

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Análisis angular con transductor
Split-beam para el cartografiado de
bivalvos solénidos”**

TESIS DE MASTER

Autor:
Núria Zaragoza Martínez

Director/es:
Víctor Espinosa Roselló
Noela Sánchez Carnero

GANDIA, 2010

Análisis angular con transductor Split-beam para el cartografiado de bivalvos solénidos

Autor: Núria Zaragoza Martínez

Director1: Víctor Espinosa Roselló

Director2: Noela Sánchez Carnero

Resumen — La pesca artesanal de mariscos como la navaja (*Ensis ensis*, *Ensis siliqua*) tiene una gran importancia económica y social en Galicia (NE España). Para el desarrollo de una explotación sostenible, se deben mejorar los métodos de teledetección para obtener rápidamente datos de alta calidad a partir de los fondos marinos. En este trabajo se prueba una ecosonda científica EK60 con transductor Split beam trabajando a la frecuencia de 200kHz para el cartografiado de bivalvos solénidos. El estudio acústico se llevó a cabo en una zona de explotación de navajas en la Ría de Pontevedra. Se inspeccionaron tres zonas de pesca acústica y biológicamente y se tomaron muestras de sedimento. Los datos registrados a partir de la Split-beam se analizan utilizando sólo los datos angulares (Athwartship y Alongship), buscando información angular remanente de dispersores individuales (bivalvos) presentes a una distancia corta de penetración en el sedimento. Se aplica un análisis estadístico (PCA y cluster) a la información angular. Los resultados nos muestran una exitosa correspondencia entre las firmas acústicas y la densidad de bivalvos.

Abstract — Artisanal shellfish fisheries such as the razor shell (*Ensis ensis*, *Ensis siliqua*) have a great economic and social importance in Galicia (NW Spain). In order to develop sustainable exploitation, improvements in remote sensing methods to obtain rapidly high quality data from seabed should be available. In this work a scientific echosounder EK60 with split-beam transducer working at 200kHz was tested to map razor shell habitats. The acoustic survey was carried out in razor shell exploitation in the Ría de Pontevedra. Three fishing grounds acoustically and biological were surveyed and sediment samples were taken. Split-beam data were analyzed using only angular data (Athwartship and Alongship), searching for remanent angular information of individual scatterers (bivalves) presence in the very short penetration distance in the sediment. And statistical analyses (PCA and cluster) were applied to angular information. The results provide a successful correspondence between acoustical signatures and bivalve density.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	3
II. MATERIALES Y MÉTODOS	5
II.1. Área de muestreo	5
II.2. Campaña acústica	6
II.3. Caracterización biológica y de sedimento	8
II.4. Exploración de los datos acústicos	9
II.5. Preprocesado de los datos	13
II.6. Procesado de los datos	26
III. RESULTADOS	31
III.1. Clasificación 1: Pasadas	32
III.2. Clasificación 2: Segmentos de pasadas	33
III.3. Clasificación 3: Segmentos de pasadas. PCA-4 componentes	34
III.4. Clasificación 4: Pasadas Costa-babor.	35
III.5. Clasificación 5: Segmentos de pasadas Costa-babor	36
III.6. Clasificación 6: Segmentos de pasadas Costa-babor PCA-4 componentes	37
III.7. Clasificación 7: Pasadas Costa-estribor.	38
III.8. Clasificación 8: Segmentos de pasadas Costa-estribor	39
III.9. Clasificación 8: Segmentos de pasadas Costa-estribor PCA-4 componentes	40
IV. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	42
AGRADECIMIENTOS	43
REFERENCIAS	44
ANEXOS	45
Anexo 1. Especificaciones del transductor utilizado. ES200-7C	45
Anexo 2. Tecnología Split beam	47
Anexo 3. Archivos de programa y funciones Matlab®	48
Anexo 4. Proceeding European Conference Underwater Acoustic (ECUA 2010)	68

I. INTRODUCCIÓN

La pesca artesanal en Galicia tiene una gran importancia social, económica y cultural, constituyendo, desde hace años, uno de los sectores más importantes para la comunidad gallega [1]. De hecho, casi 40.000 personas en Galicia trabajan directamente en actividades de pesca y marisqueo, y aproximadamente un 10% de la población lo hacen en actividades que dependen directamente de la pesca (transporte, industria conservera, etc.).

Según (Freire, 2000) casi un 80% de los barcos y de los pescadores gallegos se dedican a la pesca artesanal próxima a costa. De los casi 40.000 pescadores, 19.600 son pescadores artesanales que faenan desde la embarcación, 9.562 son mariscadores a pie que extraen bivalvos y 2.410 mariscadores de “recursos específicos” como los percebes. Concretamente el sector de bivalvos tiene gran importancia en Galicia debido a que existen unos 290 bancos de bivalvos, con una superficie total de 23.012.656 m².

Observando los datos económicos se pone de manifiesto la relevancia económica del sector, el año pasado recaudó 68M €, haciendo evidente la importancia de los recursos marinos y costeros de Galicia y, por tanto, dejando patente la necesidad de una gestión eficiente y sostenible de los mismos.

Los pescadores, con el conocimiento que da la experiencia de años y generaciones, han ido delimitando la distribución de los diferentes recursos (caladeros de pesca, bancos marisqueros, etc.) de una forma eficiente para la realización de la actividad, pero no lo suficiente para los planes de gestión sostenible. Por esta razón, actualmente se estudia la viabilidad de nuevas metodologías que permitan cartografiar los recursos explotados por el sector pesquero gallego.

Una buena gestión de los recursos pasa, necesariamente, por un conocimiento de los mismos. La acuicultura social de bivalvos tiene una importancia socioeconómica vital para una gran parte de la franja costera de Galicia. Hoy en día, este sector se enfrenta a grandes retos, cambios en la producción, clima, hábitos de consumo, comercio... a los que debe adaptarse y anticiparse para seguir creando riqueza de los recursos naturales existentes. Pero con adaptaciones adecuadas se perfila como una actividad de gran proyección y futuro, respetuosa con el medio ambiente y sostenible, pero necesita el apoyo de sectores como el de la investigación para trabajar juntos en la implementación de soluciones a problemas que existen en la actualidad.

De este modo, nace el uso de técnicas acústicas como una alternativa [2] para la identificación, clasificación y cartografiado de hábitats bentónicos (comunidades formadas por la flora y fauna que habitan el fondo de los ecosistemas acuáticos). La utilidad de técnicas acústicas en la evaluación bentónica radica en la habilidad de proporcionar una cobertura relativamente rápida de las grandes áreas de los fondos marinos. Las principales ventajas respecto a los métodos convencionales recaen en que permiten un sondeo continuo, no invasivo y una gran reducción en

el tiempo y coste del muestreo. El extensivo uso de las ondas acústicas en la ciencia y tecnología marina son debidas a la relativa baja absorción que experimentan estas ondas en el agua y a su prolongada duración, en comparación con las ondas electromagnéticas que presentan una elevada atenuación en el medio marino. Actualmente, el uso de técnicas acústicas para caracterización de fondos es cada vez más habitual y existe una extensa bibliografía [3]. No obstante, existen pocos estudios previos que analicen la aplicabilidad de métodos acústicos en el cartografiado bivalvos solénidos [4,5,6]

El presente trabajo forma parte del proyecto “Evaluación de la pesquería de navaja en la Ría de Pontevedra hacia una explotación sostenible: estudio e integración de la diversidad biológica y los aspectos hidrodinámicos en su explotación”, en la actualidad llevado a cabo por la empresa *spin-off* Fismare, Innovación para la Sostenibilidad originada en el seno del Grupo de Recursos Marinos y Pesquerías (RMyP) de la Universidad de A Coruña.

Para conseguir los objetivos marcados en este estudio se realizó una campaña acústica en la Ría de Pontevedra (Galicia) para evaluar del uso de técnicas acústicas en el cartografiado de bivalvos solénidos como la navaja y el longueirón (*Ensis ensis*, *Ensis siliqua*). Para ello se utilizaron tres ecosondas: una sonda batimétrica monohaz (single-beam) bifrecuencia 38/200 kHz, un SideScanSonar con 200KHz de frecuencia de trabajo y una ecosonda científica EK60 con un transductor de haz partido (Split-beam) trabajando a la frecuencia de 200 kHz. Los datos fueron grabados en tres bancos, a priori con diferente densidad de bivalvos.

No obstante, en este trabajo se presentará únicamente los resultados obtenidos con la ecosonda Split-beam usando únicamente los valores angulares, con la finalidad de encontrar información relevante sobre la presencia de dispersores (scatterers) individuales debido a la presencia de bivalvos a una distancia corta de penetración en el sedimento.

El objetivo de este trabajo es evaluar la competencia de esta técnica, que utiliza solamente la información angular, a diferencia de lo habitual usando la información de energía o la combinación de ambas, para el cartografiado de bivalvos solénidos. Para poder comparar los datos acústicos se refuerza el estudio con la toma de muestras de sedimento en cada uno de los bancos (análisis granulométrico) y con la caracterización biológica de cada una de las zonas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

En este apartado se presentan el área de muestreo donde se realizaron las medidas acústicas, los métodos de muestreo y los dispositivos utilizados. Asimismo, se detalla la metodología utilizada a lo largo del proceso de tratamiento y análisis de los datos.

II.1. Área de muestreo.

El muestreo se realizó en la Ría de Pontevedra, Galicia. Esta ría pertenece a las Rías Baixas y presenta una superficie de 145 km² y una longitud de 23 km. Se considera como un paradigma de las rías gallegas desde un punto de vista hidrodinámico [7], y se caracteriza por los eventos de *upwelling*, aguas frías profundas y ricas en nutrientes que ascienden a la superficie, produciendo un incremento de la comunidad biológica [8].

El presente estudio se llevó a cabo en tres bancos marisqueros de la Ría de Pontevedra, Raxó, Aguete y A Cova, situados entre los 5 y 11 metros de profundidad, con una superficie de 2.46, 0.5 y 27.5 hectáreas respectivamente (Fig. 1). Estos tres bancos habían sido caracterizados, durante las semanas previas al muestreo, como muy productivo, de productividad media y no productivo respectivamente por los pescadores que desarrollaban su actividad diaria explotando los solénidos.

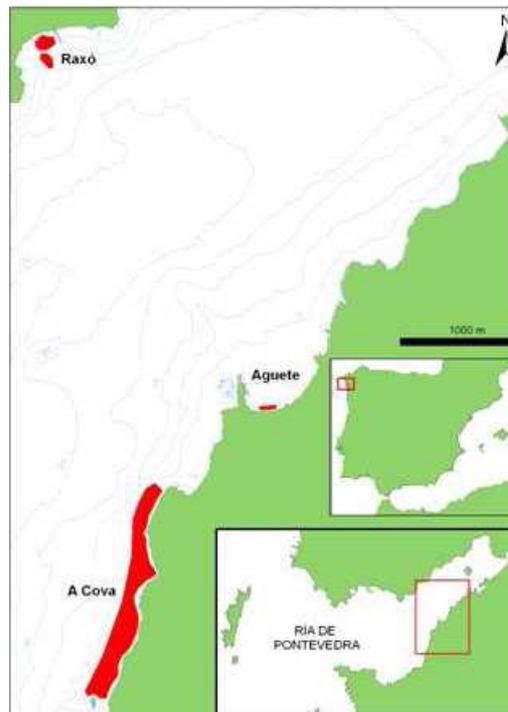


Fig.1. Mapa de situación de los bancos muestreados.

II.2. Campaña acústica.

El estudio acústico tuvo lugar los días 11 y 12 de Julio 2009 a bordo de un pequeño barco pesquero de 6.25 metros de longitud. Cada uno de los bancos fue muestreado utilizando tres métodos acústicos diferentes (con el objetivo de evaluar su efectividad como método para la cartografía de bancos solénidos): una ecosonda monohaz bifrecuencia (38/200kHz) modelo EA400P, una SideScan Sonar vertical (200kHz) y una ecosonda científica EK60 con un transductor Split beam ES200-7C trabajando a la frecuencia de 200 kHz. El presente trabajo aborda únicamente el análisis de los datos obtenidos con esta última sonda por lo que a partir de ahora se mostrarán únicamente los datos relativos a esta metodología. Los dispositivos utilizados y la distribución y montaje de los mismos se presentan en la Fig. 2.

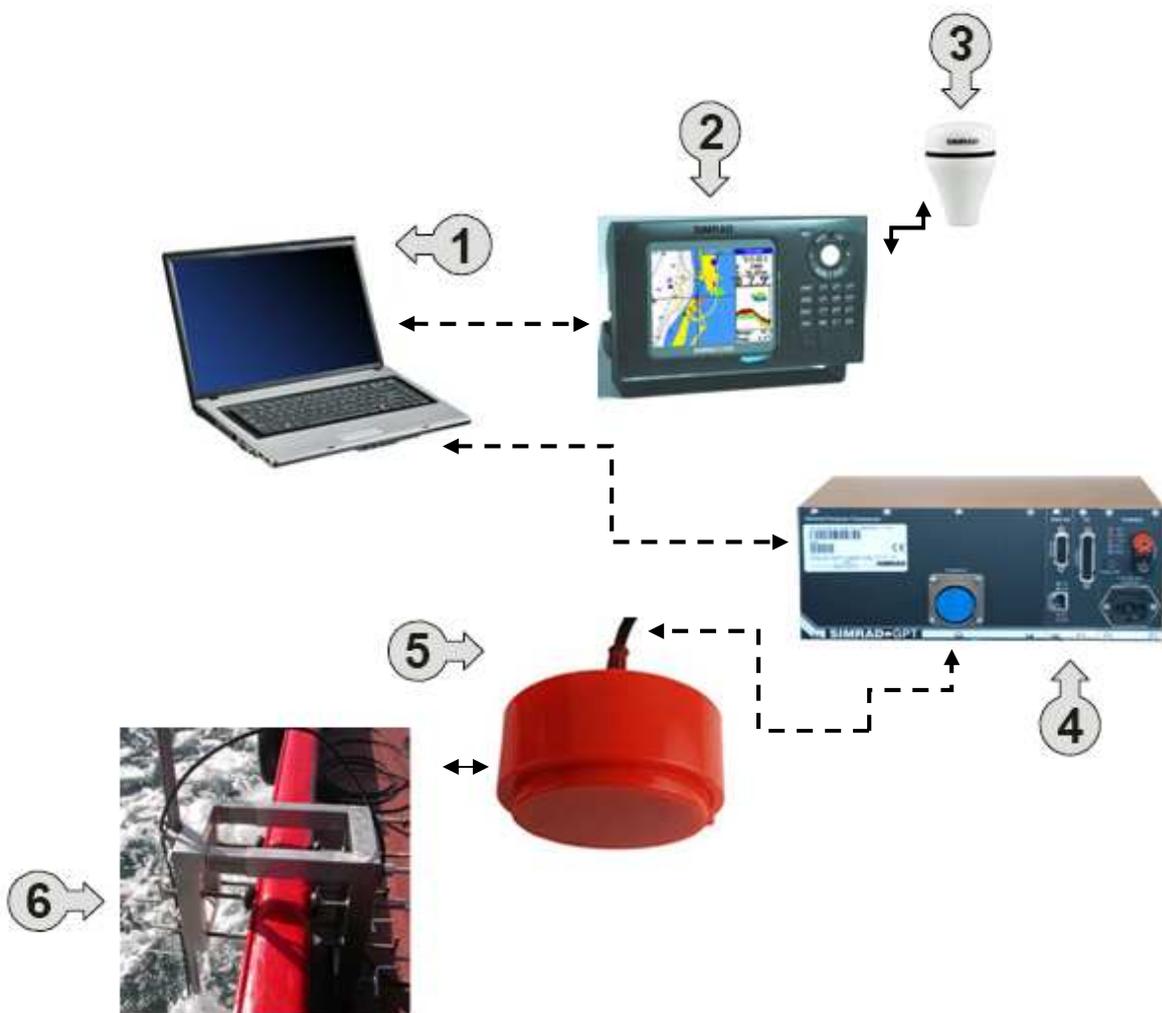


Fig. 2. Diagrama de los dispositivos utilizados para la toma de medidas. Leyenda: (1) = Ordenador portátil para la visualización de los ecogramas y almacenamiento de los ficheros; (2) =Dispositivo de localización y posicionamiento del barco, GPS; (3) = Antena de emisión-recepción de señales GPS; (4) = Transceptor de propósito general (GPT), contiene la electrónica de la transmisión y recepción; (5) =Transductor Split beam ES200-7C; (6) = Soporte en forma de pinza montado sobre el barco para sujetar el transductor.

