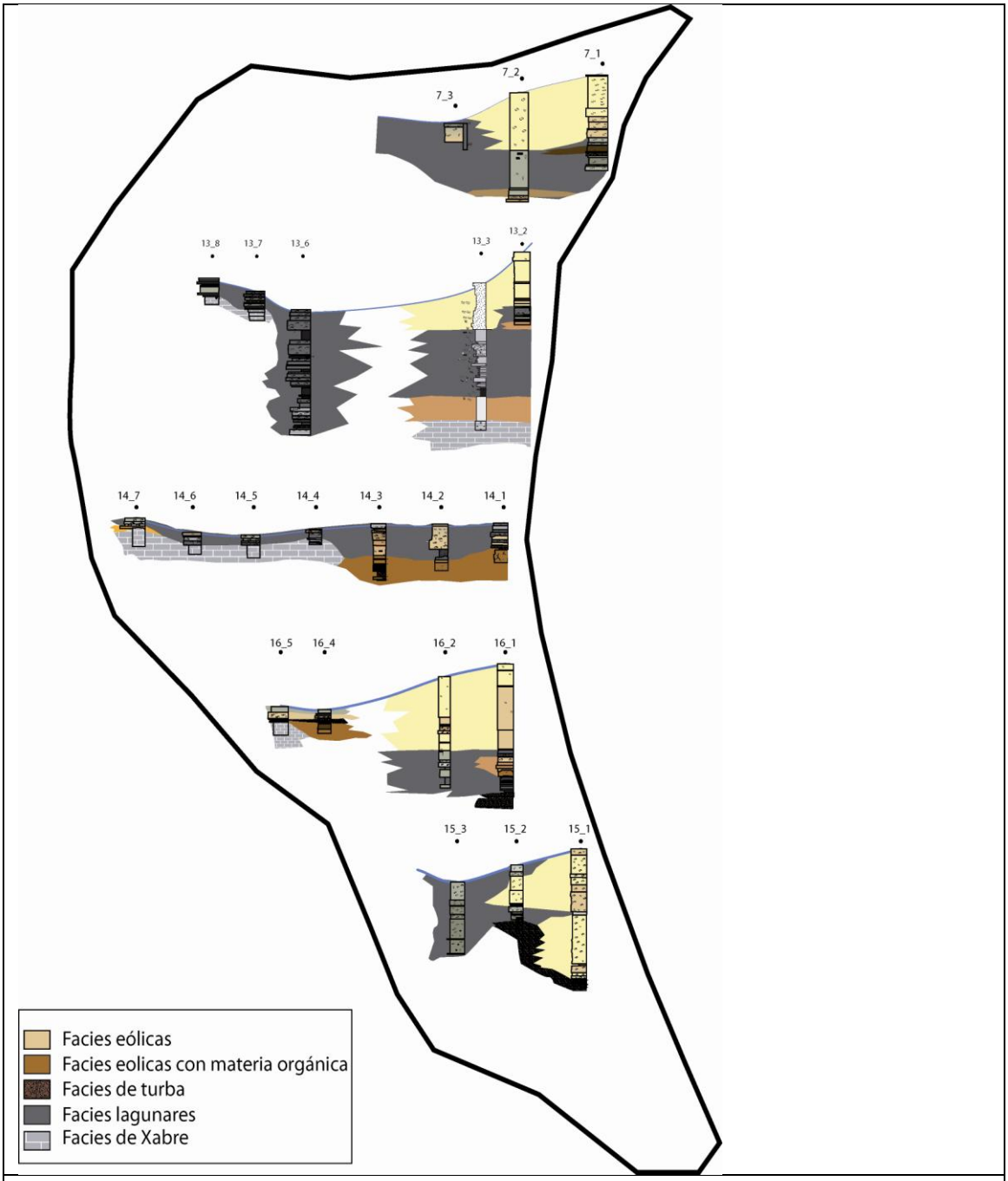


Figura 38- Correlación de las facies identificadas en los testigos realizados en la *Lagoa dos Nenos.*

4. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL COMPLEJO DUNAR

En este apartado se incluyen los resultados correspondientes a los aspectos indicados en la FASE IV de la Memoria Técnica del proyecto: CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL COMPLEJO DUNAR DE MUXIEIRO.

A continuación exponemos los primeros análisis obtenidos hasta la fecha. En una segunda memoria se presentará un análisis completo con todos los datos registrados durante el proyecto con los que aún estamos trabajando.



4.1. SEGUIMIENTO MORFODINÁMICO

Se han realizado con carácter mensual levantamientos topográficos a lo largo de 8 perfiles distribuidos de tal forma que han permitido la monitorización de los cambios topográficos del sector de la playa de Rodas que está asociado al intercambio de sedimentos con el complejo dunar de Muxieiro (figura 39).

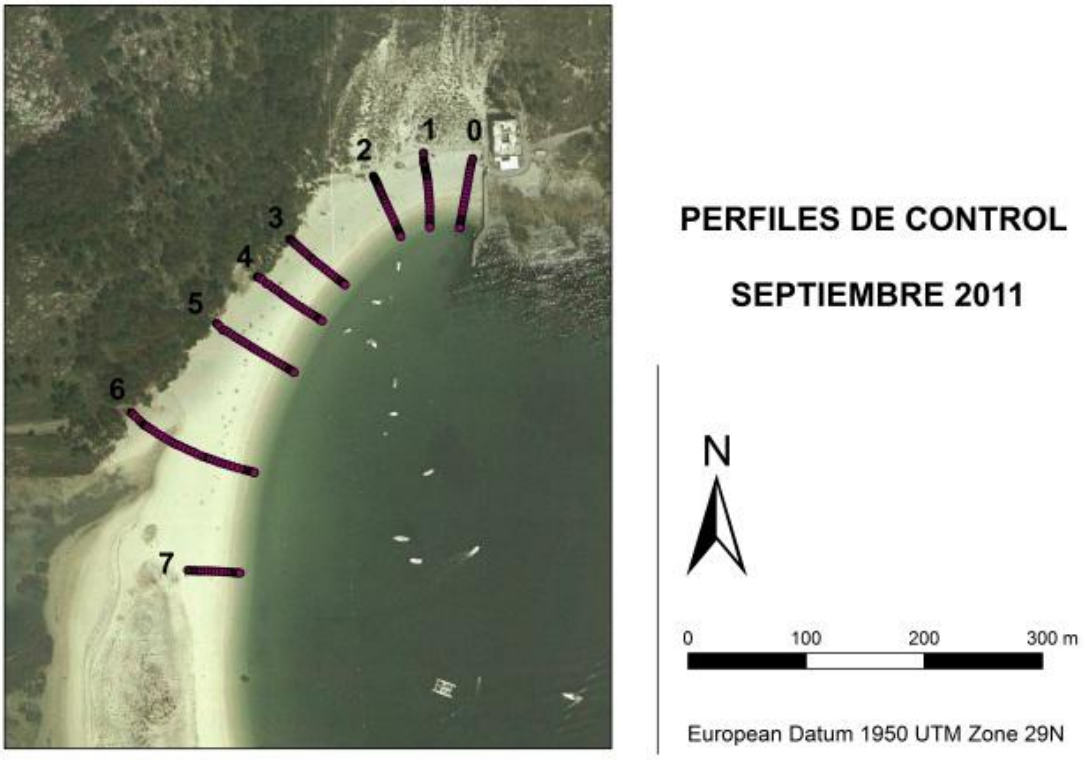


Figura 39- Localización de los perfiles "control" para el seguimiento morfodinámico de esta parte de la playa y límite playa-duna

En la figura 40 aparecen representados todos los perfiles realizados. Los perfiles 0, 1 y 2 representan el sector norte de la playa y están directamente asociados al intercambio de sedimentos con este sector de las dunas de Muxieiro; la dinámica evolutiva de estos está por tanto íntimamente ligada. La cabecera de estos los perfiles se localiza en las dunas primarias de Muxieiro. Los perfiles 5 y 6 representan la zona por donde se instala esporádicamente el canal de comunicación, o *inlet*, de la laguna con el mar.

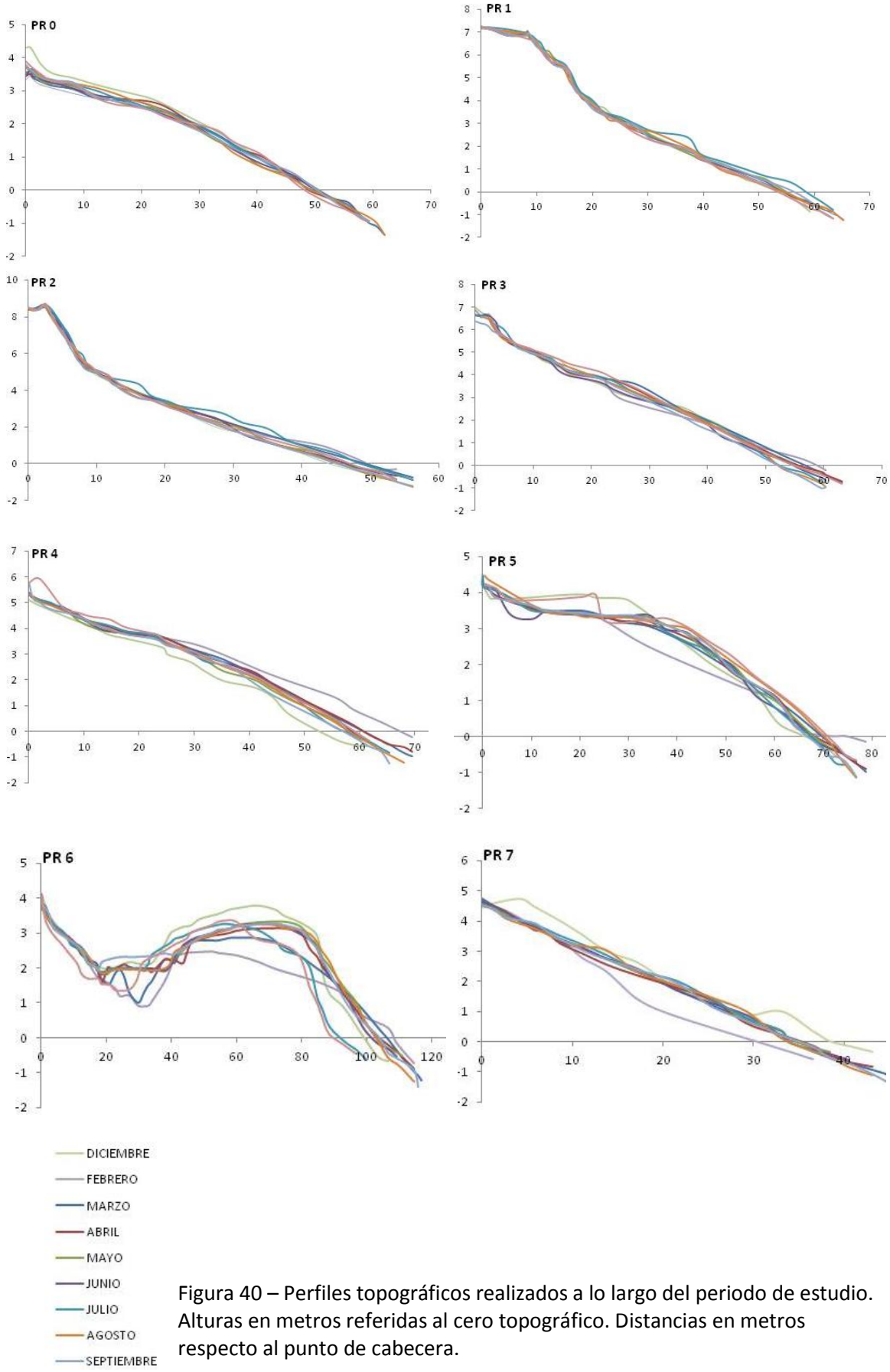


Figura 40 – Perfiles topográficos realizados a lo largo del periodo de estudio. Alturas en metros referidas al cero topográfico. Distancias en metros respecto al punto de cabecera.

