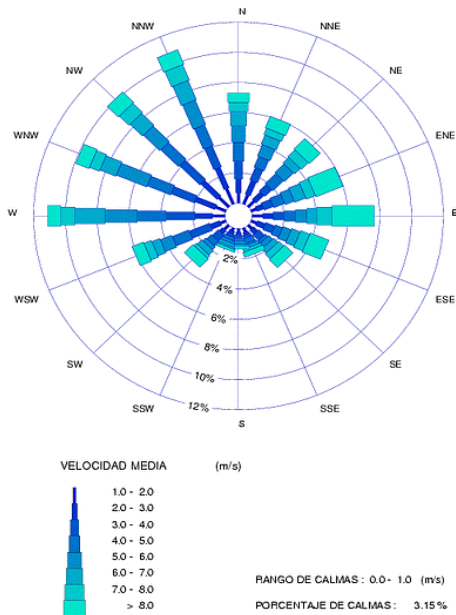


## EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES. Resultados de la monitorización

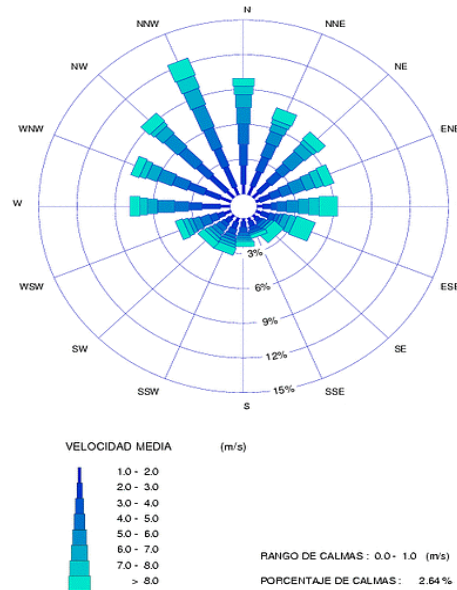
### Climatología

Las estaciones de transición (primavera y otoño) poseen distinta duración; la primavera se extiende de Marzo a Mayo y se caracteriza por alternar períodos tormentosos tipo invernal y veraniego y el otoño, por su parte, dura sólo el mes de Octubre siendo la transición al invierno muy brusca ( Brody y Nestor, 1980). Las precipitaciones anuales sobrepasan los 700 litros y la temperatura media es de 17 °C. Pero lo que realmente resalta en el territorio es el viento predominante del Este con rachas de hasta 125 km/h.

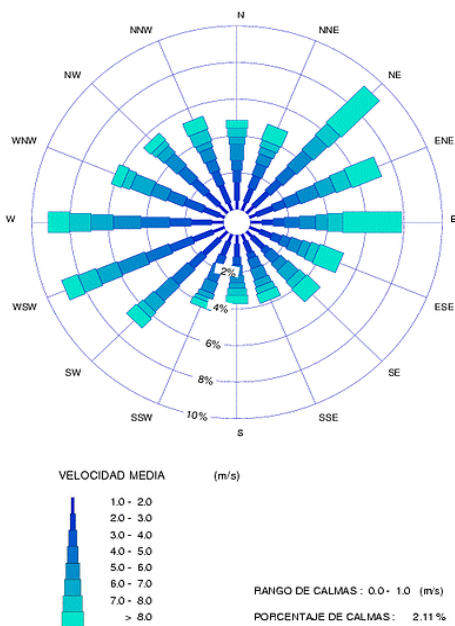
Los vientos son un parámetro importante en acuicultura en mar abierto en cuanto a que actúan directamente sobre las estructuras de cultivo en superficie y son generadores de corrientes y oleajes aunque en nuestro caso, la mayoría de la estructuras están sumergidas continuamente o tienden a estar sumergidas en situaciones de temporal, quedando en superficie únicamente la estructura Corelsa.



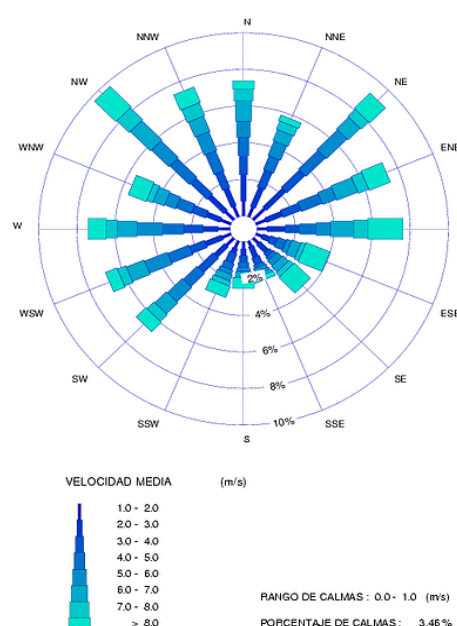
Rosa de viento correspondiente al año 2003