Para obtener la mejor resolución vertical se utilizó la menor longitud de pulso permitida por el dispositivo. Dado que se busca realizar un estudio del sedimento, y por tanto la penetración máxima de la onda acústica se utilizó una potencia elevada. El ping ratio utilizado (cantidad máxima de número de pings por unidad de tiempo que se pueden enviar y recibir cuando la ecosonda trabaja en modo activo) fue el máximo posible (en función de la profundidad del momento). En la Tabla 1 se muestran los parámetros de funcionamiento de transductor durante la toma de medidas.

Parámetros	ES200-7C
Frecuencia (kHz)	200
Potencia (W)	300
Longitud de pulso (μ s)	64
Velocidad del sonido (m/s)	1450
Rango (m)	50
Ping ratio	máx

Tabla 1: Parámetros de funcionamiento Split beam.

El transductor se fijó en el costado del barco mediante un soporte en forma de pinza Fig. 2 (6), las posiciones del barco fueron almacenadas en los ficheros de la ecosonda usando un dispositivo GPS como señal de entrada y la velocidad del barco se mantuvo entre los 3.5 y 4.2 nudos. Las condiciones meteorológicas durante la toma de datos se mantuvieron constantes y fueron óptimas para el trabajo (sin presencia de olas de viento, mar de fondo o corrientes).

En cada uno de los bancos se definió un transecto longitudinal (paralelo a costa) (Fig.3) que fue cubierto un mínimo de 3 veces, usando dos direcciones (rumbos): dejando la costa a babor y dejando la costa a estribor. Se realizaron un total de 14 transectos (4 para Raxó, 5 para Aguete y 5 para A Coba).



Fig. 3. Transectos y puntos de buceo, de izquierda a derecha, Raxó, Aguete y A Coba.

II.3. Caracterización biológica y de sedimento.

Para obtener información que permita caracterizar el fondo marino se establecieron 6 estaciones de muestreo (2 por banco) donde se tomaron muestras biológicas y de sedimento.

Este tipo de información complementaria es esencial para poder constatar la validez y coherencia de los resultados obtenidos de los datos acústicos y facilita la comprensión de los fenómenos físicos ocurridos debidos a las características del suelo.

La toma de muestras biológicas consistió en la recogida de aproximadamente 50000 cm³ de sedimento con una bomba de succión, usando a continuación un tamiz de 1 cm de tamaño de malla para retener solo aquellas muestras que permanecían en el tamiz. Se realizó el contaje, tanto de navajas como de otras especies acompañantes (Fig. 4). Además, todos los individuos de las especies objetivo (navaja) fueron medidas.



Fig.4. Ictiómetro utilizado para la medida de las navajas.

Para la caracterización del sedimento se tomó un corer de 30 cm (Fig. 5) en cada estación de muestreo. Las muestras se mantuvieron durante dos días secándose en un horno a 80°C, y posteriormente se tamizó utilizando un tamiz analítico de 1000µm y se midió la distribución de su tamaño mediante un láser granulométrico. El análisis fue llevado a cabo por la Unidad de Análise Estructural del Servizio de Apoio á Investigación de la Universidade de A Coruña.

En la Tabla 2, se muestra un resumen de los resultados obtenidos tras la caracterización biológica (densidad de bivalvos) y la caracterización del sedimento (análisis granulométrico).



Fig. 5. Muestras de sedimentos tomadas con un corer.

Banco	Punto de buceo	Análisis granulométrico	Densidad de bivalvos (n° indiv/m ²)
Raxó	3	Arena media-fina	Alta
	4	Arena media-gruesa	Alta
Aguete	5	Arena media-fina	Baja
	6	Arena media-gruesa	Media
A Coba	7	Arena gruesa	Ausencia
	8	Arena media-gruesa	Ausencia

Tabla 2. Resumen de la caracterización de las muestras de sedimento y biológicas en los puntos de muestreo.

Estos análisis nos permiten caracterizar los bancos estudiados en base a su granulometría y densidad de solénidos. De este modo Raxó y A Coba muestran homogeneidad en cuanto a la densidad de solénidos (alta y nula respectivamente) y una variación granulométrica (entre arena media-fina y arena media-gruesa y entre arena media-gruesa y arena gruesa respectivamente). Aguete se presenta como el banco más heterogéneo, con diferencias en cuanto a la densidad de solénidos (media y baja) y a la granulometría (media-fina y media-gruesa). A pesar de esto, debemos tener en cuenta que los bancos han sido caracterizados, atendiendo a su densidad de solénidos, por los mariscadores tras semanas de explotación.

II.4. Exploración de los datos acústicos.

Como primer paso, previo al análisis de los datos acústicos, es interesante explorar los ecogramas de cada uno de los bancos. La observación de cada uno de los ecogramas podría mostrarnos ciertas diferencias entre los distintos bancos. Sin embargo, debemos tener presente que los análisis granulométricos han mostrado un aumento del tamaño de grano de la arena de los bancos a medida que disminuye la densidad de navaja, lo que puede representar un problema a la hora de interpretar los ecogramas. El análisis exploratorio nos permite conocer previamente cómo se distribuye el tipo de fondo que vamos a caracterizar. Para esta finalidad se ha utilizado el software ER60.

Algunas consideraciones a tener en cuenta debido a las características de nuestro blanco (navaja) son:

- El blanco se encuentra bajo la superficie del fondo marino hasta un metro por debajo.
- Se suele encontrar en posición vertical, es decir, perpendicular a la superficie del mar.
- Puede tener un tamaño de hasta 15 cm de largo por 1.5 de ancho.

a. *Raxó*: Banco muy productivo.

Tipo de sustrato y material recogido:



Fig. 6. Muestra de sedimento (arena fina y compacta) y muestra de las especies y cascajo encontrado en el punto de buceo 3.

Ecograma obtenido:

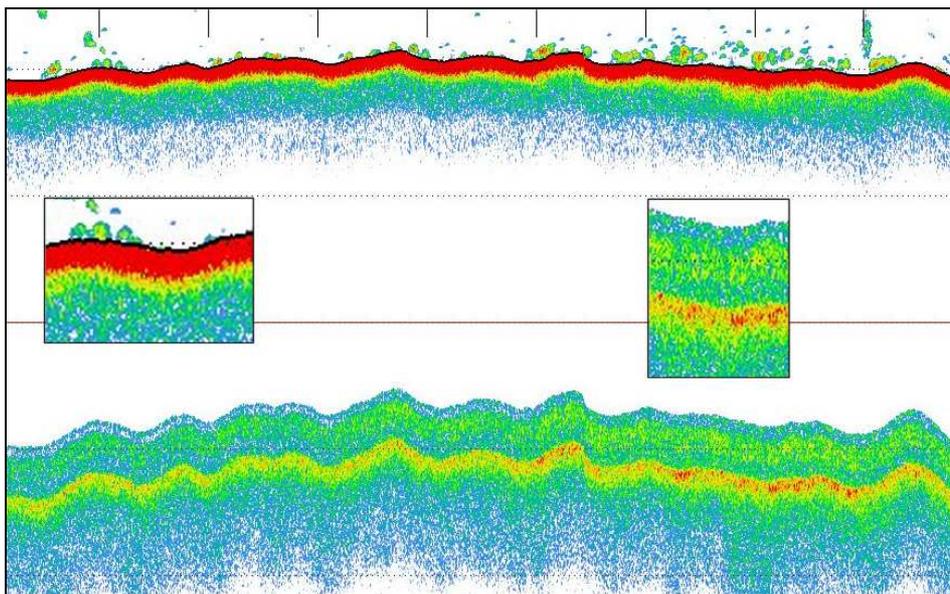


Fig.7. Detalle de un ecograma obtenido con el software ER60. Se presentan los valores obtenidos para el primer y segundo eco. Zona muy productiva (*Raxó*).

En el ecograma se observa un primer eco, debido al fondo, con valores de energía de alta intensidad distribuidos de forma aparentemente homogénea a lo largo del transecto. Además se puede observar un segundo rebote en el que se detectan dos zonas o subcapas con diferentes valores de intensidad. Ambas subcapas, especialmente las segunda, presentan una distribución de intensidades heterogénea a lo largo del transecto, lo que podría deberse a la distribución en el

sustrato de algún objeto (navaja). Sin embargo, no se perciben, en ninguno de los ecos, detecciones de ecos individuales que nos podrían advertir de la presencia de navajas.

b. Aguete: Banco poco productivo.

Tipo de sustrato y material recogido:



Fig. 8. Muestra de sedimento (arena media) y muestra de las especies y cascajos encontrados en el punto de buceo 6.

Ecograma obtenido:

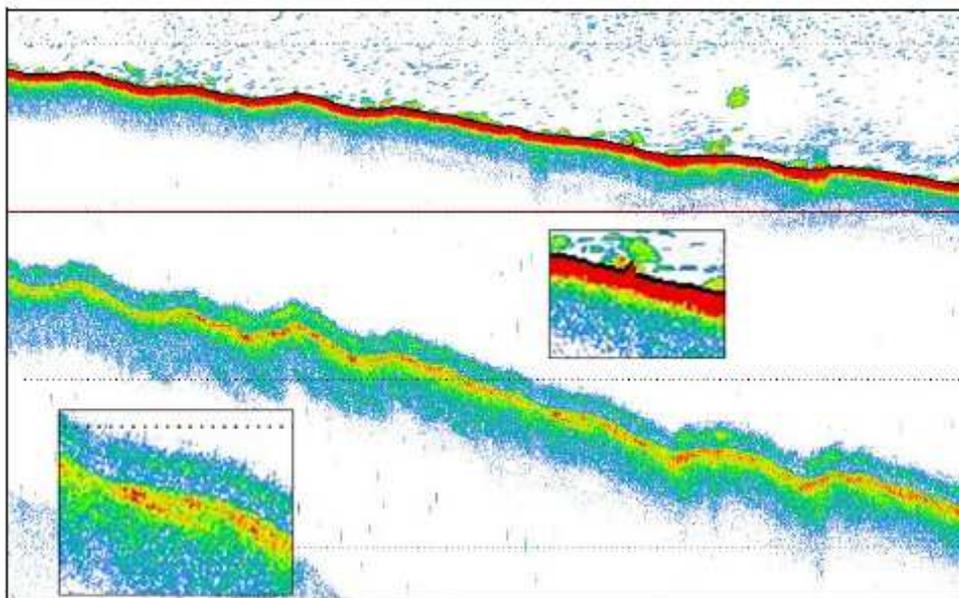


Fig. 9. Detalle de un ecograma obtenido con el software ER60. Se representan los valores obtenidos para el primer y segundo eco. Zona poco productiva (Aguete).

En este caso, el primer eco no muestra diferencias con el banco anterior, se sigue observando valores altos de intensidad energética homogéneamente distribuidos a lo largo del transecto. Sin embargo, la subcapa sí que presenta valores más altos de energía que en el banco anterior y espaciados de forma irregular.

c. A Coba: Banco no productivo.

Tipo de sustrato y material recogido:

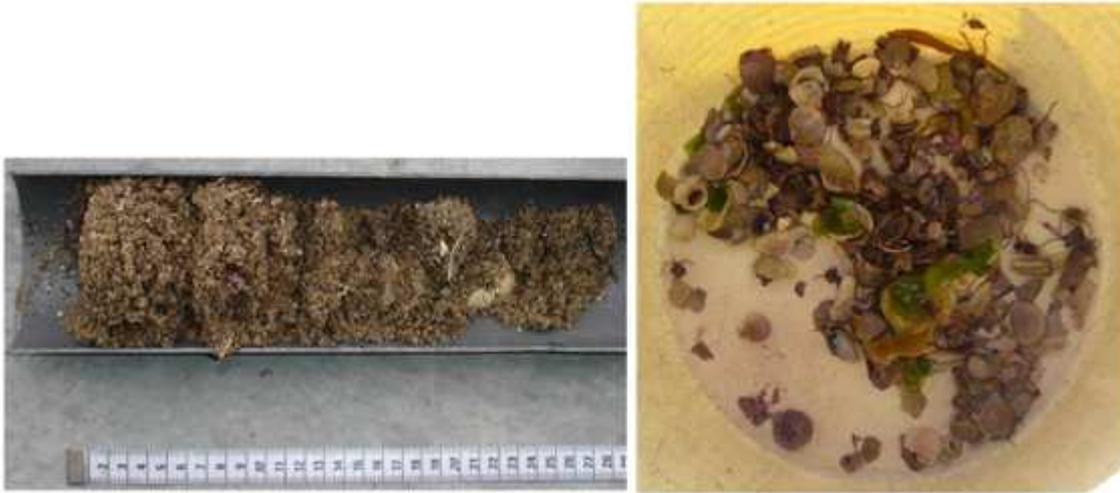


Fig. 10. Muestra de sedimento (arena gruesa) y muestra de las especies y cascajos encontrados en el punto de buceo 7.