Los perfiles 5 y 6 son por tanto los que muestran una mayor variabilidad, en especial el perfil 6 cuyas variaciones topográficas entre campañas pueden alcanzar los 2 metros de altura a lo largo del perfil, correspondiendo a momentos de apertura y posterior cierre por transporte transversal de sedimentos y generación de una berma de playa que "bloquea" y cierra el canal. Esta zona de la playa corresponde también con la de mayor anchura. Ocasionalmente la influencia de este canal llega a afectar a la morfodinámica del perfil 4. El perfil 7 se inicia en las dunas primarias de la barrera dunar de Rodas; se encuentra fuera de la influencia directa del *inlet* y representa el límite sur de la zona de seguimiento.

Hasta enero de 2011 esta zona mostraba una duna embrionaria con morfología de berma (ver figura 40, PR 7 campaña de diciembre) que fue erosionada como efecto de un temporal a principios de febrero de 2011; el contacto playa-duna retrocedió un par de metros y se generó un importante escalón que se fue recuperando a lo largo del tiempo estudiado. Sin embargo, tras este evento no se han detectado importantes variaciones en el perfil de la playa y aún no se han recuperado las dunas embrionarias.

Además, con el fin de obtener una información más detallada de la zona playa-duna se ha realizado una topografía de detalle mediante tecnología LIDAR (septiembre 2011). En la figura 41 se muestra el modelo digital del terreno resultante. El levantamiento topográfico fue realizado en una época en la que no estaba activo el canal de comunicación laguna-mar, y la playa mostraba una berma continua de norte a sur. Sin embargo se puede apreciar la degradación topográfica de este sector que afecta fundamentalmente a la desaparición del cordón dunar. La degradación topográfica de este sector de la barrera-playa puede apreciarse mejor en la figura 42, donde se muestra el Modelo Digital del Terreno (MDT) realizado a partir de datos LIDAR en julio de 2010 para toda la barrera-playa de Rodas y dunas de Muxeiro.

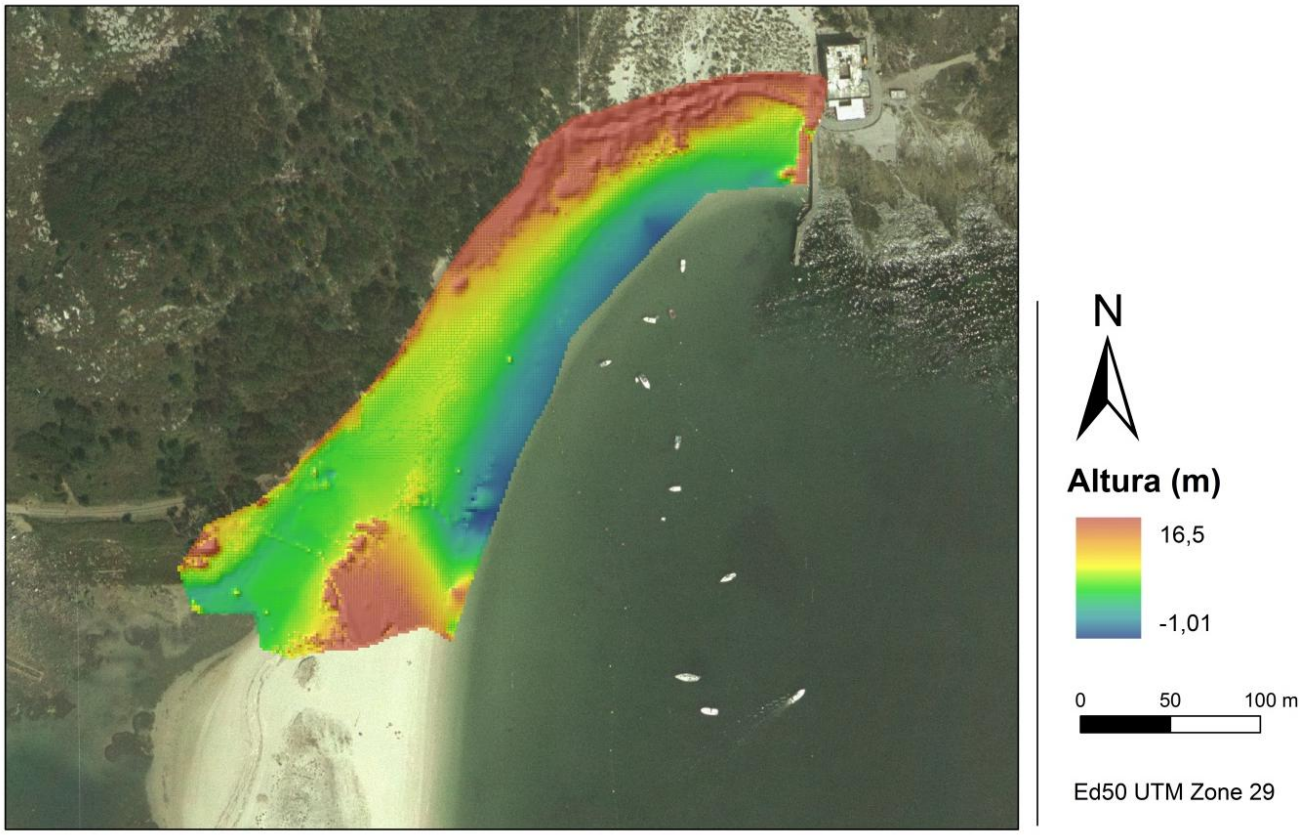


Figura 41 – Modelo digital del terreno elaborado a partir de tecnología LIDAR (septiembre 2011).

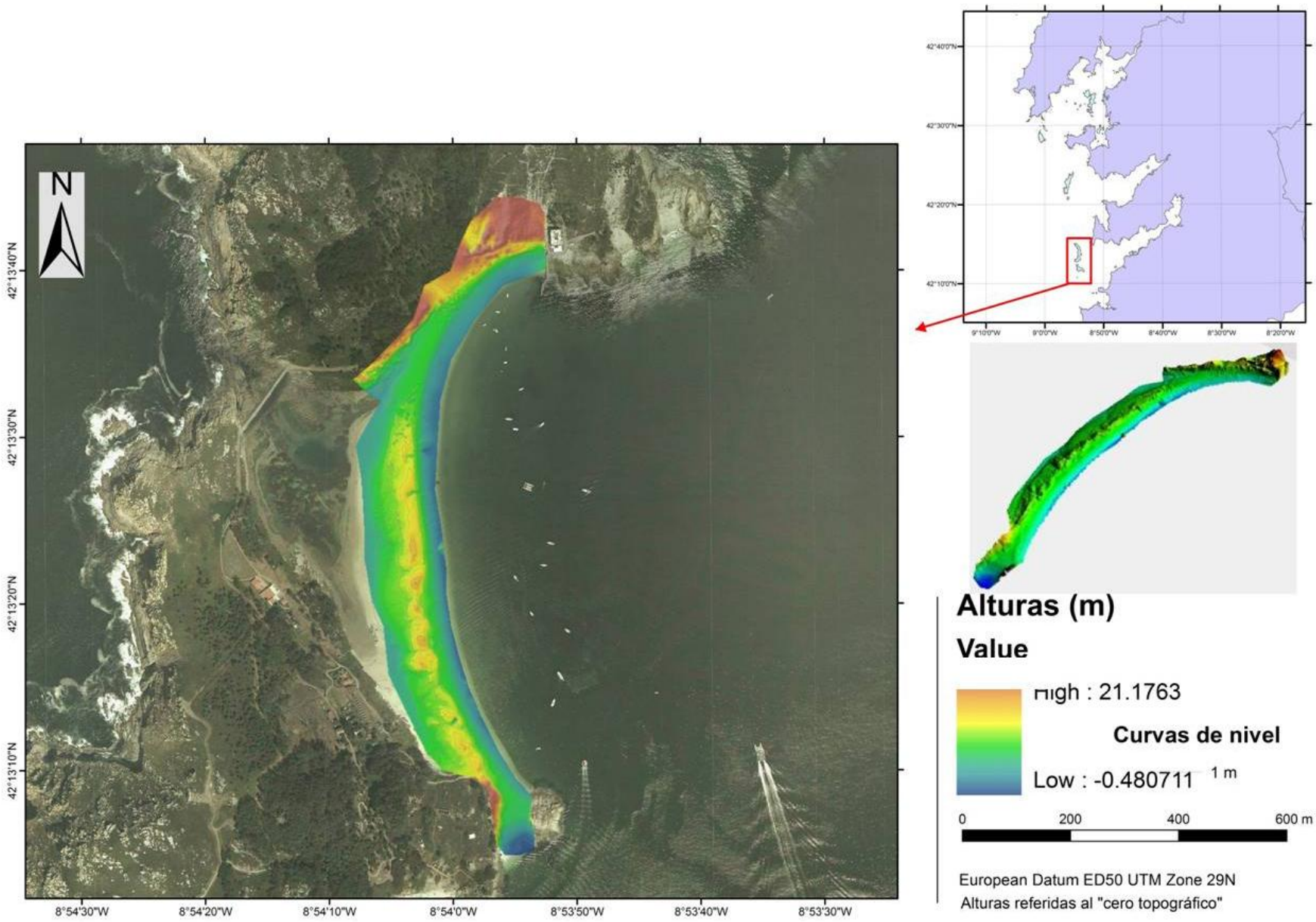


Figura 42– Modelo digital del terreno de la playa de Rodas realizado mediante LIDAR terrestre en julio de 2010.

4.2. BATIMETRÍA DE LA ZONA SUBMAREAL ADYACENTE

Se han realizado cuatro batimetrías de detalle del submareal de la zona norte de la playa de Rodas (hasta la isobata de 8 metros), desde el muelle de embarque hasta la zona de influencia del *inlet*. La toma de datos se ha realizado cada 0.250m mediante registro continuo con ecosonda y GPS Diferencial. A partir de estos datos se construyó el modelo digital del terreno de cada campaña aplicando sistemas de información geográfica (GvSIG) utilizando una interpolación Topogrid con 1m de tamaño de celda. Con el objeto de unificar el nivel de referencia los datos batimétricos están referidos al cero topográfico, al igual que el resto de modelos digitales del terreno presentados en este trabajo.

La figura 43 muestra tres de estos modelos: dos correspondientes a las últimas campañas realizadas (septiembre y noviembre 2011) y una primera realizada un año antes (mayo 2010) con la que ampliamos la escala temporal de observación para identificar la pauta evolutiva.

A simple vista no se observan importantes cambios entre los tres modelos observados. El patrón morfológico está claramente definido por un marcado cambio topográfico asociado a la barrera arenosa de Rodas, o más concretamente a la base del frente de playa. A partir de esa zona el submareal se caracteriza por una pendiente suave.