Rosa de viento correspondiente al año 2004



Rosa de viento correspondiente al año 2005

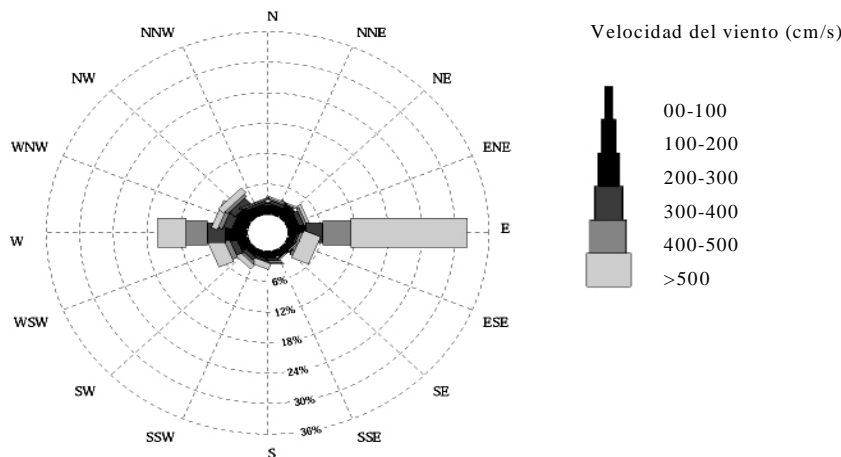


Rosa de viento correspondiente al año 2006

Las rosas de viento medio registradas durante el transcurso del proyecto

En todo el intervalo temporal analizado para el estudio de adecuación ambiental (junio-diciembre 2004) se observa una sucesión de ponientes y levantes. Los vientos de levante proceden del NE y del SE, tomando la dirección Este predominantemente al mismo tiempo que incrementan su intensidad al llegar a la parte más angosta del Estrecho (Tarifa), mientras que los Ponientes tienen mayor dispersión en su dirección.

Rosa de vientos para el periodo considerado en la estación de Vejer de la Frontera.



La diferencia más significativa está en su intensidad, pues mientras que cuando hay Levante, en el 58% de las veces, el viento sopla fuerte (los levantes persistentes llegan a alcanzar los 10 m/s de manera sostenida) o muy fuerte, es decir, a velocidades superiores a 40 km/h, cuando es de Poniente esta porción se reduce al 14%. La disposición de las cordilleras que flanquean el Estrecho dan a éste forma de embudo, con su boca en el mar de Alborán, lo que constituye una primera explicación, junto a las condiciones verticales de estabilidad, a que los Levantes sean más intensos que los Ponientes.

El análisis estadístico de la rosa de vientos nos muestra un predominio claro de la dirección E-W del viento, siendo más frecuentes (32%) los registros de viento procedentes del Este o levantes y la frecuencia de los ponientes o vientos procedentes del Oeste de un 16%. La dirección residual media es de 98.73 grados respecto al Norte lo cual indica un predominio del viento procedente del Este. Esto era lo esperado si tenemos en cuenta el periodo de las series analizadas que se extiende desde Agosto hasta Diciembre y el carácter periódico de los vientos en esta zona: levantes predominantes desde Abril a Octubre, soplando una media de 165 días al año, y ponientes desde Noviembre a Marzo. La velocidad máxima del viento alcanzada en esta zona es de más de 14 m/s ( 50,4 km/h), alrededor de 27 nudos de viento.

El levante suele soplar de forma persistente durante varios días con periodos de calma durante 7-10 días. Es húmedo y relativamente fresco y en las noches veraniegas forma nubosidad de estancamiento. Provoca fuertes marejadas y vientos racheados que pueden alcanzar los 60 nudos. Los vientos de poniente no son tan persistentes como los levantes, soplando entre 12 y 36 horas. Ellos se alternan con las brisas, que aparecen cuando el gradiente isobárico es más débil y aunque con menos frecuencia con los vientos de componente Sur, que ocasionan fuertes temporales.

Existe una variabilidad diurna presente sobre todo en los meses de verano, que podría estar relacionada con la brisa y una variabilidad subinercial, con escala temporal entre 3 y 7 días, y probablemente asociada a la sucesión de episodios de levantes y ponientes.

Los levantes en el Estrecho de Gibraltar se dividen generalmente en localizados y generalizados. En los primeros el viento fuerte suele restringirse a la zona de Tarifa y alrededores, no afectando a veces siquiera a Gibraltar o Jerez. Los levantes fuertes generalizados se prolongan por la costa hasta afectar a la Bahía de Cádiz. Las particularidades del viento en el estrecho se explican, en gran medida, por la existencia de un dipolo de presión de origen orográfico.

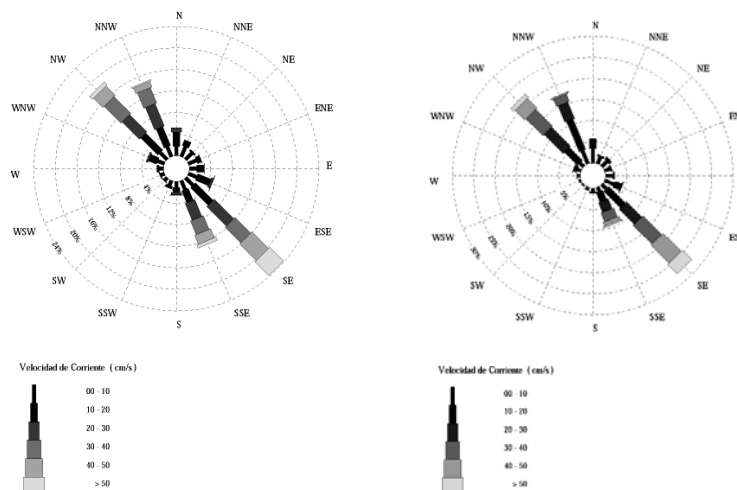
A lo largo de la costa, los vientos disminuyen en fuerza y modifican progresivamente la dirección con la proximidad a la costa, donde están afectados por la topografía local y el efecto de las brisas costeras.