Ecograma obtenido:

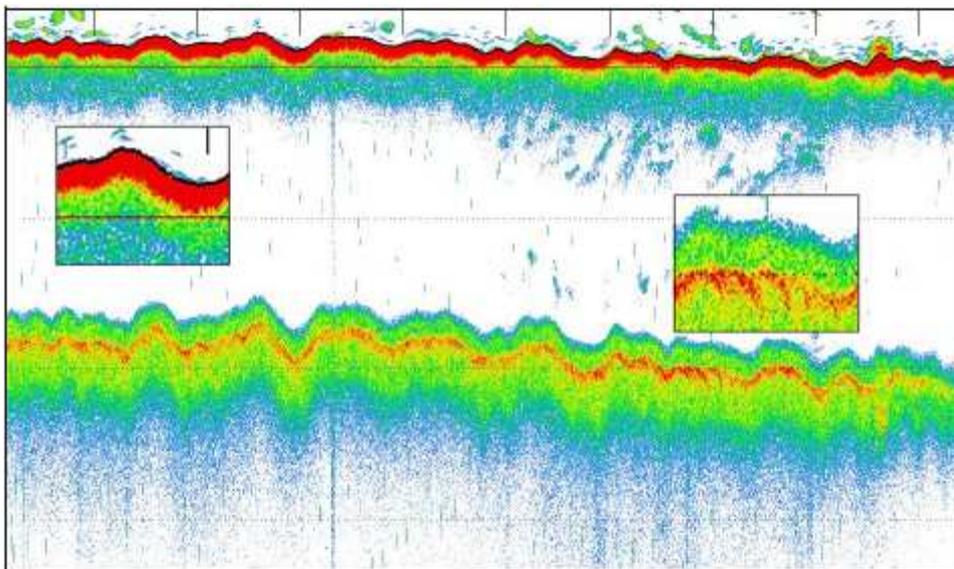


Fig. 11. Detalle de un ecograma obtenido con el software ER60. Se representan los valores obtenidos para el primer y segundo eco. Zona no productiva (A Coba).

Del mismo modo que en los casos anteriores el primer eco presenta una distribución homogénea de valores altos de intensidad a lo largo del transecto. Pero en el segundo eco, tras la capa de baja intensidad (presente también en los otros bancos) le sigue una capa continua de intensidades medias cruzada por una zona de intensidades altas, mayores que en el resto, y más homogéneamente distribuidos.

II.5.Pre-procesado de los datos.

a. Conversión de los archivos.raw.

Durante el desarrollo de los transectos acústicos la ecosonda genera archivos con extensión *.raw*, que es un formato de archivo digital de imágenes. Estos archivos almacenan la información recibida de las ondas acústicas, los parámetros de funcionamiento de la ecosonda y la información relativa al posicionamiento del dispositivo (valores de GPS). Al tratarse de un transductor Split beam, junto con la información de intensidades de energía del eco, se recoge la información de la posición de los ecos recibidos. Este método permite añadir precisión a la localización y caracterización de objetos. La dirección del blanco está definida por dos ángulos *At* (ángulo transversal) y *Al* (ángulo longitudinal). La particularidad del sistema Split beam consiste en conocer el ángulo de cada individuo detectado sobre el eje vertical del transductor, esto es posible porque el transductor está dividido en cuatro sectores, con un receptor propio en el tranceptor que procesa por separado cada eco, determinando exactamente su ángulo respecto a la vertical del transductor, ya que éste es proporcional al desfase del eco recibido (ver Anexo 2).

En este estudio se decidió centrar los análisis en la información angular para evitar los problemas derivados de la dependencia que presentan los valores de energía con la profundidad.

La información angular de los archivos *.raw* nos proporciona la información proa-popa (*Al*) y la información babor-estribor (*At*) de los ángulos eléctricos de salida y los almacena como una palabra de 16 bits. Los datos angulares son expresados en complemento a dos. El ángulo alongship es el byte más significativo mientras que el ángulo transversal es el byte menos significativo. Los números positivos denotan las posiciones de las direcciones proa-estribor [9]. Debido a que los datos angulares se encuentran almacenados en valores eléctricos será necesario aplicarle la ecuación de conversión electro-mecánica, para pasar de valores eléctricos a valores mecánicos (ángulos).

Para la lectura y almacenamiento de los archivos generados por la ecosonda se utiliza el programa Matlab®, y se utilizan los archivos de órdenes (*scripts*) proporcionados por la empresa SIMRAD S.L, suministradora de la ecosonda utilizada. No obstante, estos *scripts* no realizan la lectura y almacenamiento de los valores angulares de los archivos *.raw*, por lo que se ha implementado en *scripts* programados específicamente para este estudio. Se crean dos archivos de órdenes más, uno para realizar la conversión electro-mecánica de los valores angulares (*covert_elect2mech*) y otra para detectar el fondo (*bottomdetector*) ver Anexo 3.

Para realizar la conversión electro-mecánica se define la sensibilidad angular y los offsets de calibración en las dos direcciones quedando los valores entre [-7.8961:+7.6949] para athwartship y para alongship entre [-7.7761:7.8149] [10], [11]. Se almacenan las matrices con los valores mecánicos y se aplica el algoritmo de detección de fondo teniendo en cuenta las especificaciones

de la ecosonda utilizada (ver Anexo 1). No obstante este algoritmo se explica detalladamente más adelante. Los pasos seguidos y comentarios de los programas utilizados se detallan en el Anexo 3.

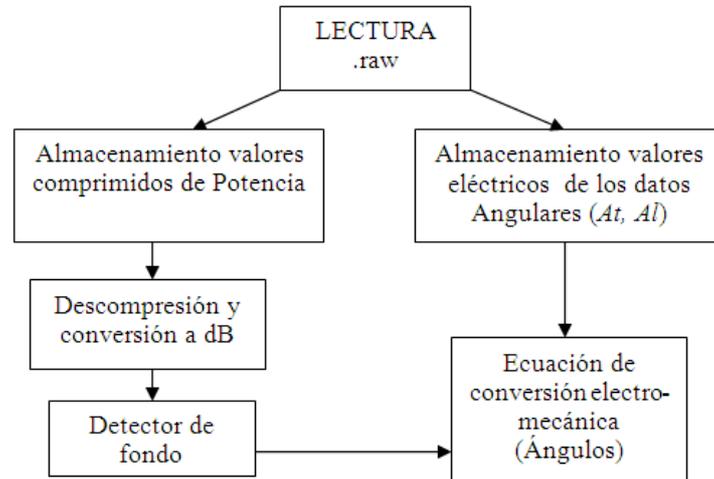


Fig.12. Diagrama de bloques básicos del funcionamiento del programa utilizado.

Utilizando estos *scripts* se realiza la conversión de todos los archivos *.raw* generados con los transectos, y se almacenan las matrices obtenidas. Al ejecutar el archivo de órdenes *readraw* se obtienen desde la estructura *sampledata* la información de los parámetros del transductor y las matrices resultado. En la tabla de parámetros se recoge toda la información relativa al funcionamiento de la sonda en el momento de generación del archivo.

Para cada archivo se generan seis matrices: una de potencia (*Int*) y dos angulares (*Ath_mek* y *Alo_mek*), las dimensiones de estas matrices quedan definidas por el rango (máxima profundidad grabada) y el número de pings (este valor es diferentes en cada archivo *.raw* ya que dependen de la duración del transecto descrito), las otras tres matrices son generadas tras aplicar el algoritmo detector de fondo a las matrices descritas.

Cada uno de los valores almacenados en la matriz (sean potencias o ángulos) corresponden con una unidad de medida o un “bin” (unidad de resolución vertical en la que se divide cada ping). La resolución se define a partir del intervalo entre muestras (τ) y la velocidad del sonido en el agua (c) y se calcula mediante la ecuación (1). En nuestro caso cada “bin” corresponde de 1.2 cm. Resolución suficiente para poder diferenciar nuestro blanco (navaja).

$$R = \frac{c\tau}{2}(m) \quad (1)$$

b. Matrices generadas.

Los archivos .raw se convierten en matrices tras la conversión. De las 14 Pasadas realizadas durante la campaña acústica, 4 fueron desestimadas por presentar errores en el momento de su grabación. Los archivos utilizados en el procesado se muestran en las tablas siguientes:

Banco	Nº Pasada	Archivo	Nº pings	Rumbo
Raxó	Pasada 2	bu-20090612-T100842	1554	33°
		bu-20090612-T101117	1517	33°
	Pasada 4	bu-20090612-T102124	1554	33°
		bu-20090612-T102355	1554	33°
		bu-20090612-T102621	530	33°
	Pasada 3	bu-20090612-T101417	1554	218°
		bu-20090612-T101652	1554	218°
		bu-20090612-T101926	603	218°

Tabla 3. Archivos utilizados en el procesado de datos de Raxó.

Banco	Nº Pasada	Archivo	Nº pings	Rumbo
Aguete	Pasada 1	bu-20090612-T140609	1554	60°
	Pasada 5	bu-20090612-T141822	1111	60°
	Pasada 2	bu-20090612-T140934	1421	240°
	Pasada 4	bu-20090612-T141822	1324	240°

Tabla 4. Archivos utilizados en el procesado de datos de Aguete.

Banco	Nº Pasada	Archivo	Nº pings	Rumbo
A Coba	Pasada 1	bu-20090612-T160416	1554	218°
		bu-20090612-T160643	534	218°
	Pasada 5	bu-20090612-T161929	1554	218°
		bu-20090612-T162155	517	218°
	Pasada 2	bu-20090612-T160809	1554	39°
		bu-20090612-T161036	121	39°

Tabla 5. Archivos utilizados en el procesado de datos de A Coba.

Se reducen a un total de 10 pasadas, de las cuales 3 pertenecen al banco de Raxó, 4 al banco de Aguete y 3 al banco de A Coba.

Tal y como se explicó en el apartado anterior, una vez realizada la conversión para cada archivo.*raw* se generaron 3 matrices de dimensiones 4183 x nº de pings: la matriz de potencia (*Int*) y las matrices angulares (*Ath_mek*, *Alo_mek*). A continuación se muestra un ejemplo de las matrices de la primera parte de la Pasada 2 de Raxó.

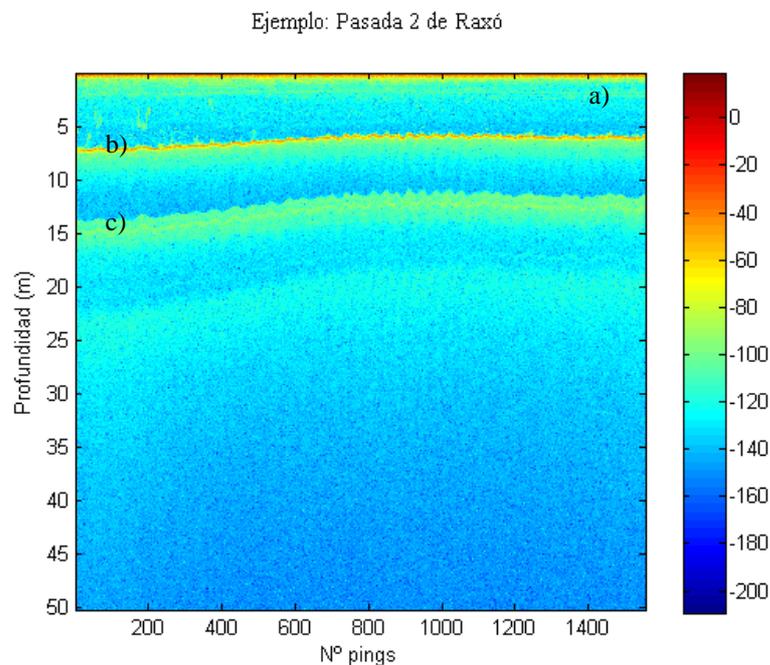


Fig.13. Ecograma generado con los valores de la matriz potencia. Se observa la superficie del mar en (a), el fondo marino, primer eco, profundidad promedio 6,4 metros en (b) y Segundo eco, producido por las reflexiones del fondo marino con la superficie del mar y con el fondo marino otra vez en (c).

Las matrices angulares Ath_mek y Alo_mek contienen los valores en grados tras la conversión aplicada. Los valores mínimos y máximos para Ath_mek son $[-7.8961;+7.6949]$ y para Alo_mek son $[-7.7761;7.8149]$. Estos valores se hallan comprendidos dentro del lóbulo principal del haz del transductor, comprenden ángulos prácticamente entre $+$ y $-$ el ancho del haz a -3 dB. El transductor utilizado tiene un ancho de haz circular de 7° , en el Anexo 1 se encuentra la hoja de características del transductor utilizado.

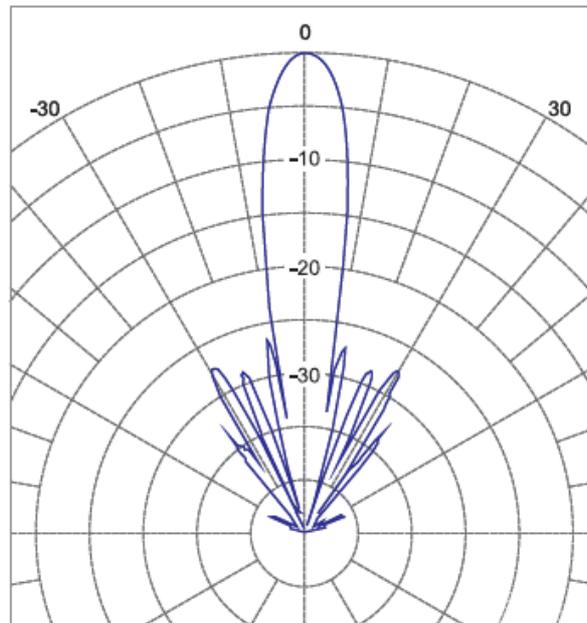


Fig. 14. Patrón de directividad del transductor Split beam ES200-7C

A continuación, en las Fig.15 y 16 se muestran las matrices angulares completas para los ángulos Alo_mek y Ath_mek . En ambas gráficas se observa que en la columna de agua se encuentran valores angulares pequeños tanto positivos como negativos, sobre todo se percibe que en el fondo marino aproximadamente a la distancia 6.4 metros se encuentran valores cercanos a cero. Del mismo modo se observa en la segunda reflexión (≈ 15 m) como aparecen de nuevo valores cercanos a 0° . A medida que aumenta la profundidad se aprecian todo tipo de valores angulares en ambas matrices, por lo que a priori resulta difícil definir un comportamiento.

Se pretende reducir las matrices para estudiar únicamente las zonas susceptibles a la presencia de navajas. Para ello se aplica el detector de fondo a las matrices (Int , Ath_mek y Alo_mek) y se reducen a 1 metro por debajo del fondo marino, que según los pescadores de la zona donde se realizaron las medidas, es a la profundidad máxima a la que se encuentran esta clase de solénidos.

Las otras tres matrices descritas en la conversión (I , Al y At) son las matrices resultado tras aplicar el detector de fondo. El algoritmo aplicado y las dimensiones de las matrices se detallan a continuación.