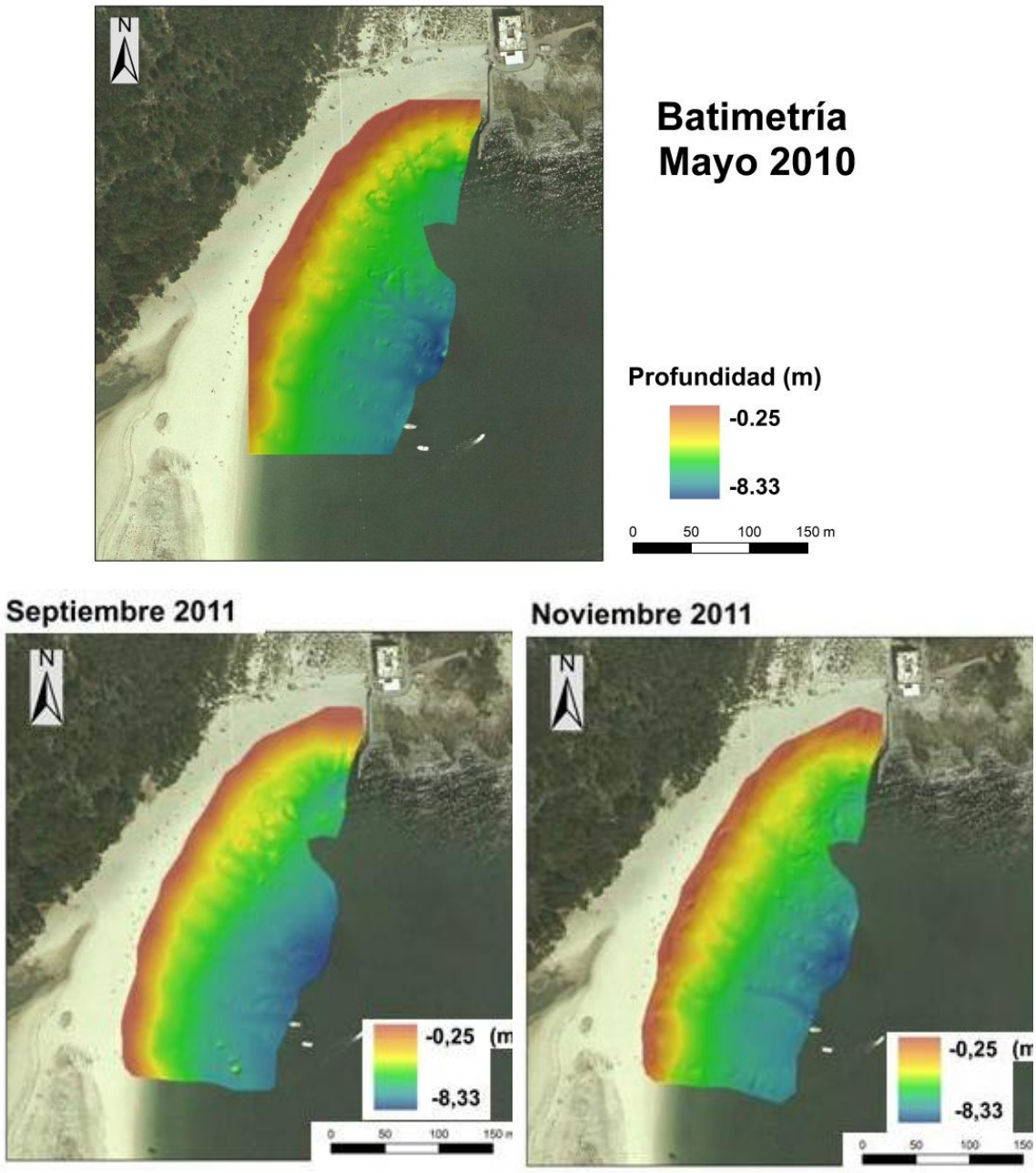


Figura 43- Batimetría del sector norte del submareal de la playa de Rodas. Datos batimétricos referidos al cero topográfico.

La comparación de los modelos del terreno entre campañas nos permite detectar las zonas de cambio topográfico y por tanto determinar el balance neto de sedimentos entre esas épocas (Figura 44).

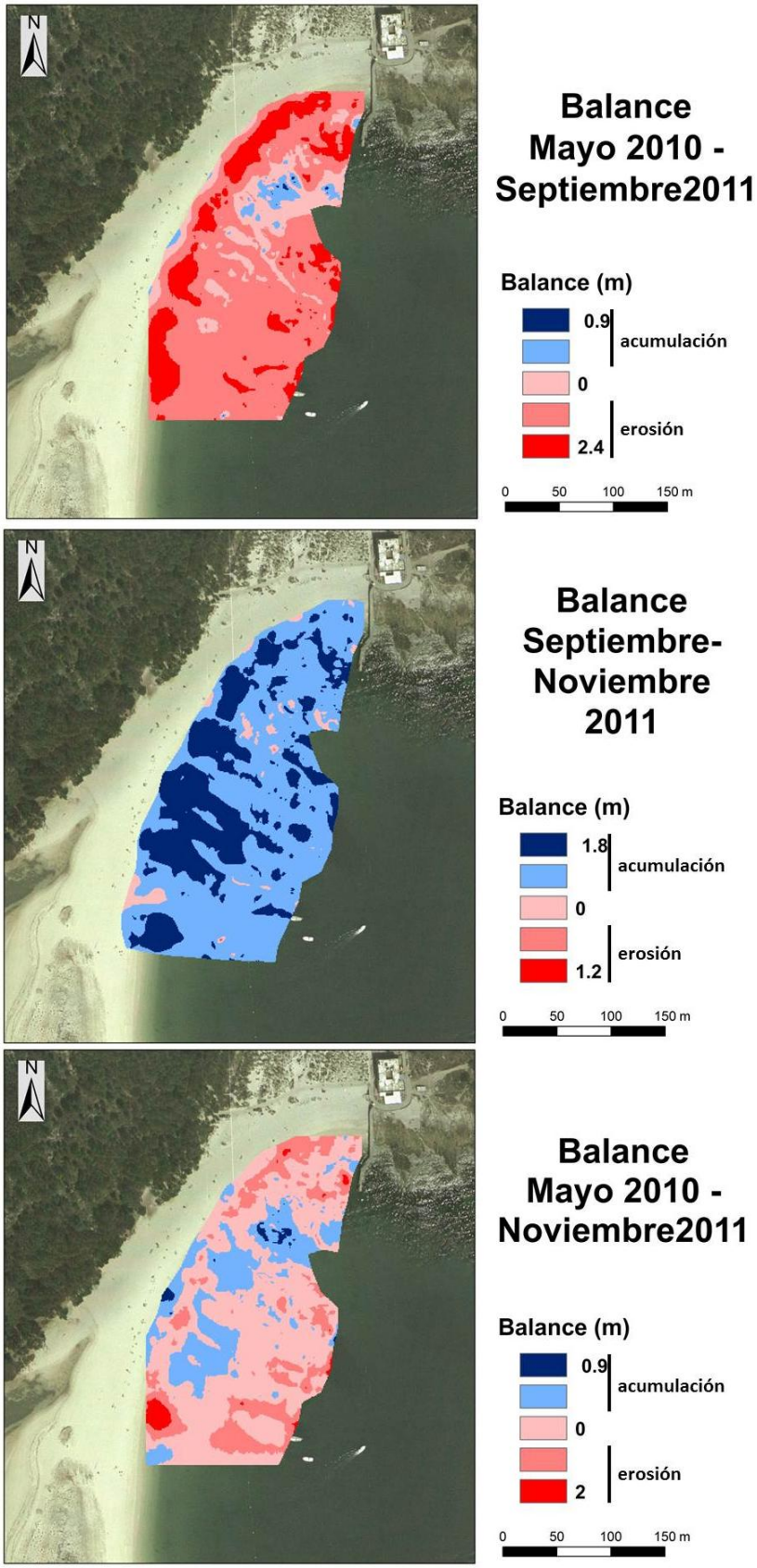


Figura 44 - Balance neto entre las distintas campañas realizadas.

4.3. TOPOGRAFÍAS DE DETALLE DEL *INLET* O CANAL DE COMUNICACIÓN *LAGOA*-MAR

Se han realizado un total de tres campañas de levantamiento topográfico de la zona de la playa de Rodas que corresponde por el sector por el que se produce el canal de canal de comunicación Lagoa-mar (*inlet*) y que con mayor frecuencia se establece por esta parte de la playa, lo que conlleva un incremento en la degradación topográfica y erosión de esta zona. Las dos primeras campañas fueron realizadas mediante registro continuo con GPS Diferencial, con datos cada 0.250m, mientras que la tercera se realizó mediante LIDAR Terrestre. La figura 45 muestra el modelo digital del terreno realizado a partir de los datos de las dos primeras campañas.

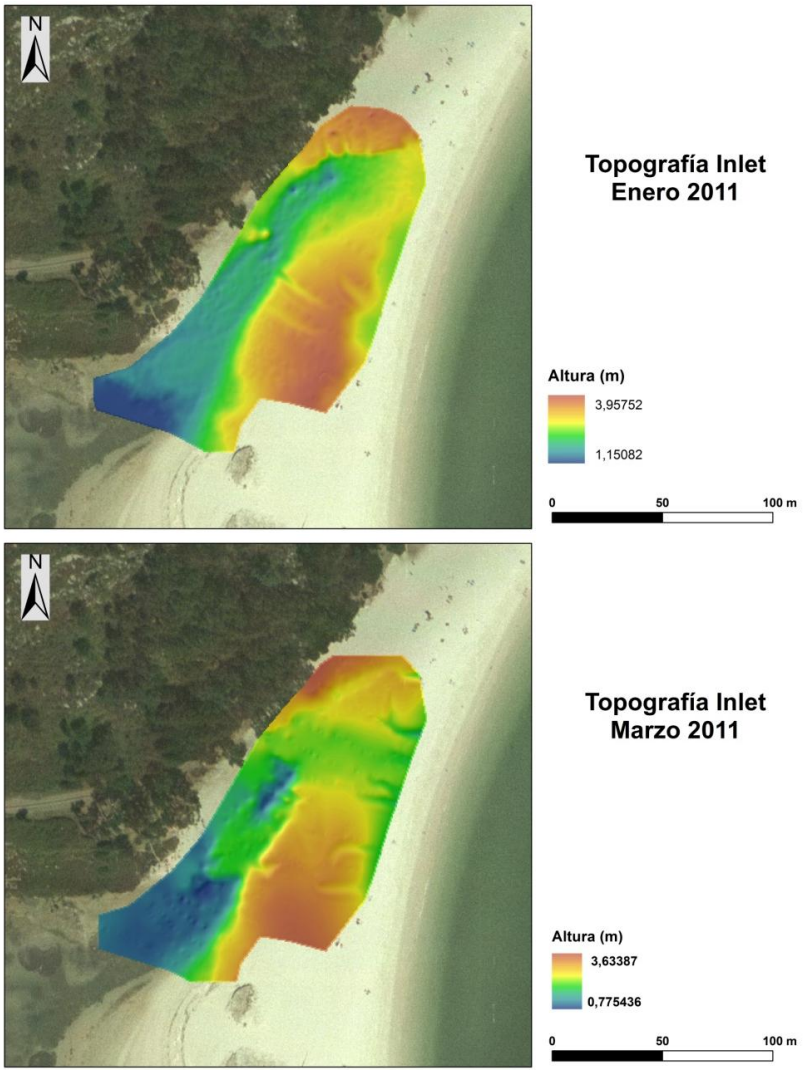


Figura 45 - Modelos digitales del terreno de la zona del *inlet* a partir de los datos topográficos obtenidos en enero y marzo 2011.