## Océano: Clima marítimo.

Existe un claro predominio de las **corrientes** en la dirección NW-SE, con intensificación de las mismas hacia el SE en las dos series válidas (Agost.-Oct. y Oct.-Dic.). Las series presentan una velocidad máxima de 75.96 cm/s y un valor medio algo superior a los 22 cm/s. Esto se refleja de manera manifiesta en los diagramas de rosas de corrientes y en los diagramas de vectores.

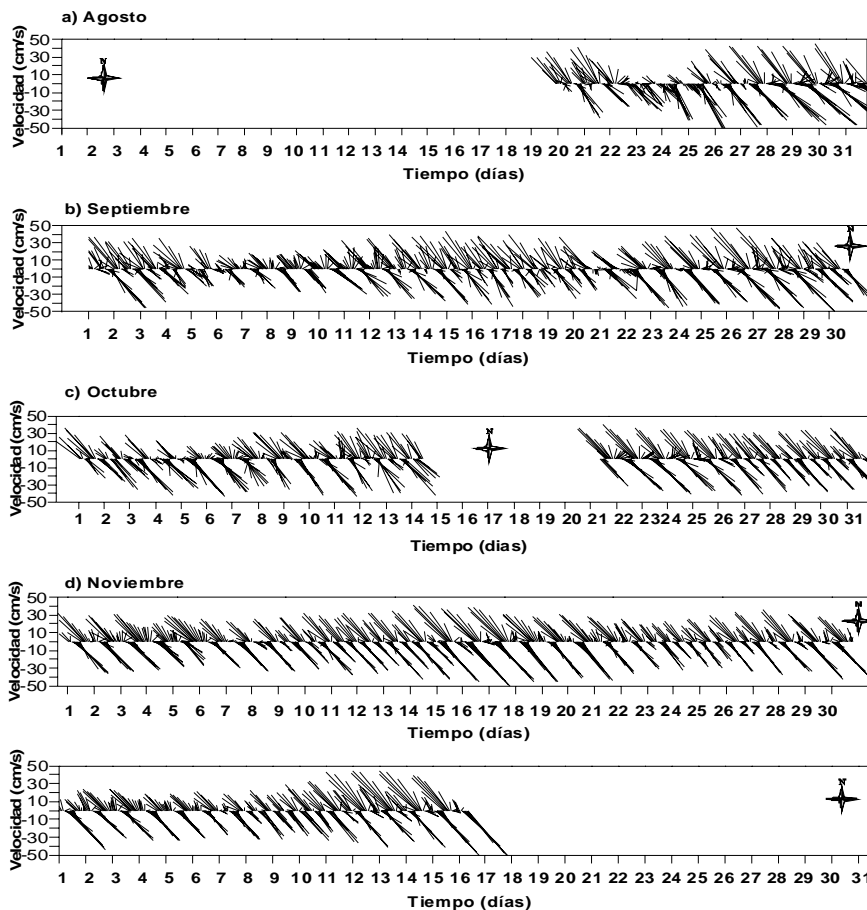
AGOSTO-OCTUBRE

OCTUBRE-DICIEMBRE



Rosas de corrientes de las series 2 y 3 correspondientes a los meses Agosto-October y Octubre-Diciembre de 2004.

También se puede observar una menor dispersión en las direcciones de corriente hacia el SE que hacia el NW. Resulta igualmente evidente una rotación en sentido horario de la velocidad de la corriente en el tiempo con una periodicidad semidiurna que presenta una modulación quincenal, lo cual atestigua la predominancia de las mareas como agente predominante en la formación del campo de velocidades.



Cabo Roche. Evolución de los vectores de corriente (cm/s) para los meses de agosto (a), septiembre (b), octubre (c), noviembre (d) y diciembre (e). Datos observados

La realización de **análisis armónicos** a las series de datos nos permite cuantificar la contribución de la marea a la formación del campo de velocidades. Las series sintéticas o de predicción efectuadas en base a los resultados de los análisis armónicos explican más del 90% de la varianza de las series originales, quedando reducida la residual a valores generalmente acotados por los 10 cm/s en módulo de velocidad y un valor medio de 5 y 3 cm/s para las series 2 y 3 respectivamente.

La corriente de marea, aún siendo predominantemente semidiurna (50% de la intensidad total de la corriente) presenta una acusada desigualdad diurna (40%), lo que es característico en el Estrecho de Gibraltar. En cualquier caso, podemos concluir que a través del pronóstico de las corrientes de marea se puede predecir con gran aproximación la velocidad de la corriente en el punto de fondeo.