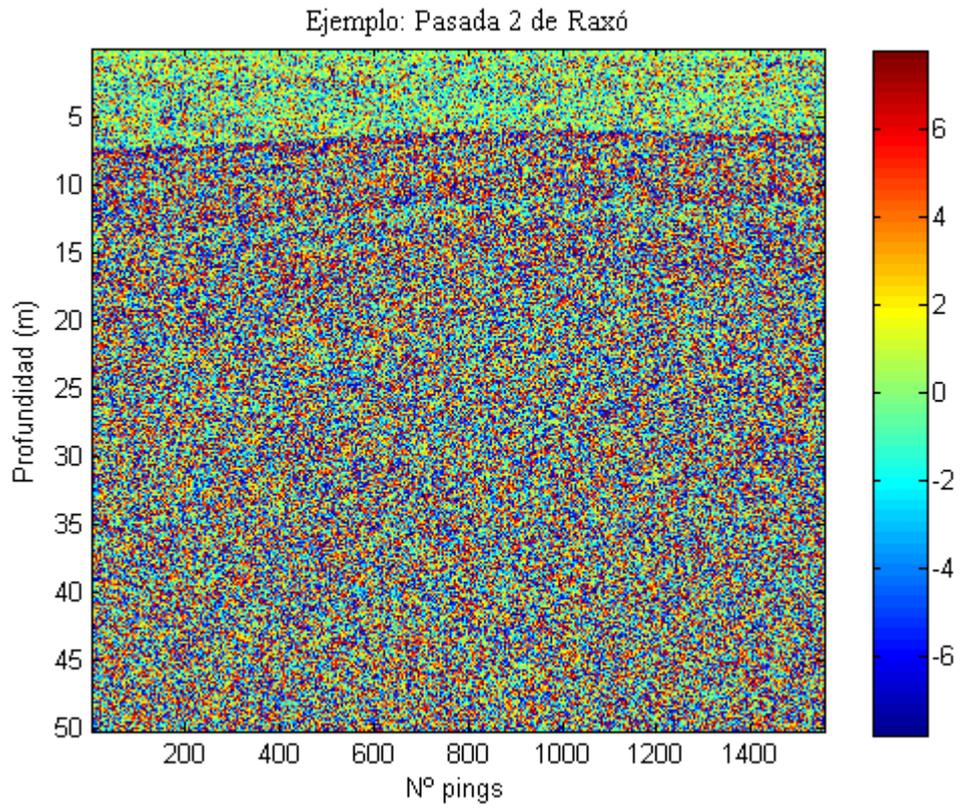


Fig. 15. Matriz con los valores angulares Alo_mek.

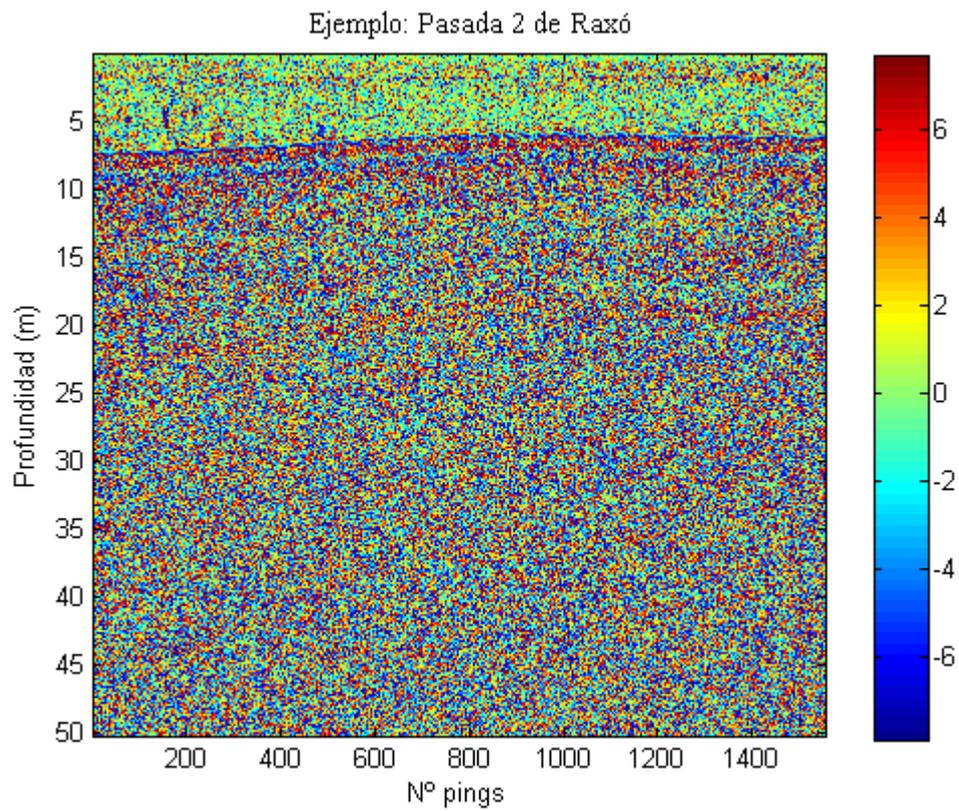


Fig. 16. Matriz con los valores angulares Ath_mek.

Algoritmo de detección de fondo

Para la detección del fondo marino se eliminan los valores de campo cercano para erradicar valores fluctuantes de presión en dicha zona. Se calcula la distancia del campo cercano mediante la ecuación (2), teniendo en cuenta los parámetros del transductor.

$$N = \frac{\pi r^2}{\lambda} (m) \quad (2)$$

Se calcula el área de la circunferencia del transductor circular como $a = \pi r^2$. Dada la frecuencia de trabajo del transductor (200kHz) la longitud de onda en el agua es de 0.75 cm. El tamaño del diámetro del transductor es de 100mm, con un radio efectivo de 0.05m, resultando 1.05 metros la distancia (N) del campo cercano, equivalente a 89 posiciones de la matriz (89x0.012)=1.05 m.

Una vez se han eliminado los valores de campo cercano, se realiza para cada ping la búsqueda del valor máximo y de la posición que ocupa dicho valor. Dando lugar a la detección del fondo, y a la ubicación dentro de la matriz. Como se ha comentado, nuestro blanco se va a encontrar como máximo a la distancia de un metro por debajo del fondo marino.

Aplicado el algoritmo de detección de fondos, se almacena una matriz de tamaño [100 x n° pings]. El número de “bins” será el mismo para todos los pings, una vez detectado el valor máximo se tomarán 9 celdas por la parte superior a ese valor, para tener en cuenta el tamaño del ancho del pulso (4 posiciones) y que las navajas pueden sobresalir sobre los sedimentos del fondo marino. Por otra parte, se toman 89 posiciones posteriores al valor máximo, ya que cada posición de celda en la posición vertical (columnas) en nuestra matriz hace referencia a 1.2 cm, por lo que 89 posiciones x 0.012 metros= 1,08 metros.

A continuación se muestra un ejemplo del proceso descrito anteriormente para una de las medidas grabadas. En la parte superior de la Fig. 17 se muestra el ecograma de todo el transecto y en la parte inferior se muestra el contenido espectral de un ping y sus partes. En la Fig. 18 se muestra la ampliación de la zona del ping que estamos estudiando.

Se puede observar a modo de ejemplo lo que representa un ping (línea negra vertical) en el ecograma de la Fig. 17. En el ecograma se muestran los valores de los contenidos de los pings obtenidos por los ecos recibidos en el transductor situado en la parte superior, además se observa biomasa en la columna de agua, y por último, el fondo. Se observa aproximadamente a la profundidad de 6 metros una línea continua en rojo referente al fondo y por debajo del fondo se observa un segundo fondo (segunda gran reflexión).

La parte inferior de la Fig. 17 de un ping, representa el valor de las muestras espaciadas uniformemente en la profundidad. El círculo azul, se centra en el pico de mayor amplitud (fondo).

La línea verde destaca los valores fluctuantes producidos en el campo cercano del transductor, y el círculo morado los valores referentes a la segunda gran reflexión.

Si se realiza una vista ampliada de los valores contenidos en el círculo azul (Fig. 18)se observa la forma del eco que es también una función de las características de la ecosonda, como son la frecuencia, ancho del haz, tamaño y forma del ping.

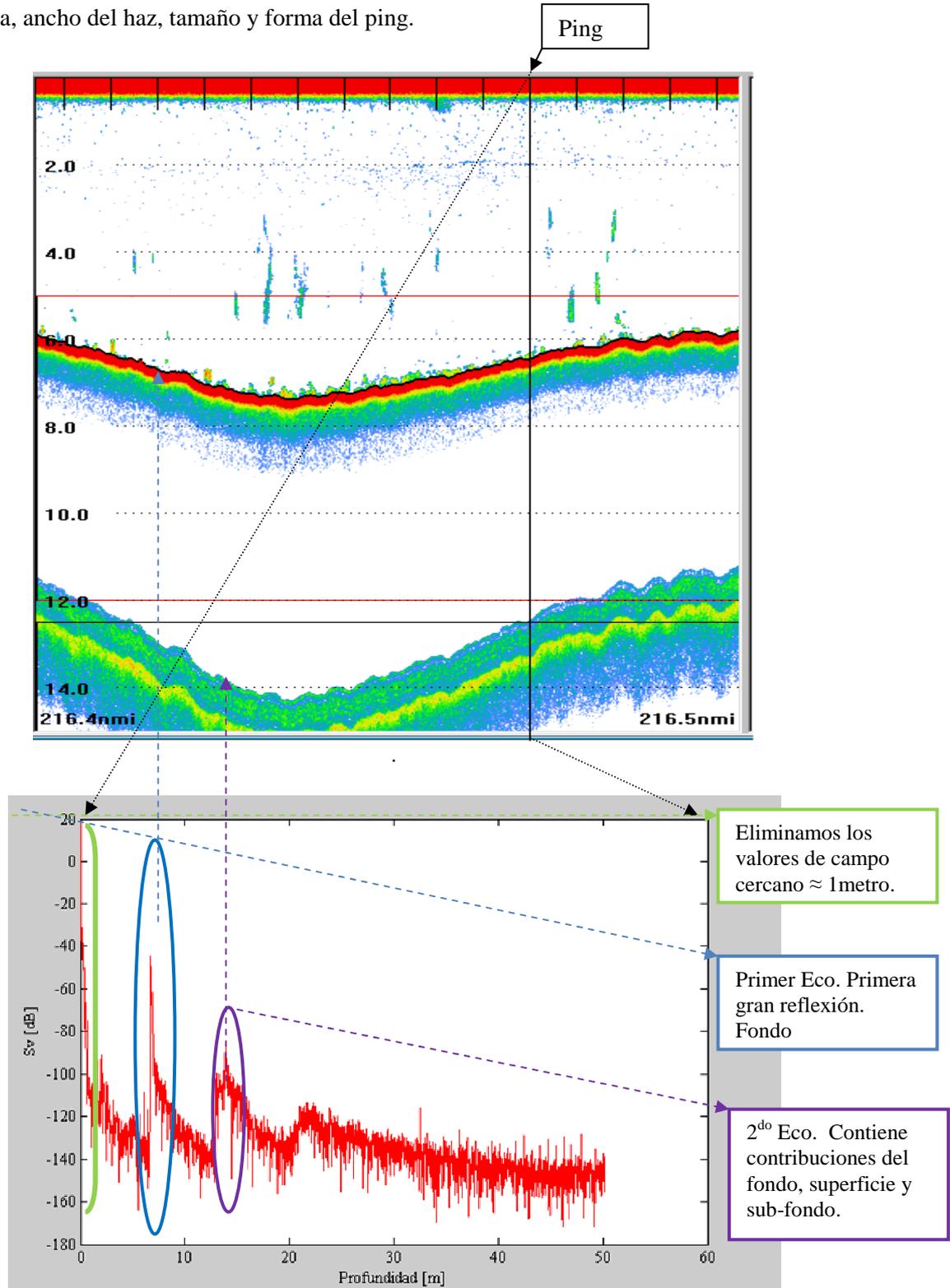


Fig. 17. Esquema de funcionamiento del algoritmo de detección de fondo. En la parte superior se muestra un ecograma obtenido con el software ER60, y en la parte inferior se muestra la distribución espacial de un ping.

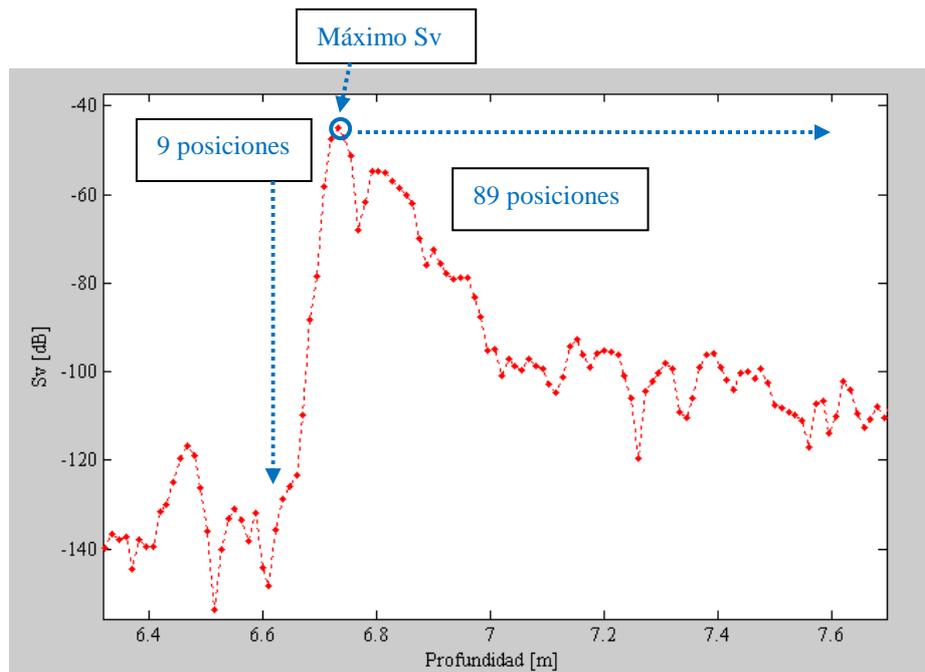


Fig. 18. Zoom en el pico del fondo.

En nuestro caso, el mejor candidato a fondo viene determinado por el valor máximo de amplitud, se ha de tener en cuenta que el primer valor de fondo se corresponde con 4 valores antes del máximo (relación utilizada para las sondas de Simrad). Esto es debido a que el valor máximo se corresponde cuando el círculo de “insonificación” es máximo y esto ocurre cuando el pulso en el punto del nadir llega al final de su anchura (longitud del pulso).

Aplicado el detector de fondo (función: $[I,Al,At]=bottomdetector(Int,Alo_mek,Ath_mek)$, las matrices quedan reducidas al tamaño de interés para el análisis angular. También se calcula la distancia promedio al fondo para cada una de las pasadas y se comparan los resultados con los ecogramas del ER60 para verificar que el algoritmo funciona correctamente.