Ambas campañas corresponden a días posteriores a la apertura del *inlet*, una vez que las condiciones energéticas han disminuido y la topografía de esa zona de la playa comienza a recuperarse. La campaña de enero muestra una situación en la que el canal se está cerrando por el aporte transversal de sedimentos; es el inicio de la formación de una berma de playa que caracteriza esta zona en condiciones de bonanza energética. En esta situación ya no se produce flujo de salida de agua desde la laguna al mar, sino que la comunicación es desde el mar hacia la laguna durante la pleamar por los procesos de derrame del oleaje al sobrepasar la berma. En marzo la situación es similar aunque en este caso se observa que el aporte desde el mar (a través de la playa) ha generado ya un abanico de sedimento o delta de flujo que penetra hacia la laguna, recuperándose de este modo la cicatriz topográfica que generó el canal.

Al igual que en el apartado anterior, se contrastan los modelos digitales del terreno obtenidos en ambas campañas para establecer el balance neto de sedimentos en la zona (figura 46).

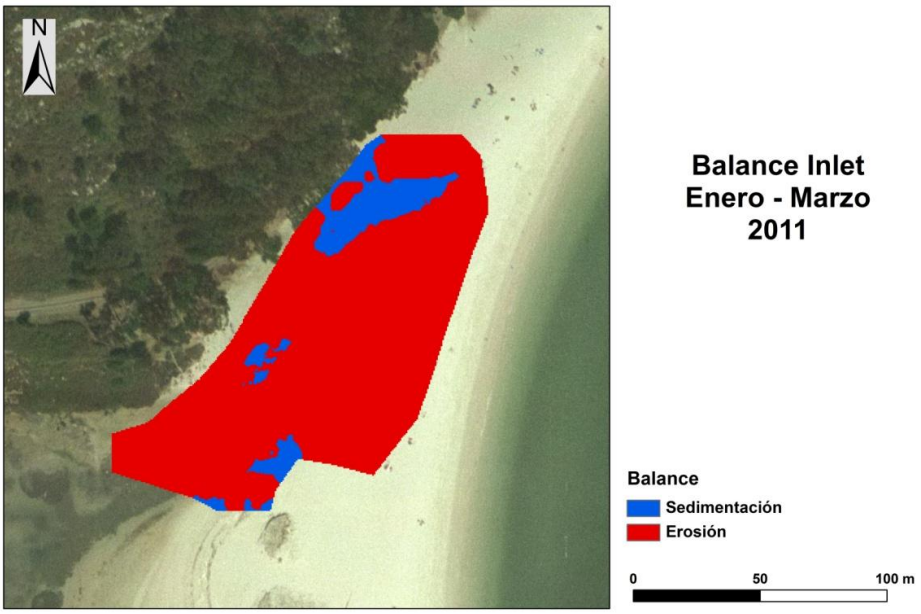


Figura 46 - Balance neto entre las campañas de enero y marzo.

La característica más destacable es la degradación topográfica de toda la zona entre ambas situaciones. El análisis de la tercera campaña realizada en septiembre mediante técnica LIDAR realizada en septiembre de 2011 (ver figura 41) nos permite determinar el grado de recuperación topográfica de la zona tras la situación de verano.

En la figura 47 se realiza una comparación anual de la topografía en detalle de esta zona, desde octubre de 2010 a septiembre 2011. Esta figura permite observar el comportamiento de esta zona de la playa y sus cambios topográficos debido a la apertura del canal (MDTs de octubre 2010 y marzo 2011) y posterior cierre del mismo, con la consiguiente recuperación topográfica (los MDTs de enero y septiembre de 2011 reflejan distintos estadios de estas fases de cierre del canal y recuperación de la playa). No obstante, la cada vez más frecuente sucesión de estos acontecimientos ha derivado en los últimos años a la degradación topográfica de esta zona de la barrera-playa de Rodas, tal y como se mostró en la figura 42 donde se puede observar la topografía de toda la barrera en conjunto.

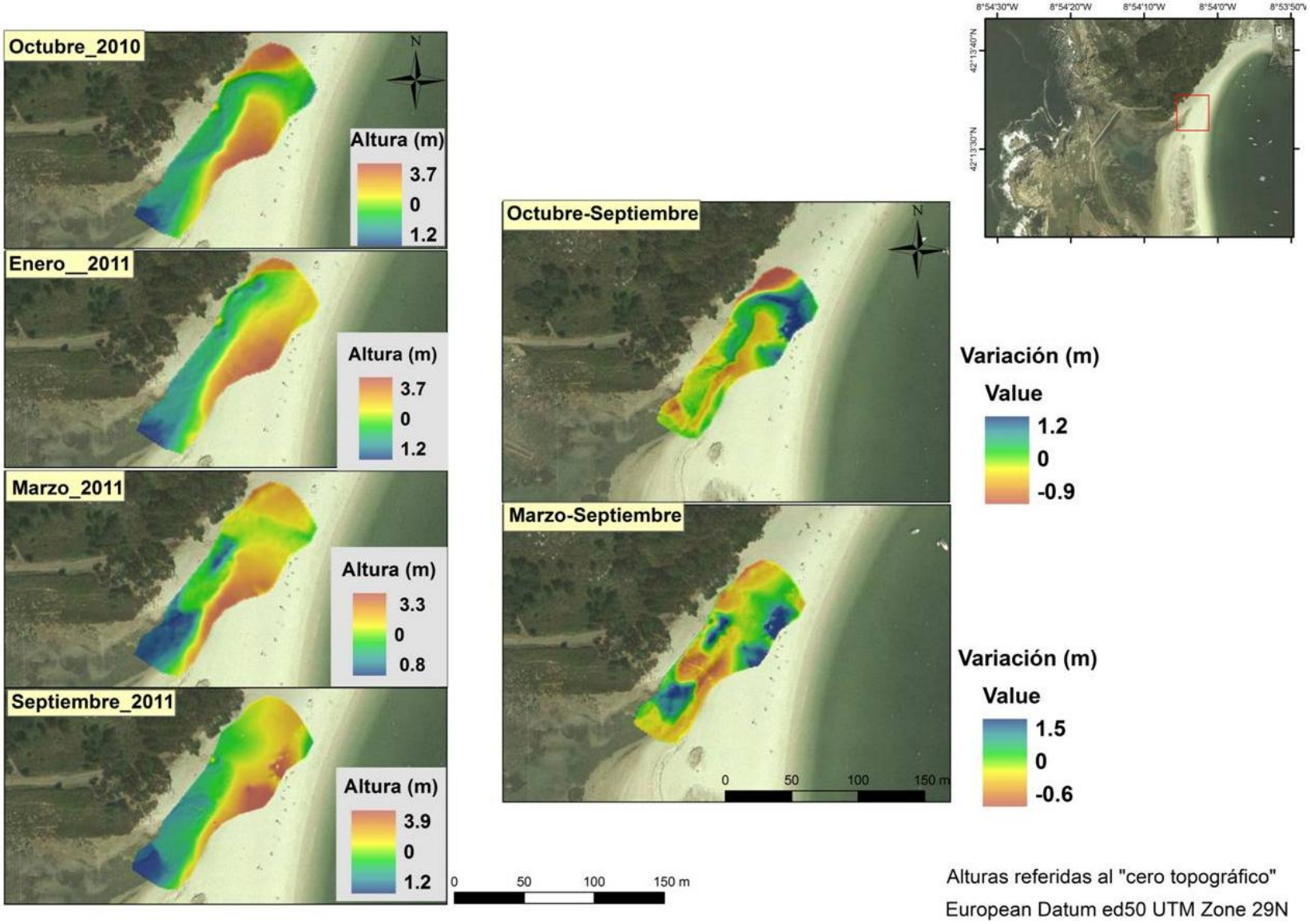


Figura 47– Comparación anual de los Modelos Digitales del Terreno realizados en la zona del *inlet* a partir de los datos topográficos obtenidos en octubre de 2010, enero, marzo y septiembre de 2011.

4.4. EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE EÓLICO

Se ha instalado una torre de anemómetros para evaluar la capacidad de transporte eólico en la zona y dirección preferente del mismo. La torre se compone de cuatro anemómetros colocados a 0.12, 0.5, 0.75 y 4 metros de altura respecto al lecho dunar. Todos ellos registran velocidades de viento y dos incluyen también una medida de dirección (correspondiente a las alturas de 0.5 y 4 metros). Simultáneamente se han instalado cuatro trampas de sedimento alrededor de la torre orientados a captar el sedimento transportado desde los cuatro ejes cardinales.

El equipo no pudo instalarse al inicio del proyecto como estaba previsto por problemas técnicos y retraso del suministro, por lo que la toma de datos se retrasó y decidimos ampliar al menos hasta febrero de 2012 el periodo de muestreo.

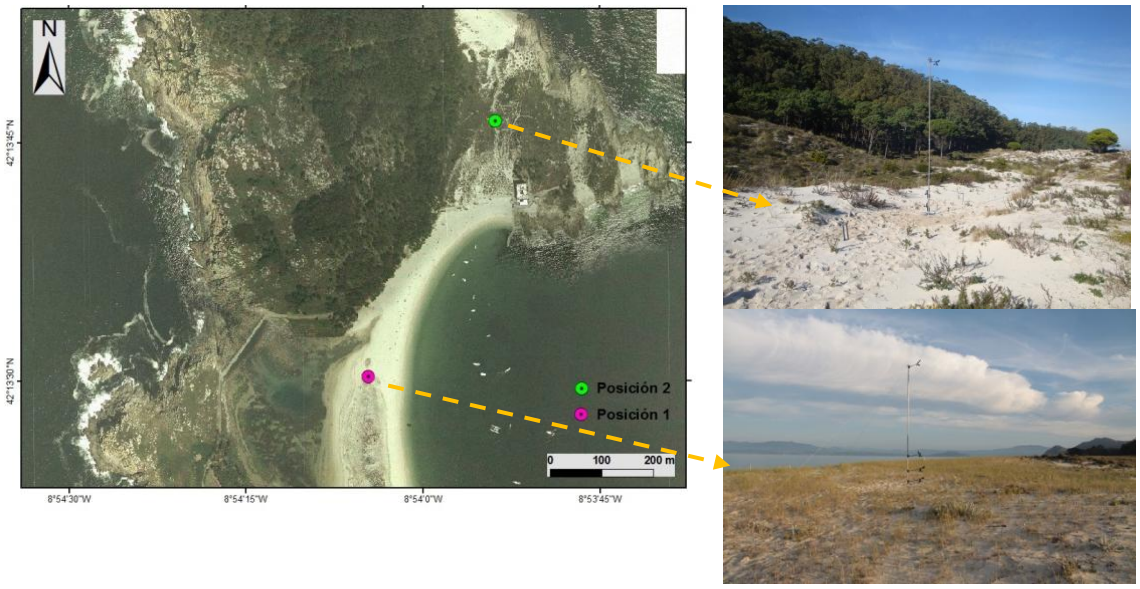


Figura 48 – Posiciones de instalación de la torre de anemómetros en la barrera de Rodas y complejo dunar de Muxieiro. Fotografías de detalle de la torre de anemómetros en ambos sectores.

La torre se colocó en septiembre de 2011 en una zona de la barrera de Rodas (Figura 48, posición 1, punto rosa) con el objeto de poder evaluar el aporte de sedimentos por transporte eólico hacia la laguna. A finales de noviembre el equipo se instaló en la parte central de las dunas de Muxieiro (Figura 48, posición 2, punto

verde), en una zona coincidente con el trazado alternativo de la pasarela de acceso a la isla decidido en su día por la directiva del Parque. En este caso se trata de evaluar el grado de transporte eólico en la zona y por tanto estabilidad de la misma. Estos datos ayudarán a evaluar el impacto que una estructura de ese tipo pueda generar en la zona, y en su caso tomar las medidas preventivas que lo mitiguen.