Existe una clara intensificación de los valores de amplitud de velocidad de la corriente de los armónicos K1 y S2 en los meses estivales (agosto-octubre) respecto a la serie de otoño. Este fenómeno es debido a la circulación de brisas de tierra y mar, como queda patente en los análisis espectrales efectuados a los datos de viento y de velocidad residual. Dicho fenómeno tiene un período de 24 horas ya que se origina por un calentamiento de la tierra durante el día, que calienta también las masas de aire adyacentes a la superficie disminuyendo su densidad y finalmente, éstas ascienden. Una masa de aire frío proveniente del océano se desplaza hacia la costa dando lugar al efecto de la brisa, invirtiéndose esta circulación durante la noche por el enfriamiento de la tierra. En los meses de otoño-invierno, el efecto de la brisa se ve aminorado por un menor calentamiento de la corteza terrestre lo que se refleja en los espectros de densidad de energía, disminuyendo a su vez, el valor de densidad espectral de la velocidad de corriente en la frecuencia de la banda diurna del armónico K1.

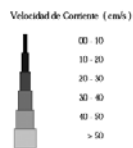
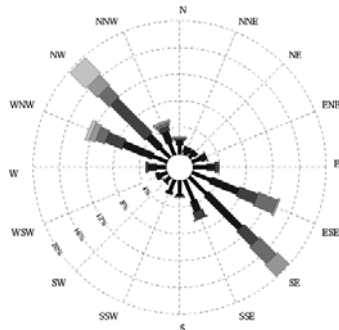
Los valores máximos de la corriente residual coinciden con episodios de levante intenso y sostenido tal y como se muestra en la figura 27.

En cuanto a la evaluación de los resultados del modelo numérico hidrodinámico de corrientes de marea para su posible aplicación a estudios posteriores de mayor envergadura en ésta y otras zonas costeras, ésta ha sido muy positiva. Los resultados del modelo han mostrado un grado elevado de adecuación, como atestiguan los resultados presentados en la siguiente tabla:

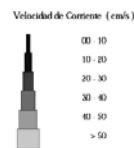
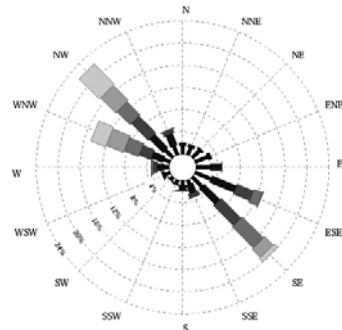
<i>OBSERVADAS</i>							
<i>AGOSTO-OCTUBRE</i>				<i>OCTUBRE-DICIEMBRE</i>			
M (cm/s)	m (cm/s)	$\phi$ (°)	$\theta$ (°)	M (cm/s)	m (cm/s)	$\phi$ (°)	$\theta$ (°)
26,854	2,598	142,805	-53,302	26,192	1,838	149,404	-52,153
<i>MODELO UCA 2.5D</i>							
M (cm/s)	m (cm/s)	$\phi$ (°)	$\theta$ (°)				
26,1	2,1	118	-55				

Parámetros de la elipse de marea para la onda M2 de los datos observados y los obtenidos en la salida del modelo UCA2.5D (Izquierdo et al, 2001)

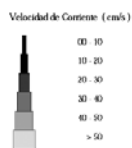
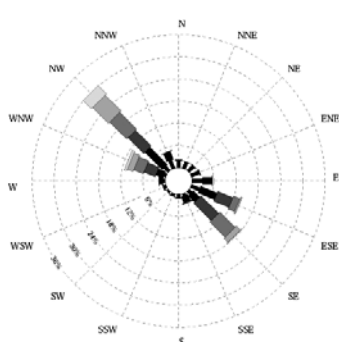
Se muestran a continuación las rosas de corriente mensuales observadas en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2005. Se representan la distribución conjunta de intensidad y dirección de la corriente.



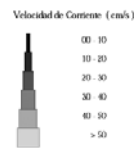
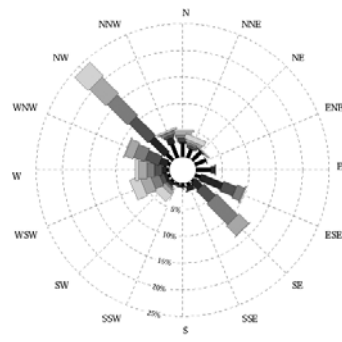
Rosa de corriente mes de **agosto**.  
Veloc. Media: 19,91 cm/s. Veloc. Máx: 66,29 cm/s. Direc Res. Media: 317,38 grados.



Rosa de corriente mes de **septiembre**.  
Veloc. Media: 23,69 cm/s. Veloc. Máx: 73,33 cm/s. Direc Res. Media: 306,87 grados.



Rosa de corriente mes de **octubre**.  
Veloc. Media: 22,81 cm/s. Veloc. Máx: 68,05 cm/s. Direc Res. Media: 316,13 grados.



Rosa de corriente mes de **noviembre**.  
Veloc. Media: 27,68 cm/s. Veloc. Máx: 196,80 cm/s. Direc Res. Media: 292,18 grados.