Banco	Nº Pasada	Rango	Profundidad (m)	Profundidad promedio (m)
Raxó	Pasada 2	536	6.43	5.93
		452	5.42	
	Pasada 4	536	6.43	6.10
		500	6.0	
		484	5.80	
	Pasada 3	478	5.74	6.06
536		6.43		
501		6.01		

Tabla 6. Rango y distancia al fondo de las medidas del banco de Raxó.

Banco	Nº Pasada	Rango	Profundidad (m)	Profundidad promedio (m)
Aguete	Pasada 1	717	8.60	8.60
	Pasada 5	709	8.51	8.51
	Pasada 2	673	8.08	8.08
	Pasada 4	675	8.10	8.10

Tabla 7. Rango y distancia al fondo de las medidas del banco de Aguete.

Banco	Nº Pasada	Rango	Profundidad (m)	Profundidad promedio (m)
A Coba	Pasada 1	821	9.85	10.05
		853	10.24	
	Pasada 5	839	10.01	10.13
		881	10.57	
	Pasada 2	853	10.24	9.93
		802	9.62	

Tabla 8. Rango y distancia al fondo de las medidas del banco de A Coba.

Se observa que los tres bancos presentan profundidades diferentes, siendo A Coba el más profundo (≈ 10 m) y Raxó el menos profundo (≈ 6 m). El valor de las profundidades difiere a cada Pasada, esto es un indicativo de la dificultad de medir transectos de forma recíproca, pese a que se tenga las posiciones localizadas mediante GPS y de las múltiples variaciones que presenta el fondo. A continuación se muestran en las Fig.19, Fig.20 y Fig. 21, las tres matrices reducidas I , A_I , A_t de la matriz ejemplo del apartado anterior.

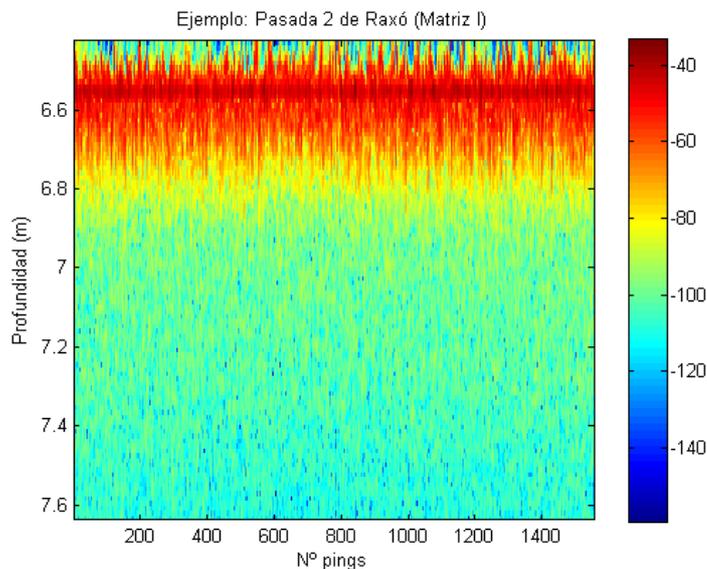


Fig.19. Matriz reducida I, tras aplicarle el algoritmo de detección de fondo.

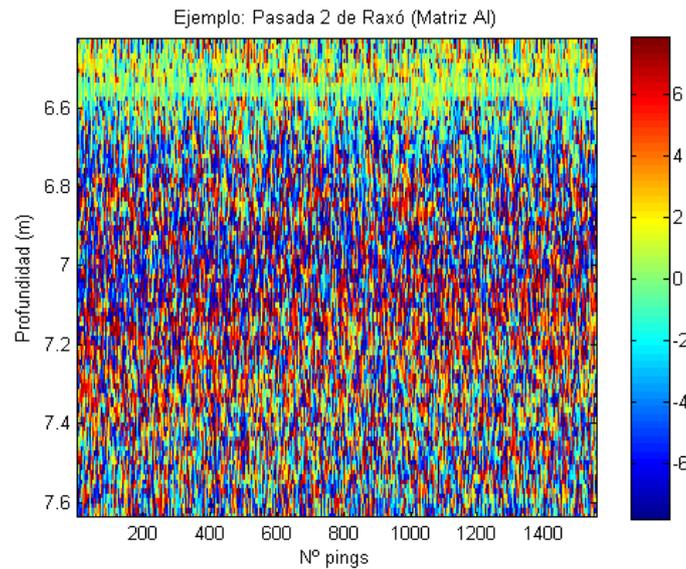


Fig.20. Matriz reducida A_I , tras aplicarle el algoritmo de detección de fondo.

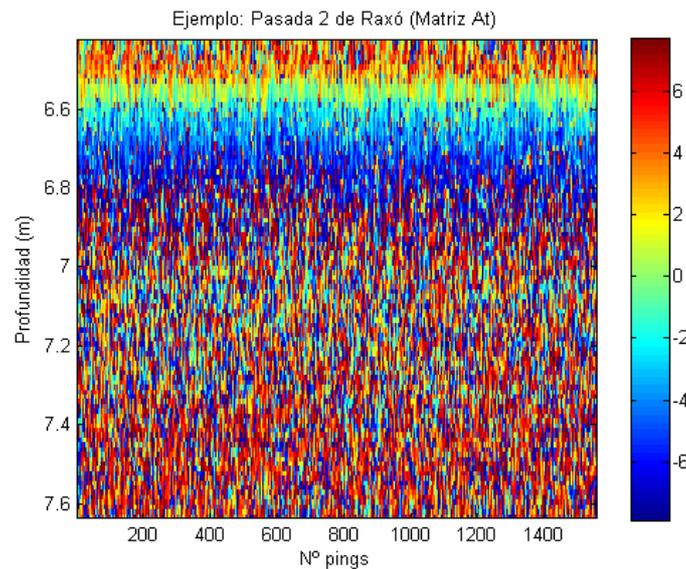


Fig.21. Matriz reducida A_t , tras aplicarle el algoritmo de detección de fondo.

c. Umbrales angulares.

Para analizar el comportamiento angular del transductor en el fondo marino y observar la tendencia de cada uno de los ángulos con la profundidad, se realiza un programa en Matlab® llamado *umbrales_angulares*, ver Anexo 3. Con este programa, se pretende observar el comportamiento global de cada uno de los intervalos (umbrales) a medida que aumenta la profundidad, observar si existen cambios entre ángulos positivos y negativos, comprobar si existen variaciones entre el ángulo A_I definido en la dirección de avance del barco y el ángulo transversal A_t y finalmente observar si existen variaciones al comparar los valores angulares en ambos rumbos.

Se tiene en cuenta el rango angular tanto para At [-7.8961:+7.6949] como para el ángulo en la dirección de avance del barco Al [-7.7761:7.8149], se crean 15 umbrales con un intervalo de 1° entre ellos. Se presentan 3 tipos de gráficas, una general, una de umbrales positivos y la otra de umbrales negativos (Fig. 22, 23 y 24). Se representan cada una para las dos matrices At y Al de todas las pasadas para los tres bancos.

A continuación se detallan las observaciones encontradas tanto en las gráficas generales, como en las gráficas de umbrales positivos y negativos para cada banco.

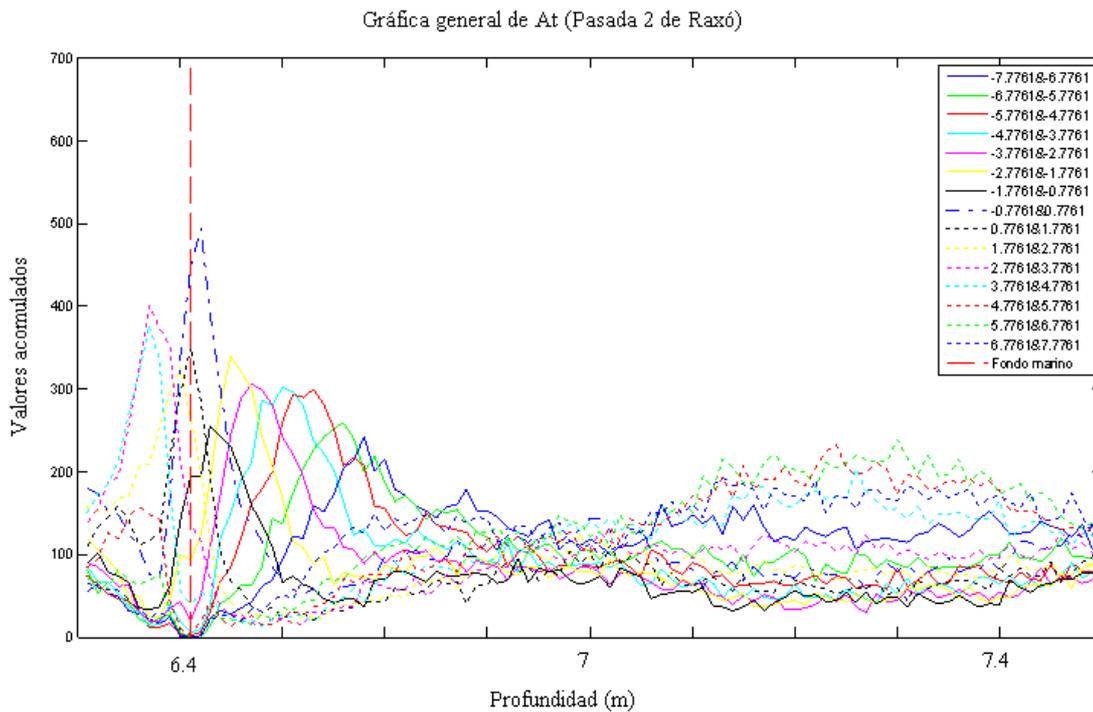
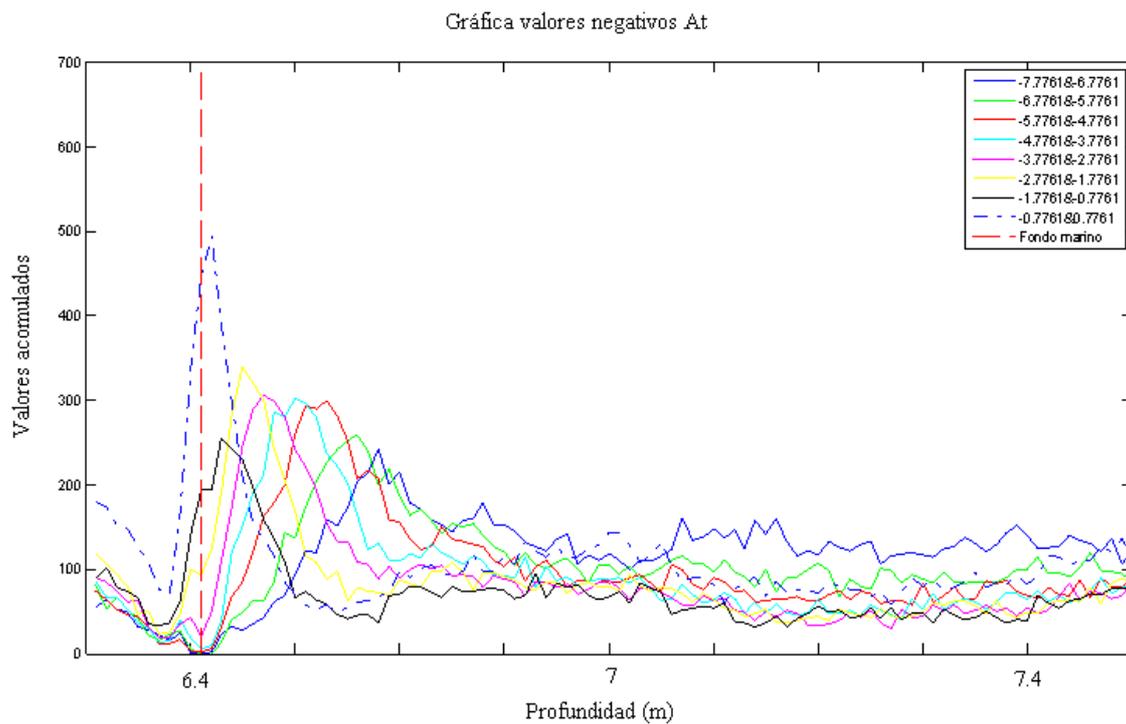
Características	Raxó	Aguete	A Coba
Diferencias generales (At vs Al)	Alta	Baja	Baja
Diferencias por rumbos	No	Sí	No
Diferencias entre partes de una Pasada (debidas a cambios en el tipo de fondo)	Muy baja	No Aplica	Bajo
Diferencias entre + y - (At)	Sí	Sí	No
Diferencias entre + y - (Al)	No	Sí	Sí

Tabla 9. Resumen de las diferencias encontradas en análisis de los umbrales angulares.

Como puede observarse las desviaciones con respecto al comportamiento esperado no son homogéneas para todos los bancos lo que apoya la hipótesis de que los valores angulares permiten una clasificación de tipos de fondo. En base a estas observaciones parece evidente que la información angular recogida por la sonda contiene mucha información relativa a las características del fondo por lo que, aunque no es el objeto de este trabajo (que utiliza otra metodología) sería interesante estudiarlo con detalle en un futuro

No obstante, el análisis descrito nos ha servido para conocer como se han distribuido los valores angulares con la distancia y observar que variaciones angulares existen entre bancos, ya que solo nos ha permitido una primera aproximación visual. Se tiene como objetivo buscar diferencias entre bancos que nos permitan identificar variaciones debidas a la presencia/ausencia de navajas y de algún modo nos permita clasificarlos. Es por ello, que se opta por aplicar descriptores texturales que permitan mejorar la clasificación teniendo en cuenta la relación existente entre los valores de la matriz y sus vecinos.

Las Fig. 22, 23 y 24 muestran a modo de ejemplo los umbral aplicado a la Pasada 2 de Raxó de la matriz At .

Fig. 22. Gráfica general del umbral aplicado a la matriz At de la Pasada 2 de Raxó.Fig. 23. Gráfica valores negativos del umbral aplicado a la matriz At de la Pasada 2 de Raxó.