La figura 49 muestra un detalle de las trampas de sedimento

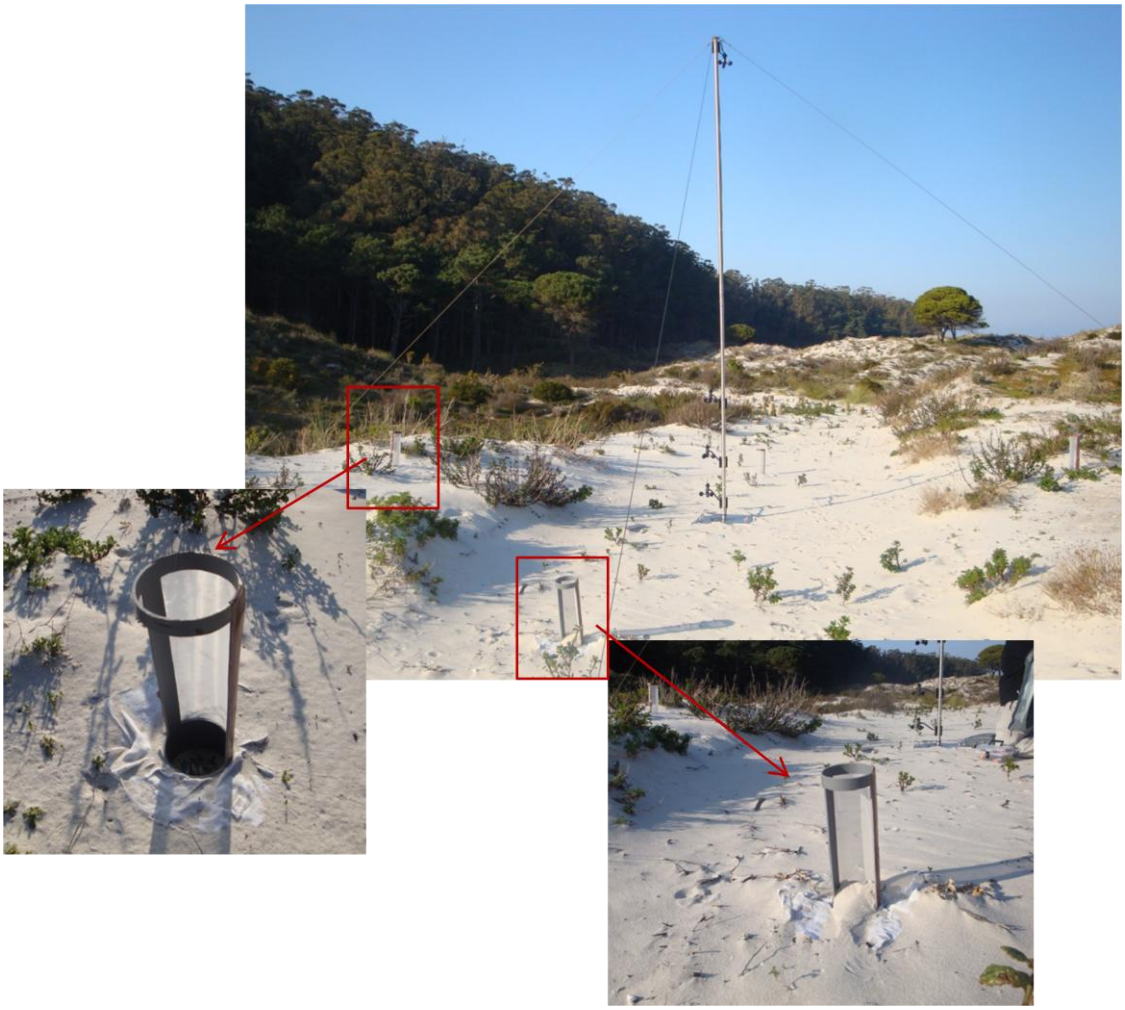


Figura 49 – Complejo dunar de Muxieiro. Detalle de las trampas de sedimento situadas para captar la trayectoria procedente de la componente sur (abajo) y oeste (izquierda).

En las figuras 50 51 y 52 se representan los datos de viento registrados en el punto situado en la barrera de Rodas durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2011. En la parte superior se muestran la dirección de los vientos prevalentes y en la parte inferior la velocidad registrada de los mismos. Cada una de las columnas se corresponde con cada anemómetro, indicándose la altura del mismo respecto al lecho

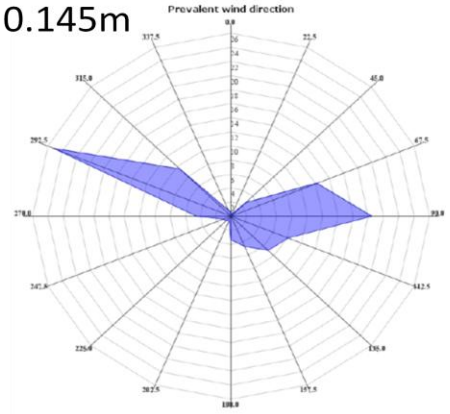
arenoso. En el caso del mes septiembre (figura 50), los vientos más frecuentes proceden del WNW y del E, con las mayores las mayores velocidades registradas procedentes del cuadrante W (y por tanto capacidad de transporte de sedimentos) y en menor medida del E. En el caso de octubre (figura 51), si bien los vientos más frecuentes proceden del WNW y del NE, las mayores velocidades (y por tanto capacidad de transporte de sedimentos) se registran del W, seguidas por el NE y el S. En noviembre (figura 52) los vientos de componente SES son los más frecuentes, registrando también las mayores velocidades, aunque en este caso también son importantes las velocidades registradas con los vientos del WNW, aunque fueron menos frecuentes. En resumen, estos datos nos indican una estabilización de esta parte de la barrera arenosa en la posición actual, con puntuales componentes de transporte hacia norte y sur (datos de octubre de 2011) con los vientos de componente S y NE respectivamente, aunque con una resultante equilibrada en el tiempo muestreado.

En las figuras 53, 54 y 55 se representan los datos de viento registrados en el punto situado en las dunas de Muxieiro durante los meses de diciembre de 2011, enero y febrero de 2012. En este caso, en la parte superior se muestran la dirección de procedencia del viento a dos alturas respecto al lecho (0.5m y 4m), mientras que en la parte inferior se indica la velocidad registrada a lo largo de los 4 anemómetros situados a las distintas alturas (0.145m, 0.5m, 1m y 4 m). En este caso, a lo largo de los tres meses registrados se observa que los vientos más intensos y por tanto los más competentes para transportar sedimentos, tienen una marcada procedencia en primer lugar del SE (máximos valores registrados en diciembre de 2011), seguidos de los de procedencia NW (máximos durante enero y febrero de 2012). Así mismo estos datos indican que durante el tiempo muestreado no existe una dirección preferente de transporte de sedimentos desde el sistema dunar hacia el norte (sedimento aportado desde la playa de Rodas)o sur (sedimento aportado desde la playa de Figueiras), sino que muestra una estacionalidad en el mismo que deriva en una resultante de estabilización del sistema dunar en la posición actual.

RODAS

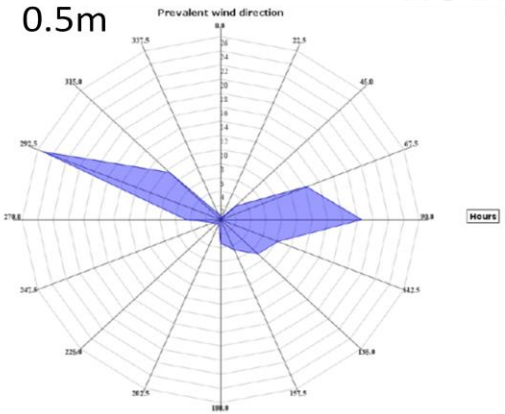
SEPTIEMBRE-2011

0.145m



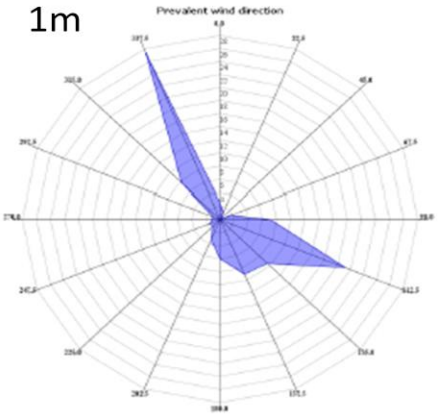
Wind Direction	Hours
0.0	0,58
22.5	0,25
45.0	2,7
67.5	12,18
90.0	18,5
112.5	8,08
135.0	6,85
157.5	4,6
180.0	3,37
202.5	0,6
225.0	1
247.5	1,12
270.0	4,55
292.5	25,2
315.0	9,47
337.5	1,02

0.5m



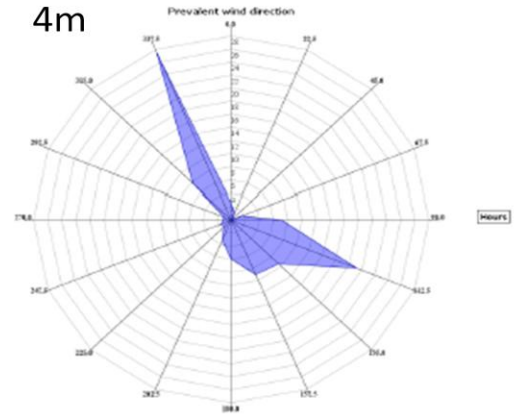
Wind Direction	Hours
0.0	0,58
22.5	0,25
45.0	2,7
67.5	12,18
90.0	18,5
112.5	8,08
135.0	6,85
157.5	4,6
180.0	3,37
202.5	0,6
225.0	1
247.5	1,12
270.0	4,55
292.5	25,2
315.0	9,47
337.5	1,02

1m

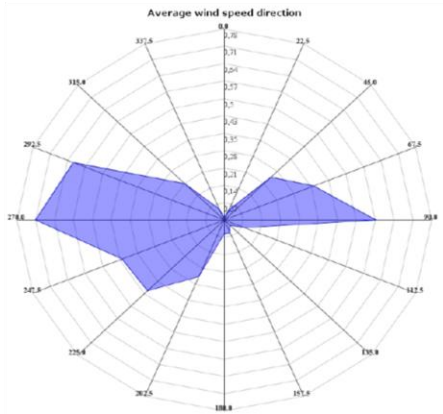


Wind Direction	Hours
0.0	2,55
22.5	1,18
45.0	0,18
67.5	1,6
90.0	7,2
112.5	19,22
135.0	9,43
157.5	0
180.0	5,97
202.5	3,32
225.0	1,42
247.5	1,58
270.0	1,2
292.5	1,07
315.0	7,72
337.5	27,35

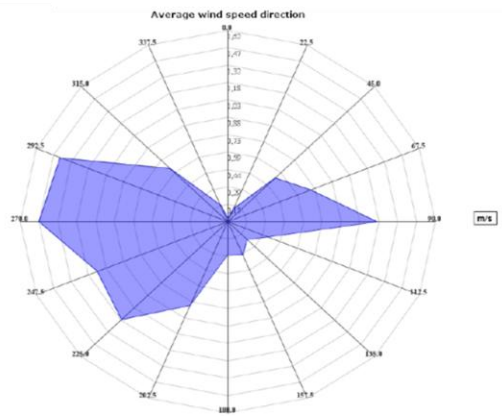
4m



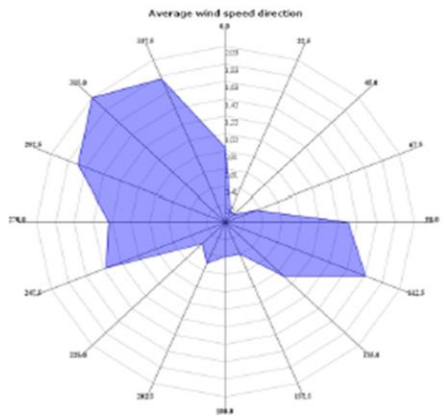
Wind Direction	Hours
0.0	2,55
22.5	1,18
45.0	0,18
67.5	1,6
90.0	7,2
112.5	19,22
135.0	9,43
157.5	0
180.0	5,97
202.5	3,32
225.0	1,42
247.5	1,58
270.0	1,2
292.5	1,07
315.0	7,72
337.5	27,35