Los únicos datos de **oleaje** disponibles en la zona son los correspondientes a la Boya de Golfo de Cádiz, perteneciente a la red de boyas de medida de oleaje que Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) mantiene fondeado en diversos puntos de las aguas nacionales españolas. Estas boyas registran el oleaje en zonas de aguas libres, mientras que la zona de interés para este estudio se encuentra fuertemente condicionada por la configuración de la costa (dada su cercanía a la misma) y el asomeramiento provocado por la batimetría de esta zona, profusa en bajos rocosos de escasa profundidad.

La incidencia de oleaje en las instalaciones flotantes supone uno de los factores de riesgo más acusado en la acuicultura en mar abierto. Para abordar las posibilidades de éxito de esta actividad se debe

conocer el régimen energético al que estas estructuras estarán sometidas, y valorar si son acordes con las especificaciones que cada fabricante garantice en cada caso.

Los registros y análisis del **Clima Extremal del Oleaje** en cada zona arrojan una valiosa información sobre los periodos de retorno de temporales con alturas de ola predeterminadas. Estos datos han de tomarse con la debida cautela, ya que no son más que resultados estadísticos basados en registros de oleaje de una duración limitada, y lógicamente, no garantizan la ausencia de oleajes mayores con periodos de retorno menores.

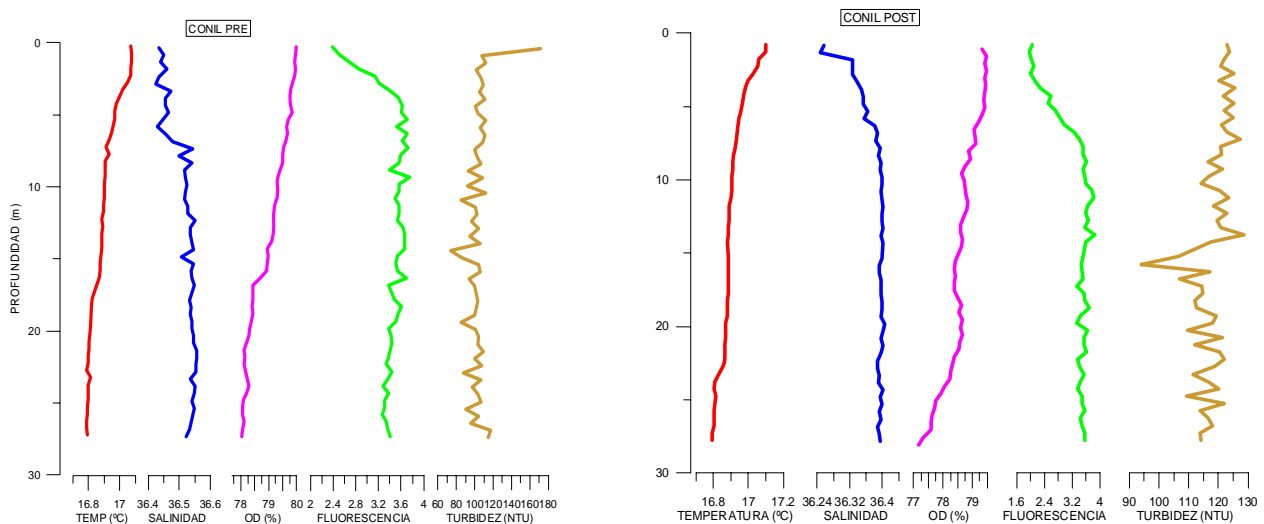
El oleaje ha de ser tenido en cuenta por los condicionantes que impone a las tareas de mantenimiento, para lo que hay que hacer una estimación del número de días que dichas tareas se van ver imposibilitadas o limitadas por causa del oleaje. Para ello se tomarán como referencia los datos de **Clima Medio de Oleaje**.

Año	2002				2003				2004				2005			
Mes	Hs	Tp	Dia	Hora	Hs	Tp	Dia	Hora	Hs	Tp	Dia	Hora	Hs	Tp	Dia	Hora
Ene	4.0	8.2	21	2	2.2	12.5	22	6	2.3	5.9	27	6	3.6	7.6	25	8
Feb	4.2	12.2	20	6	4.1	10.0	21	5	3.3	7.2	28	18	3.8	7.6	19	3
Mar	5.5	8.8	17	9	2.5	10.7	14	3	4.5	14.3	26	7	3.5	8.4	4	19
Abr	6.6	15.0	13	23	3.1	8.7	1	8	14.9	24.8	10	13	3.2	11.1	5	21
May	2.7	5.9	6	4	2.7	7.1	20	9	3.5	7.7	12	10	2.6	7.2	26	1
Jun	2.9	6.5	13	9	2.2	6.0	19	20	2.8	7.1	9	5	14.9	24.8	1	16
Jul	1.8	5.9	15	21	2.2	6.8	6	20	2.3	6.0	11	1	2.2	6.6	12	13
Ago	2.8	6.4	4	2	1.9	7.1	22	15	2.4	6.9	5	13	2.1	7.6	21	18
Sep	2.3	6.6	19	4	1.6	5.9	23	8	2.6	7.1	15	6	2.5	7.6	4	23
Oct	0.2	10.0	28	1	4.0	8.3	27	18	5.6	9.8	11	10	0.7	11.7	30	19
Nov	3.9	9.2	15	21	2.8	6.7	30	22	4.2	8.0	20	11	4.7	10.6	25	1
Dic	0.0	24.8	31	5	3.2	8.3	1	11	3.5	7.6	22	14	3.0	7.2	5	19

Alturas máximas significantes correspondientes a los años 2002 a 2005 obtenidos por la boya de medición de oleaje Golfo de Cádiz de Puertos del Estado.