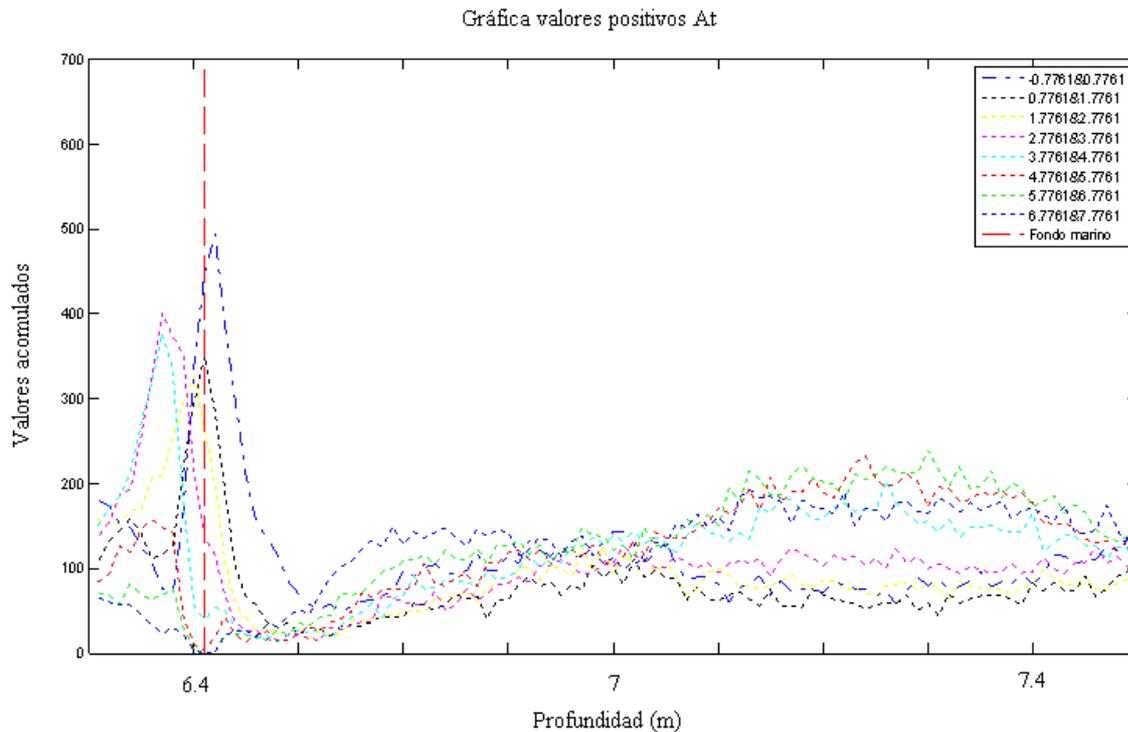


Fig. 24. Gráfica valores positivos del umbral aplicado a la matriz A_t de la Pasada 2 de Raxó.

II.6. Procesado de datos

a. Descriptores texturales.

Los ángulos recogidos durante la prospección acústica representan una realidad con una interpretación directa compleja. A diferencia del análisis energético (donde valores energéticos altos corresponden a elementos con una diferencia de impedancia acústica alta), el análisis de los ángulos no puede ser interpretado en términos absolutos. Por esta razón se decidió abordar el análisis de los ángulos a través del estudio de patrones en cada uno de los transectos analizando su distribución con un enfoque de análisis de imagen. Para ello se analizó la textura de cada una de las matrices utilizando variables de Haralick.

La textura es una característica importante utilizada en la identificación de objetos o regiones de interés en una imagen. Se define la textura de una imagen como una cuantificación de la variación espacial de valores de tono. Existen variables de textura basadas en medidas estadísticas de primer orden (media, desviación, estándar, varianza) y medidas estadísticas de segundo orden basadas en la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris, en inglés GLCM (Grey Co-occurrence Matrix) [12]. La asunción es que la información textural en una imagen está contenida en la relación espacial que los tonos de grises tienen entre ellos. Esas relaciones están especificadas en la matriz de co-ocurrencia espacial (o de niveles de gris) que son computadas en una dirección específica (o bien

para todas: 0° , 45° , 90° y 135°) entre los píxeles vecinos dentro de una ventana móvil que recorre la imagen.

La matriz de co-ocurrencia describe la frecuencia de un nivel de gris que aparece en una relación espacial específica con otro nivel de gris, dentro del área de una ventana determinada. Esta matriz resume la forma en que los valores de los píxeles (en nuestro caso, valores angulares) ocurren al lado de otro valor en una pequeña ventana. Para realizar un análisis textural deben tenerse en cuenta algunas variables, como el tamaño de la ventana (que debe ser cuadrada y con número impar de píxeles). El resultado del cálculo de la textura es un único número que representa la ventana completa, el cual es colocado en el lugar del píxel central. Luego la ventana se mueve un píxel y el cálculo se repite calculando una nueva matriz de co-ocurrencia para esta nueva ventana y resultando un nuevo valor para el píxel central de esta nueva posición de la ventana. De este modo se construye una nueva matriz con valores de la variable textural calculada [13]. La matriz resultante se ve reducida en un ancho de ventana, dado que cada celda de la ventana debe situarse en una celda que esté ocupada en la imagen original, esto significa que el píxel central de la ventana no puede ocupar un borde de la imagen.

Por otra parte, la relación espacial entre el píxel de referencia y su vecino puede ser en cualquiera de las 8 direcciones (N,S,E,O y las 4 diagonales), pero solo se toman 4, ya que la N es la opuesta a la S por lo que la matriz simétrica evita tener que considerarlos separadamente.

Hace más de 30 años Haralick propuso un conjunto de 14 medidas de textura basadas en la matriz de co-ocurrencia. Seis de ellas, se han utilizado en esta clasificación (segundo momento angular, entropía, contraste, correlación, homogeneidad y lacunar).

Para obtener los seis descriptores texturales se ha utilizado el *script Haralick.m* (ver Anexo 3). Cada matriz fue normalizada y escalada a [0.8 1.2], ya que el algoritmo mejora su funcionamiento con variaciones pequeñas. Se definió una máscara de 7 por 7 píxeles que trabajó en dirección Este-Oeste y se definió la matriz de co-ocurrencia de tamaño 4x4.

Se aplicó el programa *Haralick.m* a ambas matrices (A_l y A_t) por separado para cada una de las Pasadas para cada banco. En la Fig. 25 se muestra un ejemplo de las matrices texturales obtenidas analizando la matriz A_l de la Pasada 2 de Raxó.

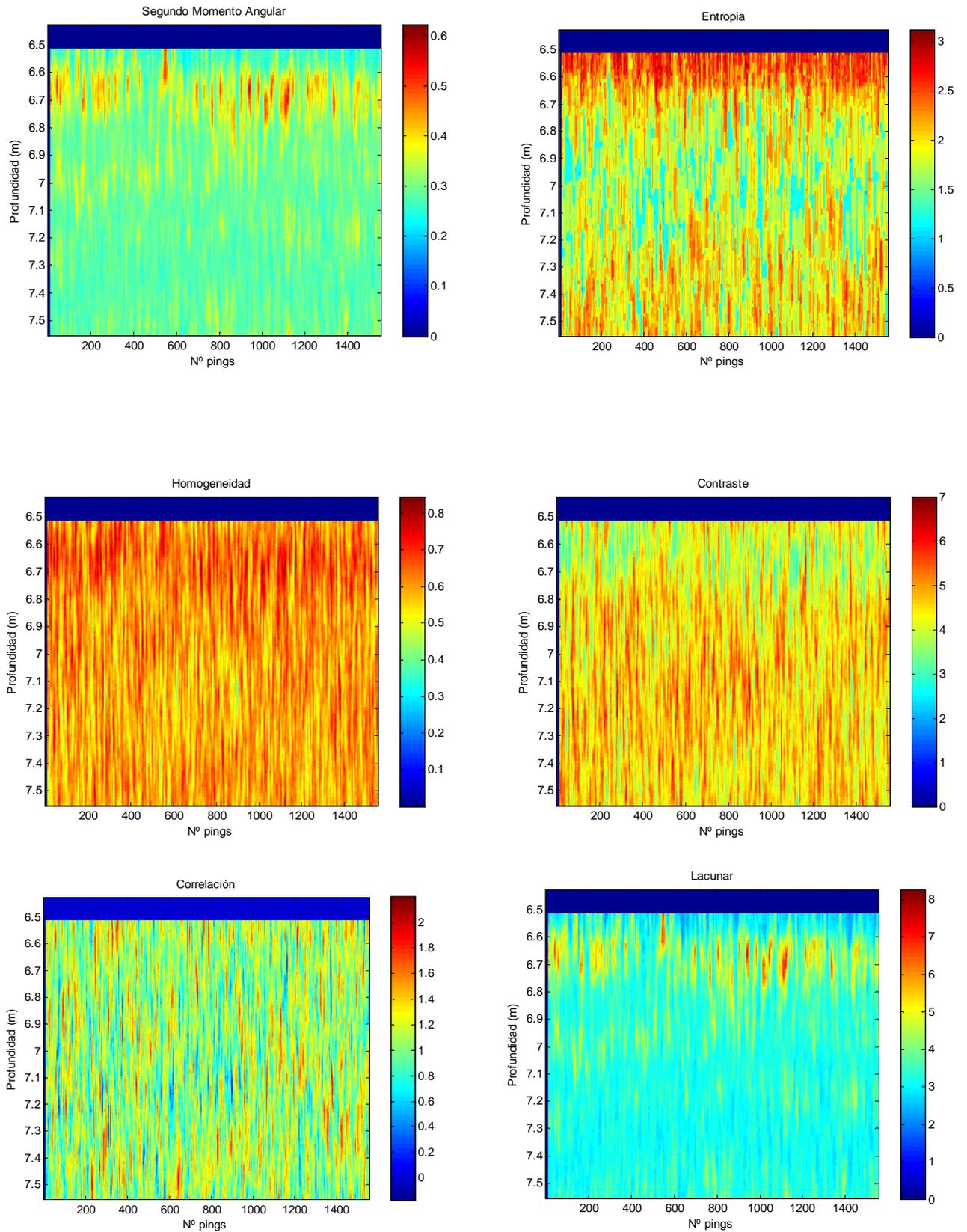


Fig. 25. Matrices resultado de los seis descriptores texturales aplicados.

b. Análisis estadístico.

Una vez obtenidas las matrices de cada uno de los parámetros texturales se calcularon la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros para cada pasada. Estos valores fueron incluidos como variables explicativas en un análisis estadístico con el objetivo de agrupar los pings por las características del sustrato insonificado.

Previamente al cálculo de las medias y desviaciones típicas se realizaron dos modificaciones en las matrices:

1. Se reduce el tamaño de la matriz a 40 cm (33 posiciones) para poder ser comparado con el análisis granulométrico.
2. Se unen todas las partes de cada pasada (correspondientes cada una con un archivo *raw*) en una única matriz (siguiendo el orden del transecto). Se realiza para Raxó y A Coba, ya que las pasadas de Aguite solo contienen un archivo por pasada.

Además de realizar el análisis de las pasadas completas, para estudiar más detalladamente la relación de las variables texturales y las características del fondo, cada matriz (correspondiente a una pasada) fue dividida en cuatro partes y se calculó la media y la desviación de cada una de ellas.

De este modo, se generó una matriz con 24 variables (correspondientes con las medias y desviaciones típicas de cada una de las matrices generadas con el análisis de Haralick) y 50 registros (10 correspondientes con pasadas completas y 40 con segmentos de las pasadas).

La matriz de variables fue sometida a un análisis de conglomerados (*cluster*). Se elige para el análisis estadístico el método jerárquico con distancia Canberra.

El método *cluster* se utiliza para clasificar a un conjunto de variables en grupos homogéneos. A priori, en este análisis los grupos son desconocidos por lo que se quieren determinar. El reto es el siguiente, tenemos un conjunto de 50 registros caracterizados por la información de 25 variables para que se puedan clasificar de manera que los registros pertenecientes a un grupo (*cluster*) (y siempre con la información disponible) sean tan similares entre sí como sea posible, siendo los distintos grupos entre si tan disimilares como sea posible (Raxó, Aguite y A Coba).

A pesar de conocer a priori el número de grupos que queremos clasificar se escogió el *cluster* jerárquico (frente al k-means) por permitir mayor flexibilidad en el tipo de distancias utilizadas. En este tipo de *cluster* los elementos se van fusionando 2 a 2 siguiendo una prelación o jerarquía, decreciendo la homogeneidad conforme se van haciendo más amplios.

Se ha utilizado la distancia “Canberra” ya que normaliza las variables para dar a todas el mismo peso en el análisis. Si x_i y y_i son ambos ceros, el i -ésimo término de la suma también es cero.

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^M \left| \frac{x_i + y_i}{x_i - y_i} \right| \quad (3)$$

Junto al análisis *cluster* se realizó un análisis de componentes principales (PCA) que permite eliminar la información redundante presente en las variables y obtener un nuevo grupo de variables no correlacionadas que agrupan un porcentaje de la varianza total de la matriz. En análisis exploratorios se suele utilizar el análisis de componentes principales (PCA) se realiza para eliminar posible ruido o información redundante introducida por las diferentes variables. Esta técnica se usa para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Intuitivamente, la técnica sirve para determinar el número de factores subyacentes explicativos tras el conjunto de datos que expliquen la variabilidad de dichos datos. Técnicamente, el PCA busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados y comporta el cálculo de la descomposición en autovalores de la matriz de covarianza, normalmente tras centrar los datos en la media de cada atributo [14].

III. RESULTADOS.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de los parámetros de Haralick. De los 50 registros, los 10 primeros pertenecen a las pasadas completas (3 de Raxó, 4 de Aguete y 3 de A coba), y los otros 40 son los obtenidos al dividir cada uno de estos en 4 partes iguales. Previamente a la muestra de resultados hay que tener en cuenta la nomenclatura usada para representar los resultados.

Banco	Pasada	Rumbo	Transecto completo	En 4 partes
Raxó	Pasada 2	33°	1	11-12-13-14
	Pasada 4	33°	2	15-16-17-18
	Pasada 3	218°	3	19-20-21-22
Aguete	Pasada 1	60°	4	23-24-25-26
	Pasada 5	60°	5	27-28-29-30
	Pasada 2	240°	6	31-32-33-34
	Pasada 4	240°	7	35-36-37-38
A Coba	Pasada 1	218°	8	39-40-41-42
	Pasada 5	218°	9	43-44-45-46
	Pasada 2	39°	10	47-48-49-50

Tabla 10. Número de referencia de los 50 registros usados.

Se tuvieron en cuenta la situación de los puntos de buceo respecto a los tramos. Se ubicaron en un mapa las coordenadas de los puntos de buceo y todos los tramos de las pasadas para compararlos con el análisis granulométrico y la densidad de navajas.

Puntos buceo	Granulometría	Densidad de bivalvos	Tramos
3	Arena fina-media	Alta	[11,12]
4	Arena media-gruesa	Alta	[15,22]
5	Arena fina-media	Baja	[31,35]
6	Arena media-gruesa	Media	[34,38,27,23]
7	Arena gruesa	Ausencia	[39,43,50]
8	Arena media-gruesa	Ausencia	[42,46,47]

Tabla 11. Se comparan los datos de campo con la localización de los segmentos de pasada.