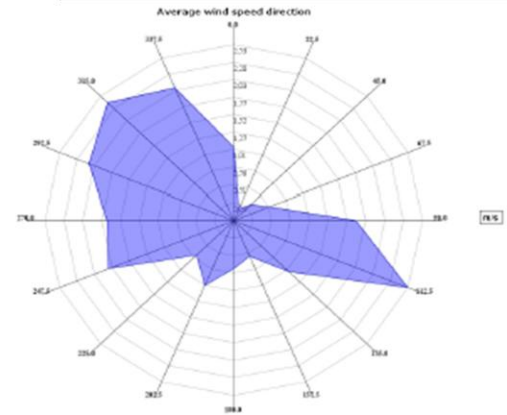
Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,01
22.5	0,04
45.0	0,25
67.5	0,37
90.0	0,57
112.5	0,08
135.0	0,03
157.5	0,06
180.0	0,06
202.5	0,25
225.0	0,41
247.5	0,42
270.0	0,71
292.5	0,62
315.0	0,21
337.5	0,05



Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,03
22.5	0,12
45.0	0,52
67.5	0,7
90.0	1,16
112.5	0,34
135.0	0,21
157.5	0,31
180.0	0,28
202.5	0,77
225.0	1,17
247.5	1,1
270.0	1,47
292.5	1,41
315.0	0,64
337.5	0,15



Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,86
22.5	0,15
45.0	0,12
67.5	0,36
90.0	1,32
112.5	1,64
135.0	0,89
157.5	0,4
180.0	0,4
202.5	0,52
225.0	0,35
247.5	1,39
270.0	1,26
292.5	1,72
315.0	2,03
337.5	1,79



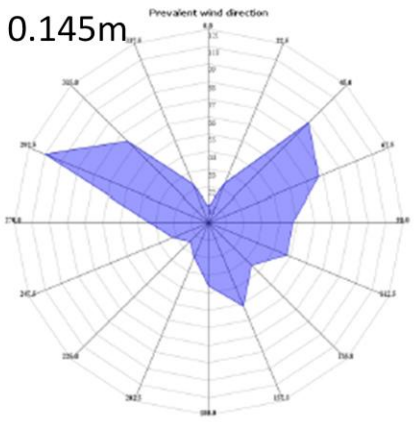
Wind Direction	Wind m/s
0.0	1,06
22.5	0,17
45.0	0,33
67.5	0,52
90.0	1,64
112.5	2,53
135.0	1,06
157.5	0,56
180.0	0,69
202.5	1,01
225.0	0,7
247.5	1,82
270.0	1,7
292.5	2,11
315.0	2,4
337.5	2,07

Figura 50–Rosas de dirección y velocidad registradas por la columna de anemómetros en la barrera de Rodas. En sept-2011.

RODAS

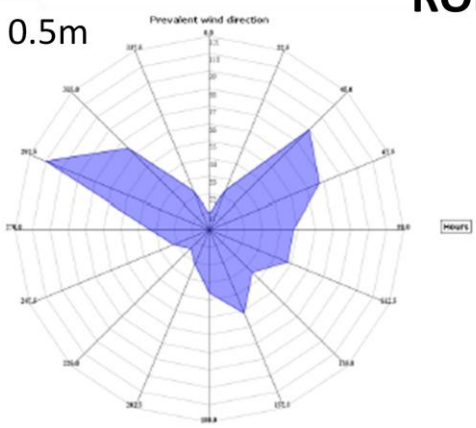
OCTUBRE-2011

0.145m



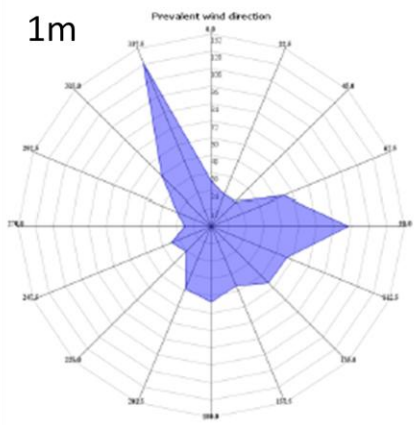
Wind Direction	Hours
0.0	10,28
22.5	25,88
45.0	87,75
67.5	74,02
90.0	52,18
112.5	52,5
135.0	37,67
157.5	56,8
180.0	39,5
202.5	23,52
225.0	16,42
247.5	24,07
270.0	36,78
292.5	110,2
315.0	71,6
337.5	25,33

0.5m



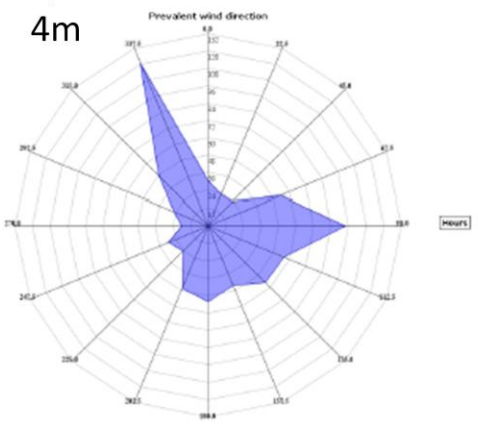
Wind Direction	Hours
0.0	10,28
22.5	25,88
45.0	87,75
67.5	74,02
90.0	52,18
112.5	52,5
135.0	37,67
157.5	56,8
180.0	39,5
202.5	23,52
225.0	16,42
247.5	24,07
270.0	36,78
292.5	110,2
315.0	71,6
337.5	25,33

1m

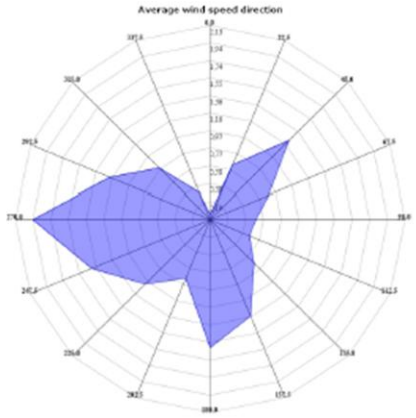


Wind Direction	Hours
0.0	30,63
22.5	22,95
45.0	23,42
67.5	53,93
90.0	93,8
112.5	56,18
135.0	55,06
157.5	44,3
180.0	52,22
202.5	46,57
225.0	24,27
247.5	29,43
270.0	17,9
292.5	25,45
315.0	47,45
337.5	121,27

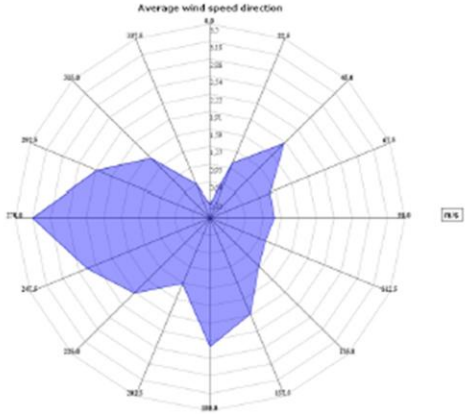
4m



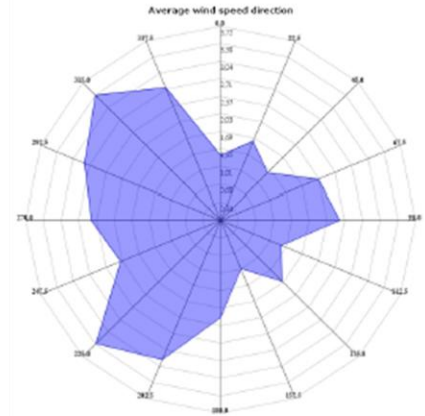
Wind Direction	Hours
0.0	30,63
22.5	22,95
45.0	23,42
67.5	53,93
90.0	93,8
112.5	56,18
135.0	55,06
157.5	44,3
180.0	52,22
202.5	46,57
225.0	24,27
247.5	29,43
270.0	17,9
292.5	25,45
315.0	47,45
337.5	121,27



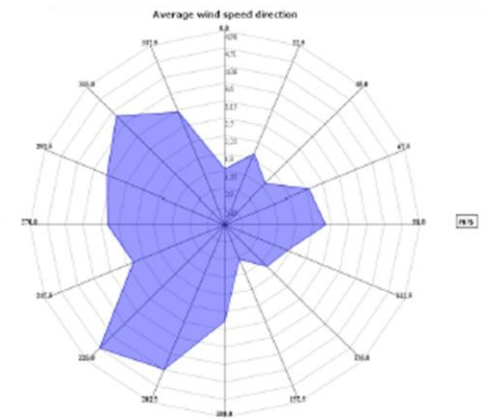
Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,06
22.5	0,64
45.0	1,22
67.5	0,69
90.0	0,5
112.5	0,47
135.0	0,68
157.5	1,15
180.0	1,41
202.5	0,7
225.0	1,01
247.5	1,4
270.0	1,94
292.5	1,19
315.0	0,79
337.5	0,31



Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,24
22.5	1,06
45.0	1,87
67.5	1,17
90.0	1,16
112.5	1,07
135.0	1,24
157.5	1,88
180.0	2,33
202.5	1,29
225.0	1,92
247.5	2,38
270.0	3,18
292.5	2,39
315.0	1,49
337.5	0,64



Wind Direction	Wind m/s
0.0	1,23
22.5	1,63
45.0	1,26
67.5	2,02
90.0	2,27
112.5	1,26
135.0	1,66
157.5	1,01
180.0	1,87
202.5	2,91
225.0	3,36
247.5	2,06
270.0	2,46
292.5	2,81
315.0	3,38
337.5	2,74



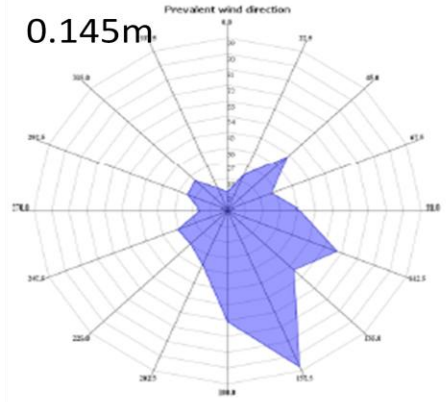
Wind Direction	Wind m/s
0.0	1,4
22.5	1,94
45.0	1,45
67.5	2,32
90.0	2,57
112.5	1,73
135.0	1,53
157.5	0,96
180.0	2,48
202.5	4,03
225.0	4,51
247.5	2,52
270.0	2,99
292.5	3,25
315.0	3,9
337.5	3,09

Figura 51–Rosas de dirección y velocidad registradas por la columna de anemómetros en la barrera de Rodas en oct-2011.