## Calidad (parámetros físico-químicos)

De los perfiles realizados con el CTD, una vez procesados los datos, se obtienen las siguientes gráficas:



Perfiles de diversos parámetros de calidad de agua antes (izquierda) y después (derecha) de su paso por la jaula *Ocean Spar*.

A la vista de estas gráficas no se observan patrones de consumo de oxígeno. En cuanto a la turbidez, se observan un ligero aumento, algo más patentes en los primeros 15 metros, con una discontinuidad a esa profundidad, si bien los valores de este aumento no son significativos, considerando la dispersión de los valores registrados para la turbidez en ambos perfiles.

## Sustrato, caracterización del sedimento

### • Análisis textural

Con respecto a los valores de los parámetros granulométricos de los muestreos realizados los muestreos realizados reflejan solamente valores puntuales, ya que la clasificación del sedimento no sigue una distribución continua, sino que por el contrario, y como suele ser más frecuente, existen contactos entre zonas ó "parches" de granulometrías muy diferentes, por lo que interpolar estos valores generalmente conduce a conclusiones erróneas, por lo que no se realizó una representación cartográfica del sedimento.

La naturaleza del sustrato es típica de ambientes sujetos a un régimen hidrodinámico muy energético, evidenciado por la ausencia de finos, y la alternancia de "parches" o "lenguas" de diferente composición textural, cuya distribución espacial es muy dinámica, y es este fenómeno lo que se evidencia en la variabilidad tanto en el tamaño de medio grano como en la desviación de este valor.

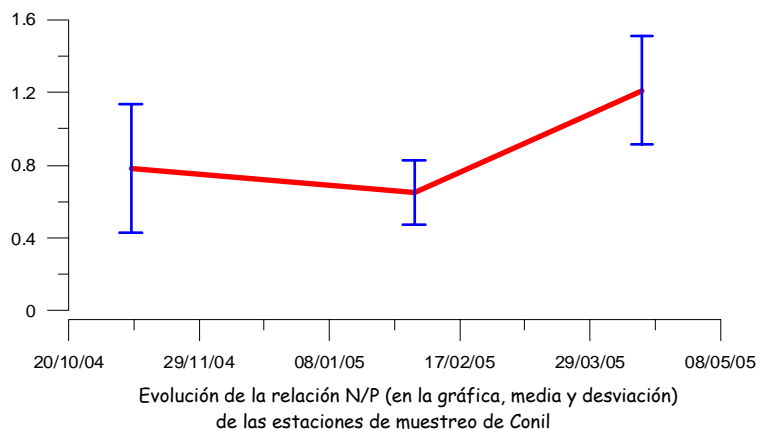
### • Contenido en Materia Orgánica y Potencial RedOx:

Como en el caso anterior, se presentan las tablas de datos de los valores puntuales.

Según los muestreos realizados el incremento en el contenido en materia orgánica no es significativo. Sólo se aprecia un aumento notable en una estación donde tras una inspección visual se constato una hondonada en este punto, que ha podido actuar como trampa de los materiales particulados tanto procedentes de la jaula como del resto de materiales arrastrados por la superficie del sustrato. En cuanto a los valores de potencial Redox, todas las estaciones arrojan cifras muy similares a las recogidas en el punto de control.

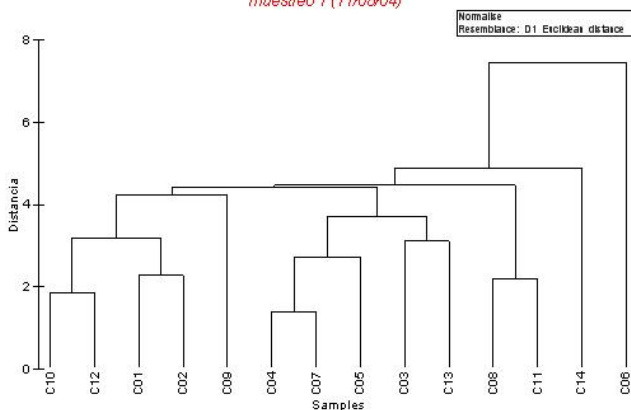
### • Evolución de la relación N/P

La evolución de este índice, con una ligera disminución inicial en la media de los valores obtenidos en las estaciones, y unido a la disminución de la desviación típica, no parece estar afectado por la presencia de los cultivos. Si no fuera así, se manifestaría un aumento en la desviación típica a lo largo del tiempo, originado por el efecto diferencial de la posible afección, debido a las diferentes distancias entre las jaulas y las estaciones.