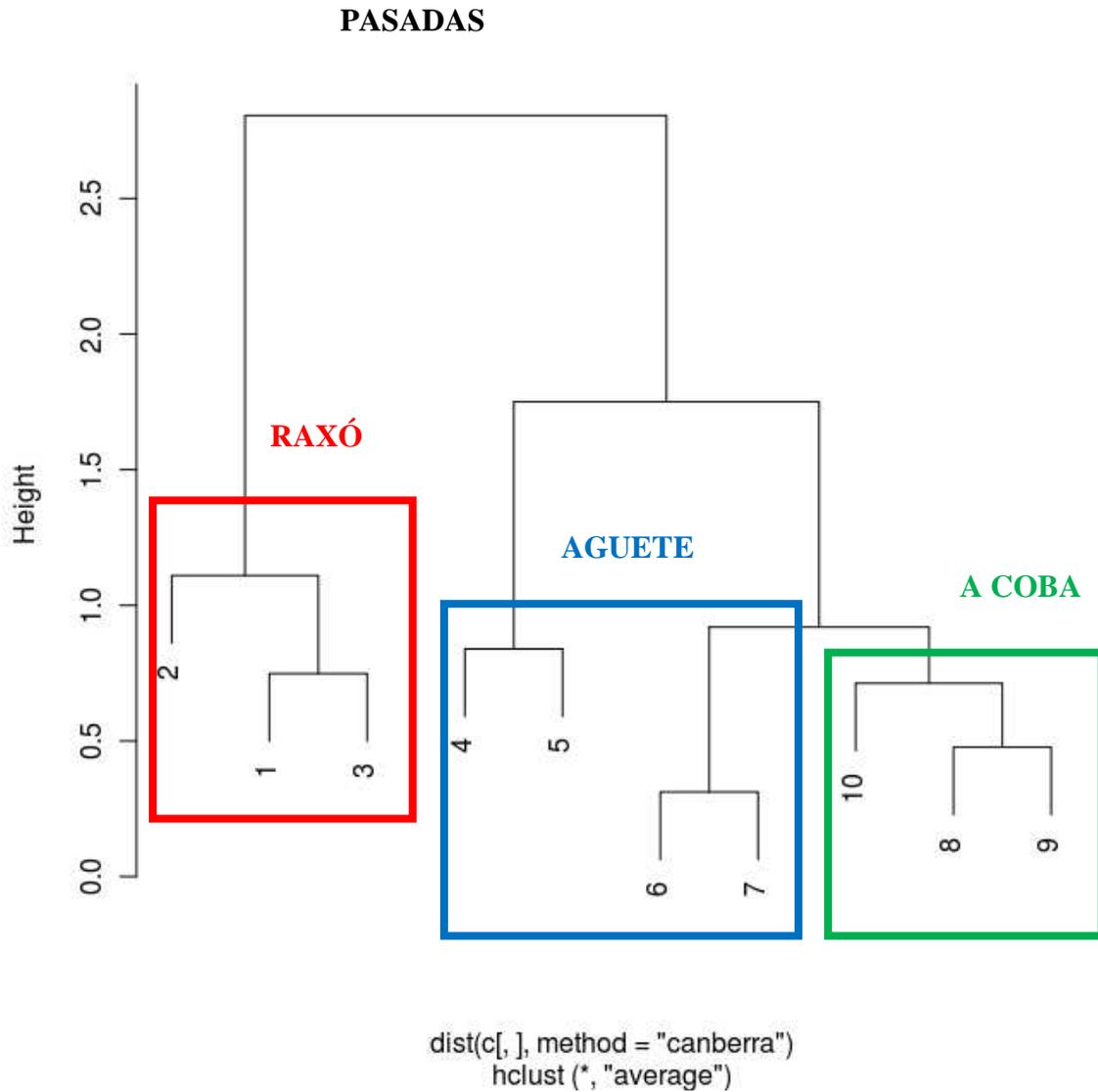
III.1. Clasificación 1: Pasadas.

Se realizó la configuración usando las 10 pasadas.

1-3: Raxó

4-7: Aguate

8-10: A Coba



Se presenta una clasificación “satisfactoria” de los transectos (Raxó en rojo, Aguate en azul y A Coba en verde). Se observa que Raxó presenta mayores diferencias respecto a Aguate y A Coba que aparecen más mezclados.

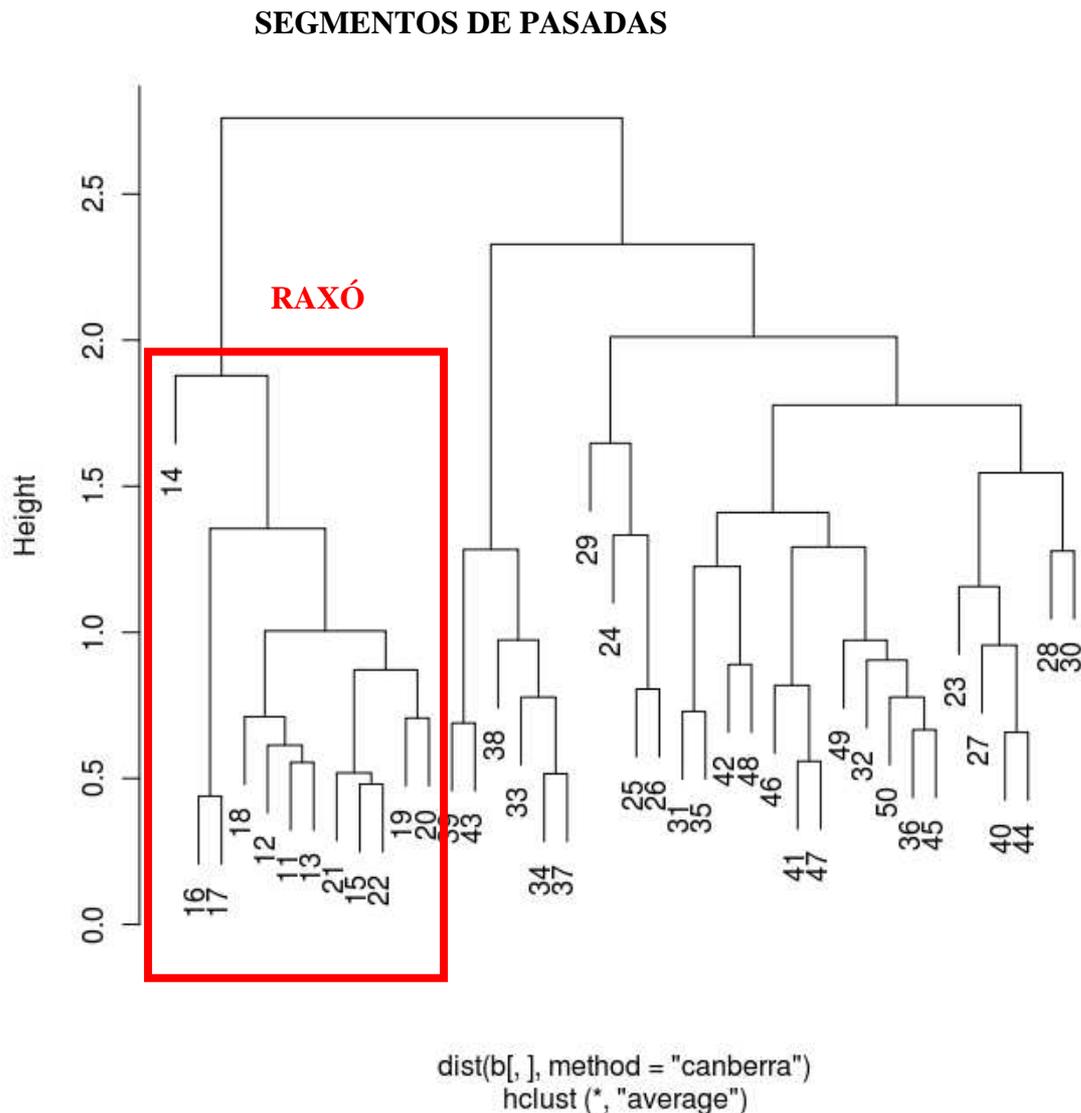
III.2. Clasificación 2: Segmentos de pasadas.

Se realizó la configuración usando los 40 segmentos de pasadas.

11-22: Raxó

23-38: Agüete

39-50: A Caba



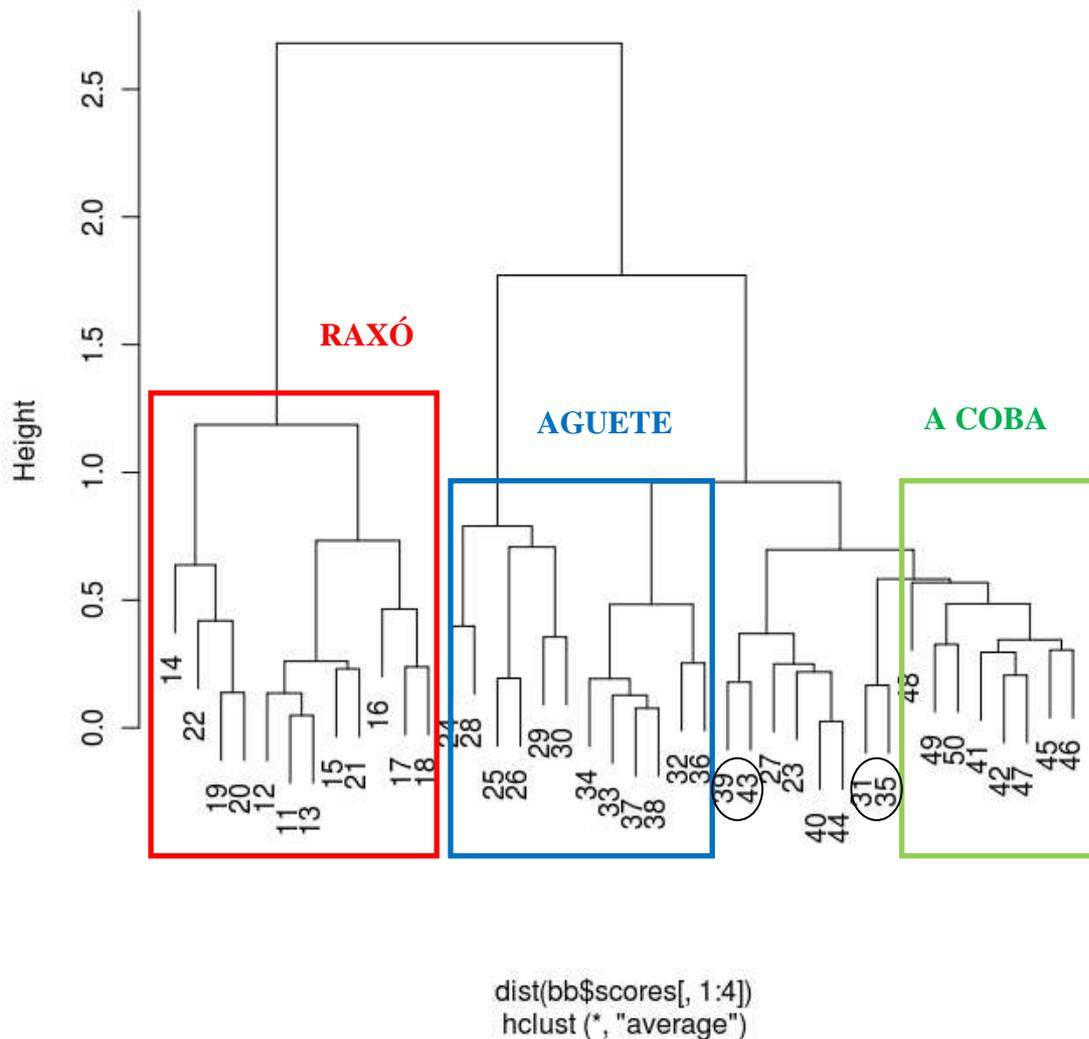
En la clasificación se muestran los segmentos de pasadas de Raxó correctamente agrupados y separados de los otros dos bancos. En cambio, los segmentos de pasadas de Agüete y A Caba aparecen mezclados. Para eliminar posible “ruido” o información redundante introducida por las diferentes variables se realiza un análisis de componentes principales (PCA). Los primeros componentes principales concentran más del 99% de la variabilidad. Estos 4 componentes se

utilizan para realizar una nueva clasificación (esta vez cluster-“average”), porque las variables ya están normalizadas.

III.3. Clasificación 3: Segmentos de pasadas. PCA-4 componentes.

11-22: Raxó 23-38: Agüete 39-50: A Caba

SEGMENTOS DE PASADAS PCA-4 COMPONENTES



La clasificación sigue agrupando todos los segmentos de pasadas de Raxó correctamente y mejora la clasificación de Agüete y A Caba. Sin embargo, sigue apareciendo un grupo mixto de los segmentos de pasadas de Agüete y A Caba. Este grupo se compara con los datos de campo (puntos donde granulometría y densidad de bivalvos son conocidos).

Además del análisis conjunto, con el fin de descartar un efecto debido al rumbo, se repitieron los análisis para las pasadas que dejan la costa a babor y para aquellas que la dejan a estribor por separado.

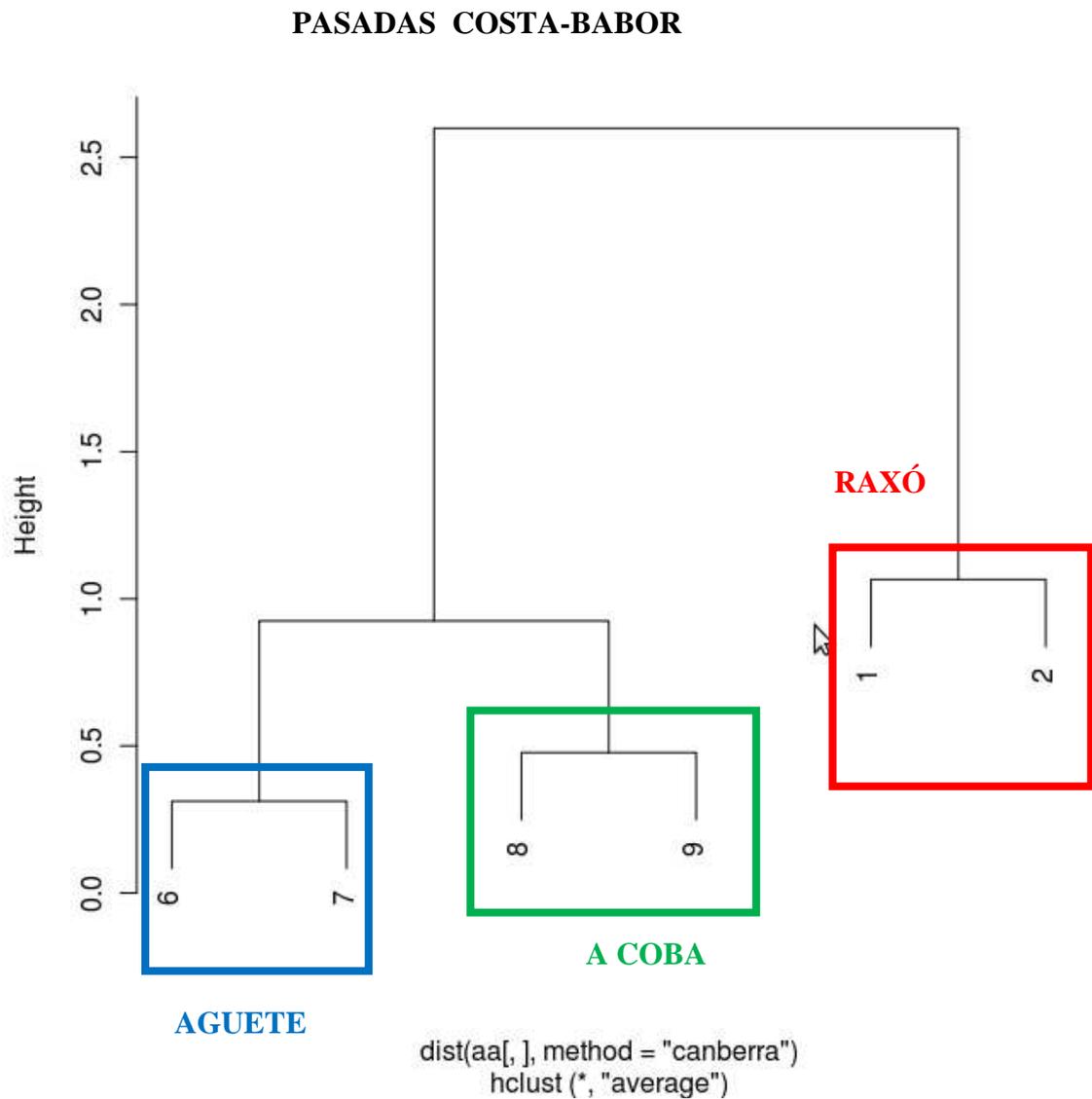
III.4. Clasificación 4: Pasadas Costa-babor.