RODAS

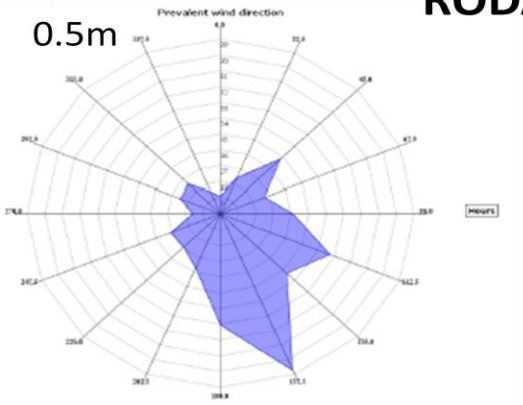
NOVIEMBRE-2011

0.145m



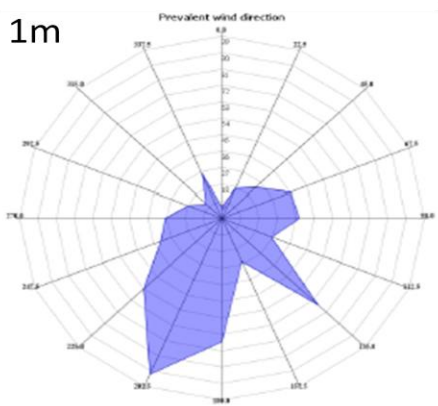
Wind Direction	Hours
0.0	9,97
22.5	21,57
45.0	43,23
67.5	24,47
90.0	37,15
112.5	60,58
135.0	47,87
157.5	96,57
180.0	63,63
202.5	33,6
225.0	26,57
247.5	27,68
270.0	14,2
292.5	22,15
315.0	23,72
337.5	13,37

0.5m



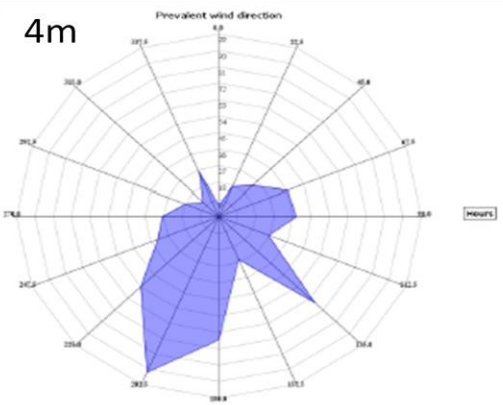
Wind Direction	Hours
0.0	9,97
22.5	21,57
45.0	43,23
67.5	24,47
90.0	37,15
112.5	60,58
135.0	47,87
157.5	96,57
180.0	63,63
202.5	33,6
225.0	26,57
247.5	27,68
270.0	14,2
292.5	22,15
315.0	23,72
337.5	13,37

1m

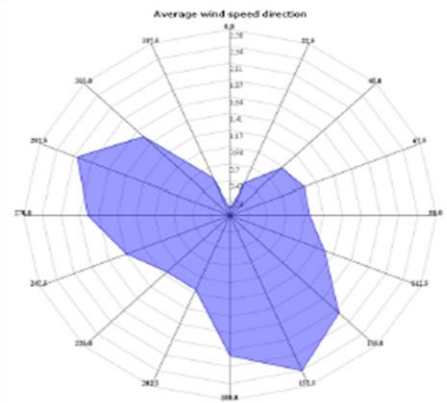


Wind Direction	Hours
0.0	6,1
22.5	17,17
45.0	23,5
67.5	36,27
90.0	37,98
112.5	76,42
135.0	66,42
157.5	25,37
180.0	67,08
202.5	91,75
225.0	63,92
247.5	32,17
270.0	27,75
292.5	17,88
315.0	11,07
337.5	25,58

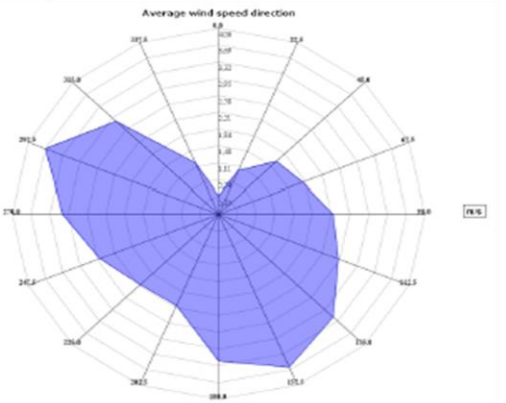
4m



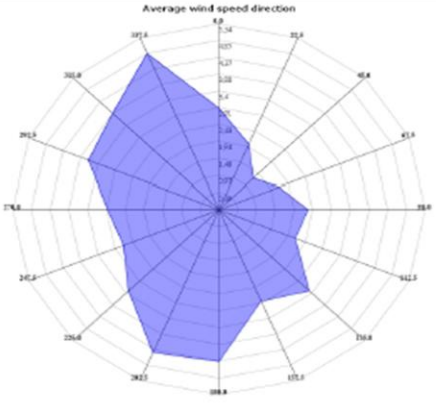
Wind Direction	Hours
0.0	6,1
22.5	17,17
45.0	23,5
67.5	36,27
90.0	37,98
112.5	76,42
135.0	66,42
157.5	25,37
180.0	67,08
202.5	91,75
225.0	63,92
247.5	32,17
270.0	27,75
292.5	17,88
315.0	11,07
337.5	25,58



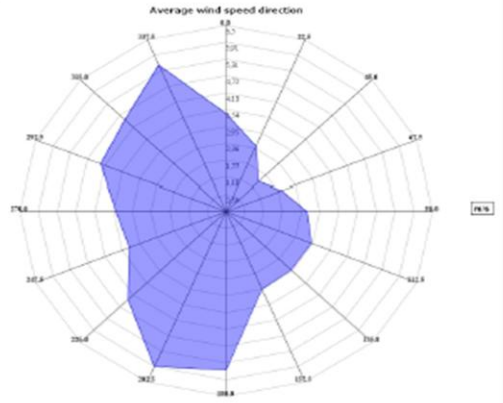
Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,1
22.5	0,47
45.0	0,92
67.5	1,01
90.0	1
112.5	1,27
135.0	1,92
157.5	2,34
180.0	1,96
202.5	1,12
225.0	1,11
247.5	1,4
270.0	1,78
292.5	2,07
315.0	1,53
337.5	0,64



Wind Direction	Wind m/s
0.0	0,4
22.5	1,02
45.0	1,62
67.5	1,79
90.0	2,25
112.5	2,55
135.0	3,18
157.5	3,63
180.0	3,22
202.5	2,17
225.0	2,18
247.5	2,53
270.0	3,07
292.5	3,69
315.0	2,85
337.5	1,39



Wind Direction	Wind m/s
0.0	3,9
22.5	3,02
45.0	1,25
67.5	1,69
90.0	2,31
112.5	2,15
135.0	3,3
157.5	2,86
180.0	4,38
202.5	4,46
225.0	3,31
247.5	2,67
270.0	2,88
292.5	3,68
315.0	3,9
337.5	4,85



Wind Direction	Wind m/s
0.0	3,41
22.5	2,46
45.0	1,45
67.5	1,91
90.0	2,54
112.5	2,91
135.0	2,89
157.5	2,96
180.0	5,57
202.5	5,91
225.0	4,36
247.5	3,29
270.0	3,46
292.5	4,27
315.0	4,51
337.5	5,53

Figura 52–Rosas de dirección y velocidad registradas por la columna de anemómetros en la barrera de Rodas en nov-2011.

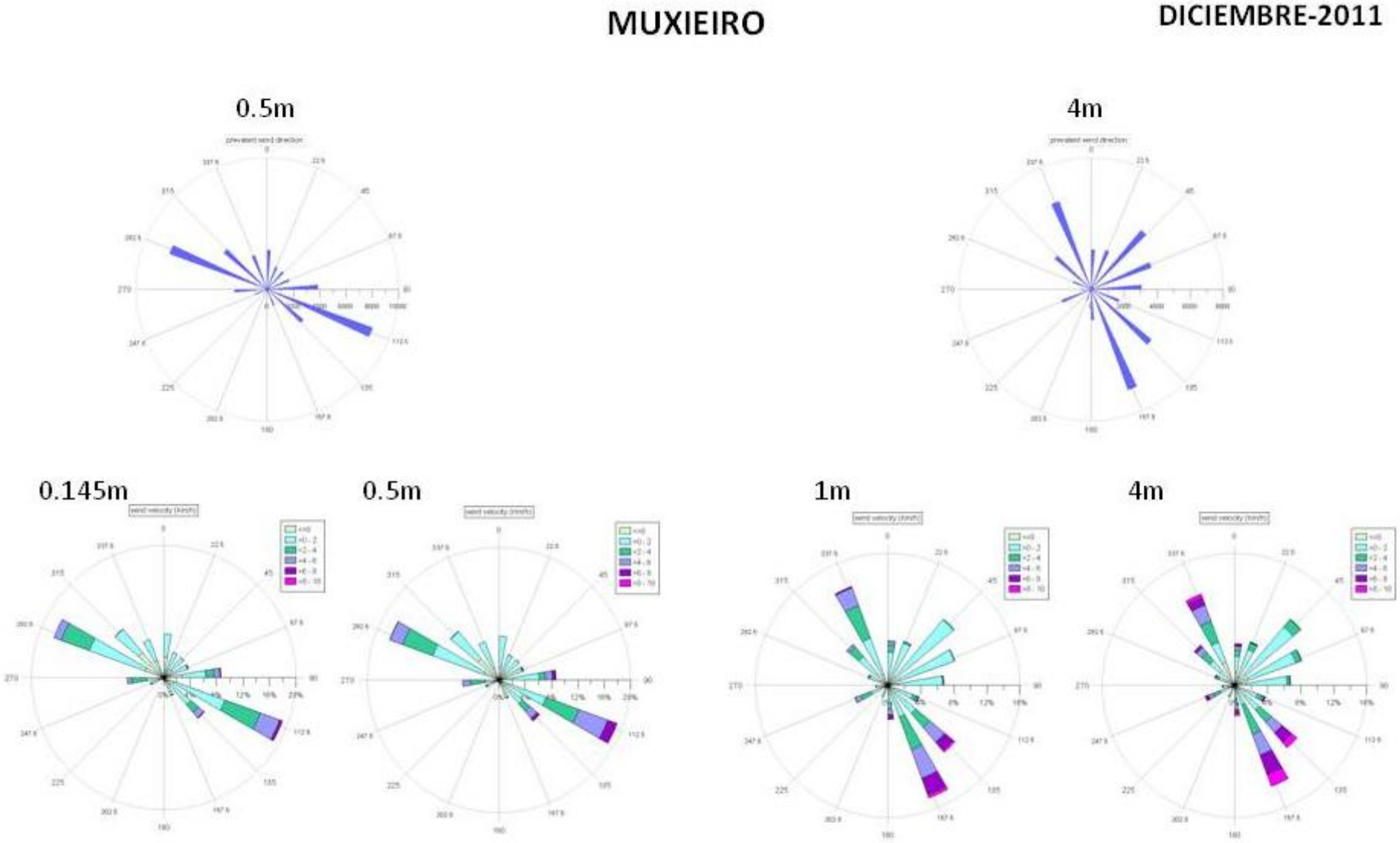


Figura 53–Rosas de dirección y velocidad registradas por la columna de anemómetros en las dunas de Muxieiro en diciembre.