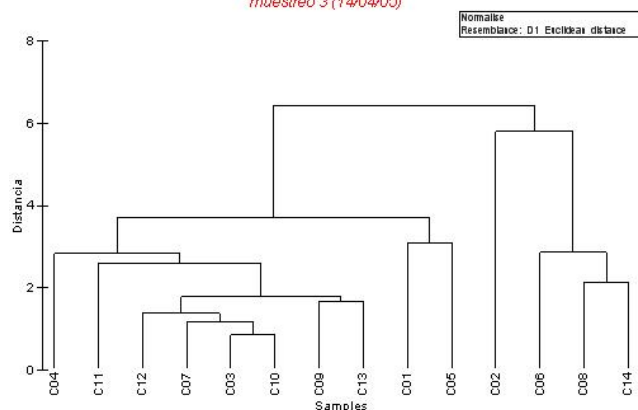
### • Análisis CLUSTER de condiciones ambientales

**CONIL variables ambientales**  
muestreo 1 (11/08/04)



Dendrograma basado en variables ambientales (primer muestreo)

**CONIL variables ambientales**  
muestreo 3 (14/04/05)



Dendrograma basado en variables ambientales (tercer muestreo)

Los dendrogramas reflejan una variabilidad que no se corresponde con los patrones de distribución de las estaciones de muestreo, con lo que puede concluirse que las instalaciones no ejercen una influencia apreciable sobre las variables ambientales. Si se considera la evolución temporal de las agrupaciones, se aprecia una notable variación de las asociaciones, lo que refleja la preponderancia de una fuente de variabilidad distinta a la inducida por la actividad de los cultivos.

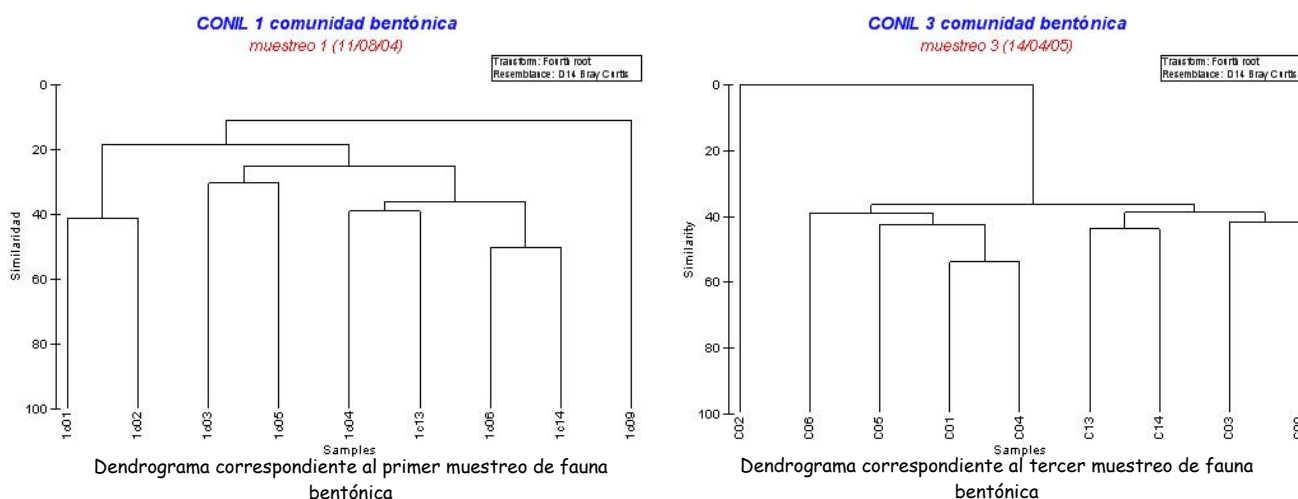
## Biocenosis

### Comunidades bentónicas

La comunidad bentónica en el polígono de la concesión puede definirse como una biocenosis de los fondos detríticos costeros (Augier, 1982), aunque se encuentran intercalados "parches" de arenas finas calibradas y precoralígeno, ésta última biocenosis sustentado sobre pequeños acúmulos y afloramientos rocosos. El muestreo se realizó con buceadores para evitar estos "parches", sobre los que se hizo un seguimiento visual y fotográfico.

Abundancia y Diversidad:

### Análisis CLUSTER de las muestras de biota



Como resultado del primer muestreo realizado sobre la fauna bentónica se observa una ligera segregación de los puntos situados justo bajo las jaulas. En el caso de la jaula Refa es más patente, la estación de muestreo 1c09 se localiza justo entre los 6 muertos de fondeo de esta jaula. En el caso de la jaula Ocean Spar son las estaciones 1c01 y las 1c02 las que se encuentran bajo ella. Para el resto de las muestras las diferencias respecto a la muestra de control (1c14) no son significativas.