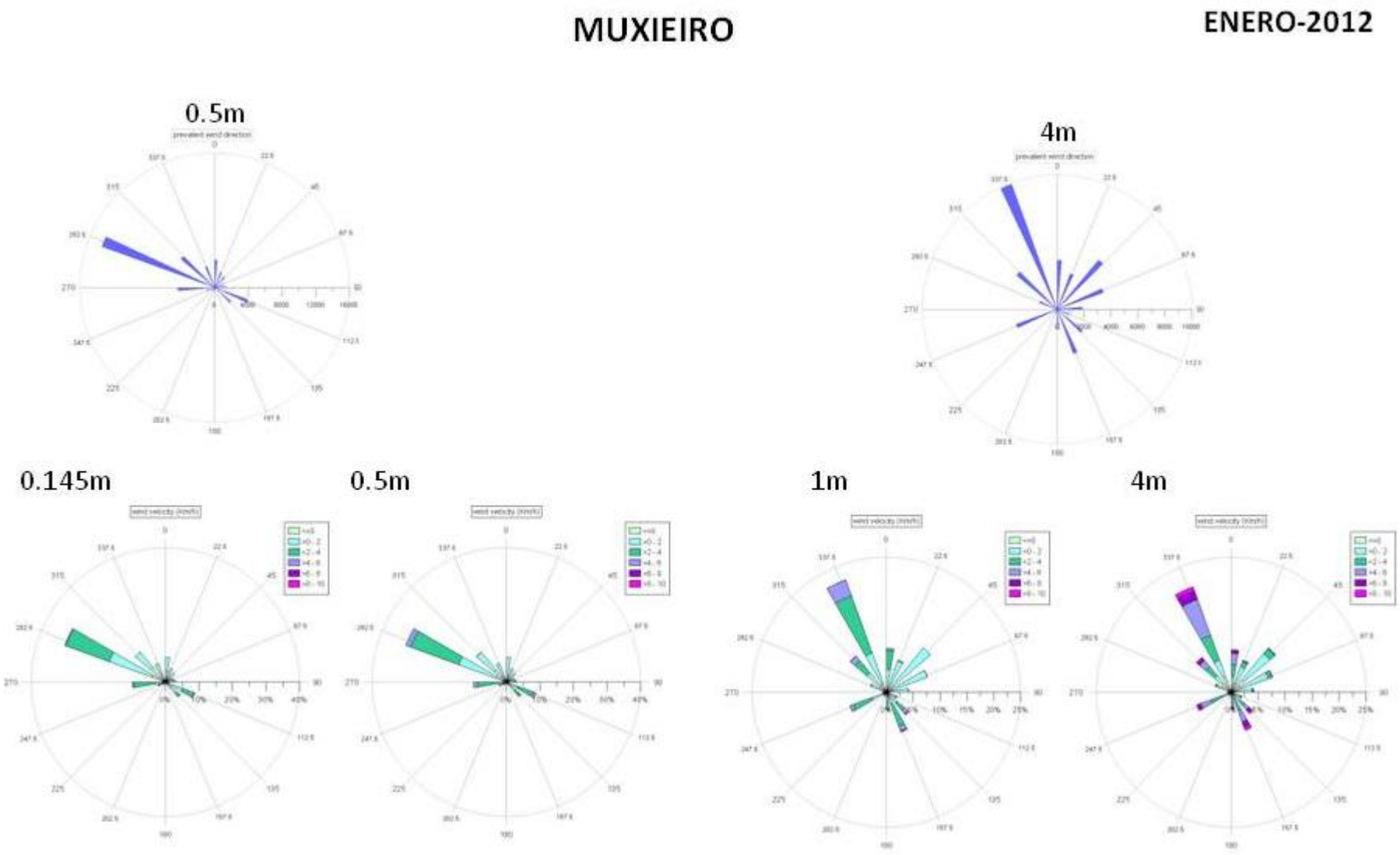


Figura 54–Rosas de dirección y velocidad registradas por la columna de anemómetros en las dunas de Muxieiro en enero de 2012.

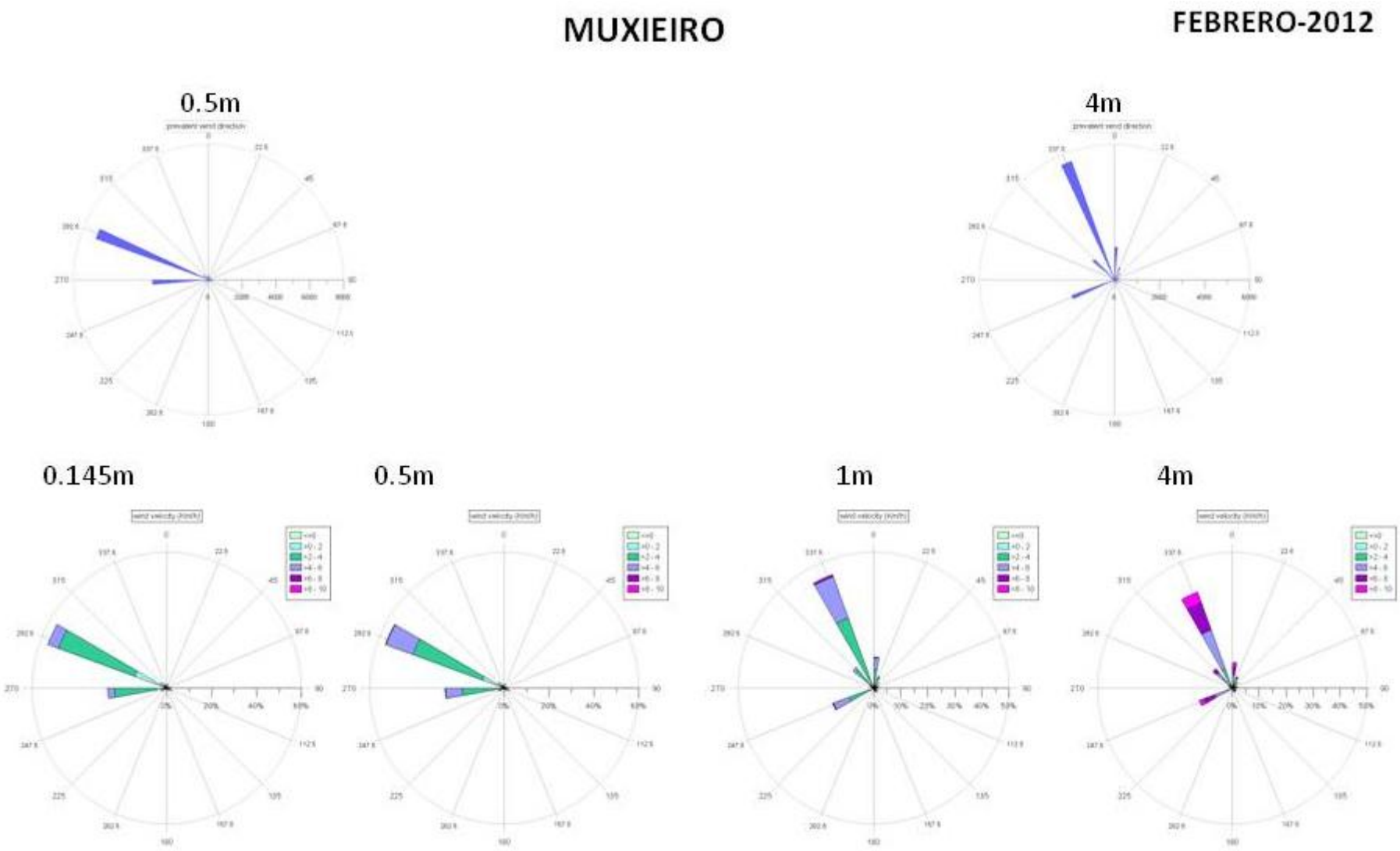


Figura 55–Rosas de dirección y velocidad registradas por la columna de anemómetros en las dunas de Muxieiro en febrero de 2012.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía de la zona de trabajo relacionada con la temática estudiada.

Alejo, I., Costas, S. y Vila-Concejo, A., 2005. Littoral evolution as a response to human action: the case of two sedimentary systems in a Galician Ría. *Journal of Coastal Research, SI 49,* 64-69.

Alejo, I., Pérez-Arlucea, M., Costas, S., Frances, G., Nombela, M.A., González Villanueva, R. y otros autores, 2007. Parque Nacional marítimo-terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia. Cansecoe Ed., ISBN10: 84-933475-6-6. Ministerio de Medio Ambiente.

Alejo, I., González-Villanueva, R., Costas, S., Pérez, C., Pérez-Arlucea, M., Francés, G y Nombela, M.A. 2009. Integrated coastal zone management tool: Galician Atlantic Islands National Park as a case study. ColacMarCuba2009.

Alejo, I., Pérez-Estevez, C., Costas, S., González-Villanueva y Pérez-Arlucea, M., 2011. Dynamical behaviour of a barrier-lagoon system: a case study from Cíes Island (NW Spain). ICS 2011, 11th International Coastal Symposium.

Alejo, I., Costas, S., González Villanueva, R, Pérez-Estevez, C, Pérez-Arlucea, M., Monbela, M.A. y Frances, G., en prensa. Los ambientes sedimentarios del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia. Guía Geológica del Parque Nacional. Instituto Geológico Minero.

Costas, S. 2002. Evolución do complexo praia-barrera-lagoon de Rodas. Illas Cíes, NO España. Vigo, España: Universidad de Vigo, Tesis de Licenciatura, 143 pp.

Costas, S., Alejo, I., Vila-Concejo, A. y Nombela, M.A. 2005. Persistence of storm-induced morphology on a modal low-energy beach: A case study from NW-Iberian Peninsula. *Marine Geology, 224*, 43-56.

Costas, S. y Alejo, I. 2005. Estructura interna y evolución de una barrera de arena mediante Georadar. Tendencias actuales en Geomorfología Litoral, 31-35.

Costas, S., Alejo, I., Lorenzo, H, Rial, F. y Nombela, M.A. 2006. Cyclical evolution of a modern transgressive sand barrier in NW-Spain elucidated by GPR and aerial photos. *Journal of Sedimentary Research, 76,* 1077-1092.

Costas, S., Alejo, I., y Nombela, M.A. 2006. The role of sediment source in beach management. A case study from Cíes Islands (NW Spain). *Journal of Coastal Research, SI 39,* 1389-1394.

Costas, S., Alejo, I. y Nombela, M.A. 2007a. Sand behavior under man-induced inlet relocation. *Journal of Coastal Research, SI 39,* 428-432.

Costas, S., Alejo, I. y Nombela, M.A. 2007b. The role of sediment source in beach management. A case study from Cíes Island (NW Spain). *Journal of Coastal Research, SI 39,* 1089-1094.

Costas, S. y Alejo, I. 2007c. Local and Global influences on the evolution of a transgressive sand barrier: Cies barrier, Northwest Spain. *Journal of Coastal Research, SI 50*, 1021-1025.

Costas, S. 2008. Origen y evolución del conjunto playa-duna-lagoon de Cíes (Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia). Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente. Isbn: 978-84-8014-724-8. 191 pp.

Costas, S., Muñoz-Sobrino, C., Alejo, I. y Pérez-Arlucea, M. 2009. The interplay of inherited topography and sea-level rise on the evolution of coastal wetlands. Cies Islands, NW-Iberian Peninsula. *Earth Surface processes and Landform, 34,* 1575-1586.

Kerting, P.S., Nieto, B. y Simón, A. 2001. Estudio de avaliación Ecolóxica da Lagoa dos Nenos. Galiza: Aeolidia. C.B., 87 pp.

Mouriño, J., Otero, X.L., Sierra-Abraín, F. y Alonso P. 2002. Guide to the Cies Islands. Concello de Vigo. Departamento de Medio Ambiente, 111pp.

Pérez-Arlucea, M., Almécija, C., González-Villanueva, R. y Alejo, I. 2011. Water dynamics in a barrier-lagoon system: controlling factors. *Journal of Coastal Research*, *SI64*, 15-19.

Pérez-Estevez, C. y Alejo, I. 2011. Tools for integrated coastal management. An example in the Atlantic Islands of Galician National Park (NW Spain). ICS 2011, 11th International Coastal Symposium.