En el tercer muestreo (segundo en el que se realizó estudio de las comunidades) se observa una homogeneidad entre las estaciones y el punto de control. La excepción la constituye la muestra tomada en 002, punto en el que en inspección visual se observó una pérdida de sedimentos medios y finos, justificada por el efecto de aceleración que ejerce la parte inferior de la jaula sobre la corriente. En este punto no apareció ningún ejemplar de infauna, por lo que parece haberse producido este fenómeno de "lavado" de materiales en un periodo muy corto y no muy anterior al muestreo. En posteriores inspecciones visuales se observó una recuperación de estos materiales y su fauna asociada propiciada por el continuo aporte de sedimentos

### Ictiofauna, avifauna y especies protegidas

En el entorno de las jaulas se han observado con asiduidad las siguientes especies pelágicas: sardina (*Sardina pilchardus*), caballa (*Scomber scombrus*), estornino (*Scomber japonicus*), boga (*Boops boops*) y seriola (*Seriola dumerili*). Entre las especies demersales más frecuentes en la zona, destacan: urta (*Pagrus auriga*), bocinero (*Pagrus pagrus*), corvina (*Argyrosomus regius*), corval (*Umbrina sp*), borriquete (*Plectorhinchus mediterraneus*), abadejo (*Epinephelus alexandrinus*), mero (*Epinephelus marginatus*) y diversas especies de sargos (*Diplodus sp.*).

Las aves más comúnmente observadas en la zona son diversas especies de gaviotas (*Larus cachinnans*, *Larus ridibundus*, *Larus fuscus*) y cormoranes (*Phalacrocorax carbo*), y ocasionalmente se

observan ejemplares de fumarel común (*Chlidonias niger*), serreta mediana (*Mergus serrator*) y alca (*Alca torda*).

De entre las especies protegidas avistadas en las cercanías de la concesión, destacar el hallazgo de dos ejemplares de tortuga boba (*Caretta caretta*) muertos por ingestión de anzuelos de palangre.

En zonas cercanas a la concesión, entre ésta y la almadraba, se avista con frecuencia una familia de orcas (*Orcinus orca*), aunque en ninguna ocasión se han visto merodeando por las jaulas. La actividad de estos grandes cetáceos está ligada a la migración del atún rojo (*Thunnus thynnus*), por lo que es frecuente su presencia entre abril y julio.

## Fouling

Gracias a la periodicidad de la limpieza y mantenimiento de redes y estructuras de las jaulas, unido a la acción del antifouling, las incrustaciones se limitan al crecimiento de pequeñas algas y ascidias, siendo los cirrípedos los únicos organismos con estructuras carbonatadas, aunque su desarrollo es poco notable, con lo que el aporte al fondo de las mismas no es significativo.

## Relación entre parámetros biológicos y ambientales: interpretación de los test BIOENV

Los resultados de los test BIOENV se interpretan en base a dos coeficientes:

- *Coefficiente de correlación de Spearman (rho)*: mide la correlación entre dos variables numéricas. Los valores que pueden tomar en coeficiente de correlación de Spearman son de -1 a +1 y mientras más cerca esté de cero indicará que el grado de asociación entre las dos variables es menor.
- *Coefficiente de significancia estadística (sl)*: se consideran significantes los coeficientes menores de 0.5 (5%), si bien de 0.5 a 0.7 tienden ya a ser significativos.

En los tres casos en los que se ha aplicado este test, se obtienen los siguientes mejores resultados para combinaciones de hasta 5 variables:

MUESTREO	(rho)	(sl)	VARIABLES
CONIL 1	0.477	26%	Ptotal, NKejeldahl, MO, D16 y %fango
CONIL 3	0.672	6%	MO y desv

Resumen de los mejores resultados de los test BIOENV

A la vista de las variables que mejor explican la correlación (valores de *rho* más elevados) resulta significativo, desde un punto de vista cualitativo, que en todos los casos estén implicados determinados parámetros relativos a la granulometría y el contenido en materia orgánica.

La interpretación de estos resultados podría ser; el aporte de materia orgánica al medio condiciona el tipo de comunidad que se instala en el enclave, favoreciendo el desarrollo de organismos filtradores y descomponedores. Si la macrofauna no es capaz de ir procesando este aporte se producirá una acumulación paulatina de materia orgánica que desencadenará un descenso de la concentración de oxígeno en el agua intersticial del sedimento y procesos de oxidación bacteriana anaeróbica, con la consiguiente variación del perfil redox de la capa superficial del sedimento.

La granulometría puede interpretarse desde dos puntos de vista:

- Considerando el tamaño de grano como un factor determinante de la circulación del agua intersticial, responsable de las variaciones en el perfil redox en el sedimento.
- Considerando la composición textural del sedimento como un descriptor del régimen hidrodinámico.

Sea cual fuere el punto de vista considerado, ambos determinan que serán los sustratos de granulometrías más finas (mayor % fangos) y peor clasificadas (mayor desviación típica) los que soportarán mayor acumulación de materia orgánica.

En cuanto a los valores arrojados por los coeficientes de significancia, el segundo muestreo de Conil es el único que posee una correlación fiable entre las variables ambientales y la estructura de las comunidades bentónicas basada en sólo dos variables. La causa de los valores de baja significancia de los test BIOENV en los primeros muestreos de ambos enclaves puede estar motivada por el retardo en la

# acuiculturaenmarabierto.com

adaptación de las comunidades biológicas frente los cambios de las condiciones ambientales. En Conil el primer muestreo se realizó cuatro meses después de la introducción de los primeros lotes en las jaulas, y el segundo tras un año de actividad.