Se realizó la siguiente clasificación teniendo en cuenta el rumbo de las Pasadas dejando costa a babor. Se realizó la clasificación de los rumbos 33° , 240° y 218° y se analizaron 6 pasadas:

1-2: Raxó

6-7: Aguate

8-9: A Coba



En este caso se observa también una clasificación correcta de todas las pasadas. De nuevo las pasadas correspondientes a Raxó son diferenciadas del resto en una primera división.

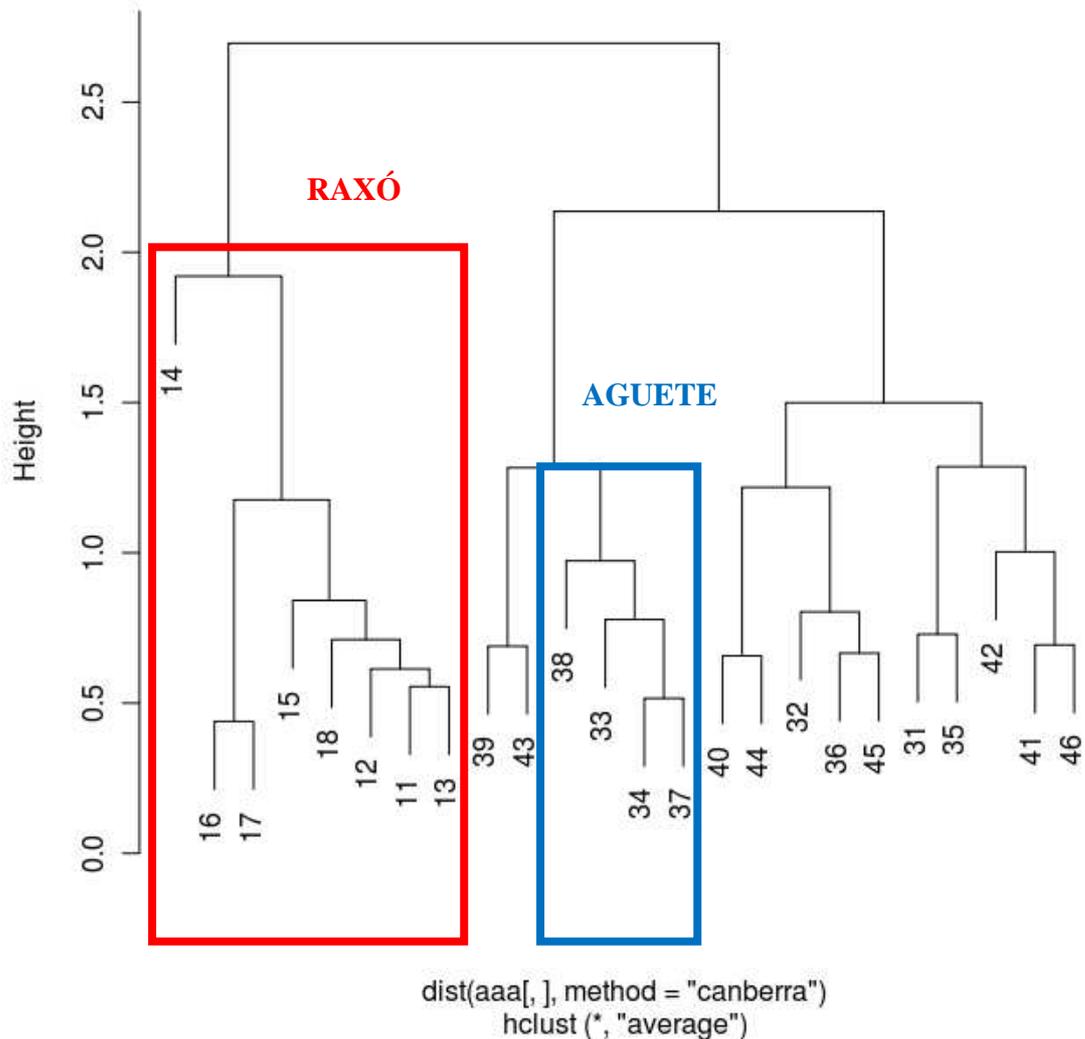
III.5. Clasificación 5: Segmentos de pasadas Costa-babor.

11-18: Raxó (Pasada 2 y 4)

31-38: Aguite (Pasada 2 y 4)

39-46: A Coba (Pasada 1 y 5)

SEGMENTOS DE PASADAS COSTA-BABOR



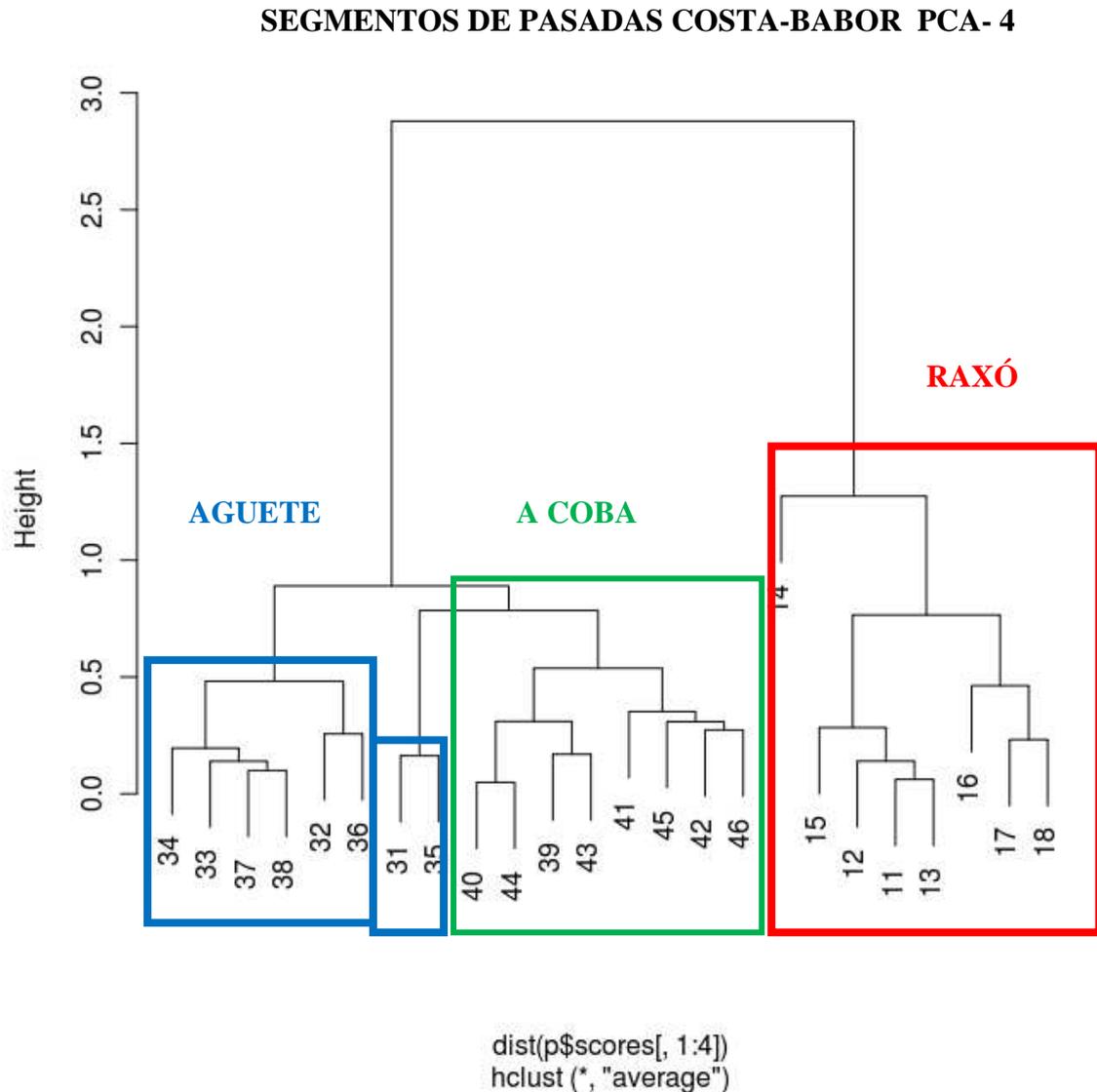
El dendrograma obtenido únicamente presenta correctamente clasificado el banco de Raxó. Los bancos de Aguite y A Coba, sin embargo, aparecen de nuevo mezclados. Para eliminar posible ruido o información redundante se aplica el análisis de componentes principales (PCA). Los cuatro primeros componentes obtenidos con el análisis PCA concentran más del 99% de la variabilidad de la matriz, por lo que se utilizarán estos 4 componentes para realizar la nueva clasificación.

III.6. Clasificación 6: Segmentos de pasadas Costa-babor. PCA-4 componentes.

11-18: Raxó (Pasada 2 y 4)

31-38: Aguete (Pasada 2 y 4)

39-46: A Coba (Pasada 1 y 5)



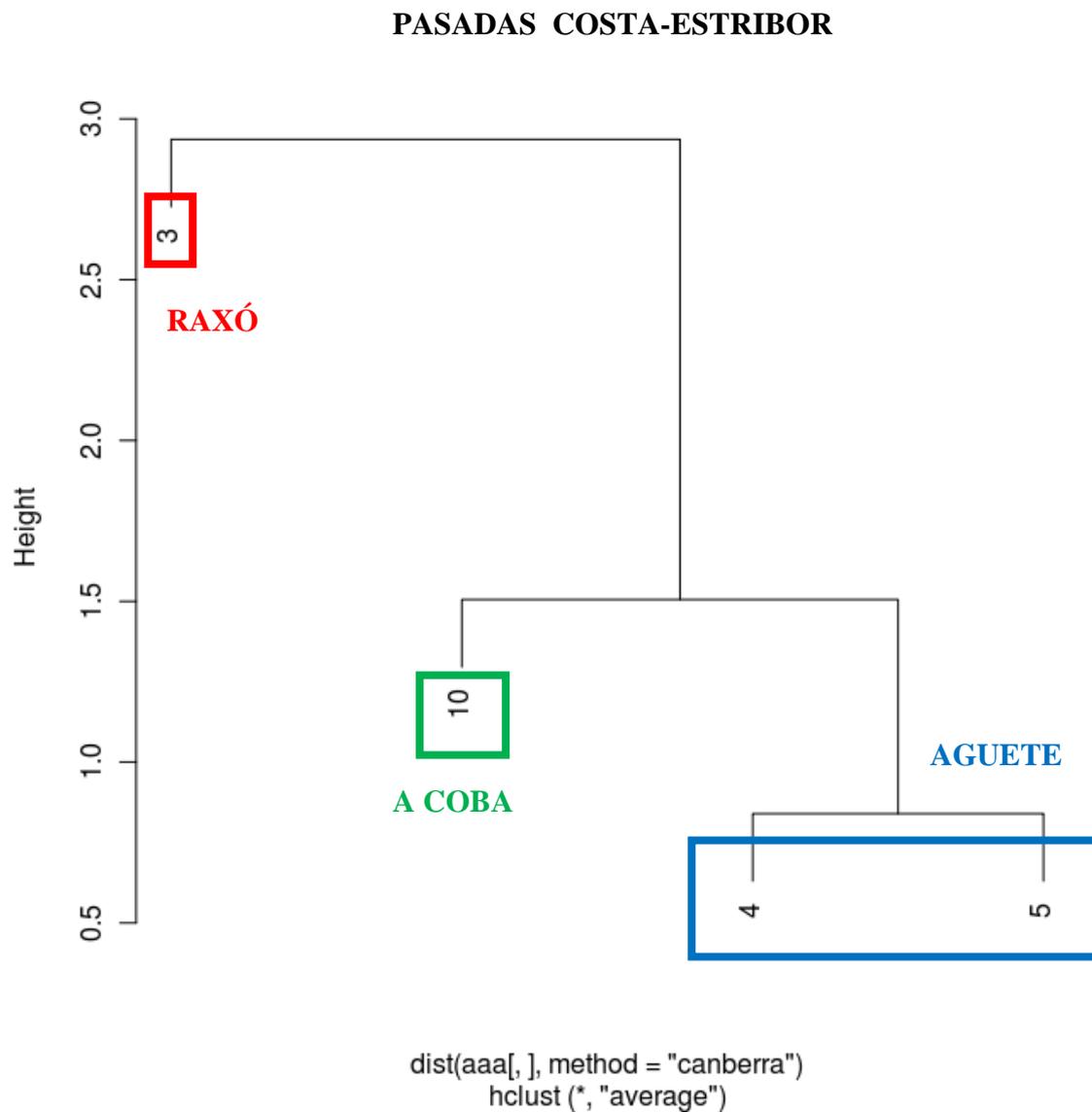
El análisis de los componentes principales muestra una notable mejora en la clasificación obtenida. En este caso los segmentos de las pasadas de los 3 bancos son clasificados correctamente. Únicamente los segmentos del banco Aguete 31 y 35 (correspondientes con el punto de buceo 5, de densidad de solénidos baja) son clasificados junto a los de A Coba (no productivos). Este resultado refuerza la hipótesis de que la clasificación obtenida separa correctamente áreas en función del contenido de solénidos.

III.7. Clasificación 7: Pasadas Costa-estribor.

3: Raxó (Pasada 3)

4-5: Agüete (Pasada 1 y 5)

10: A Coba (Pasada 2)



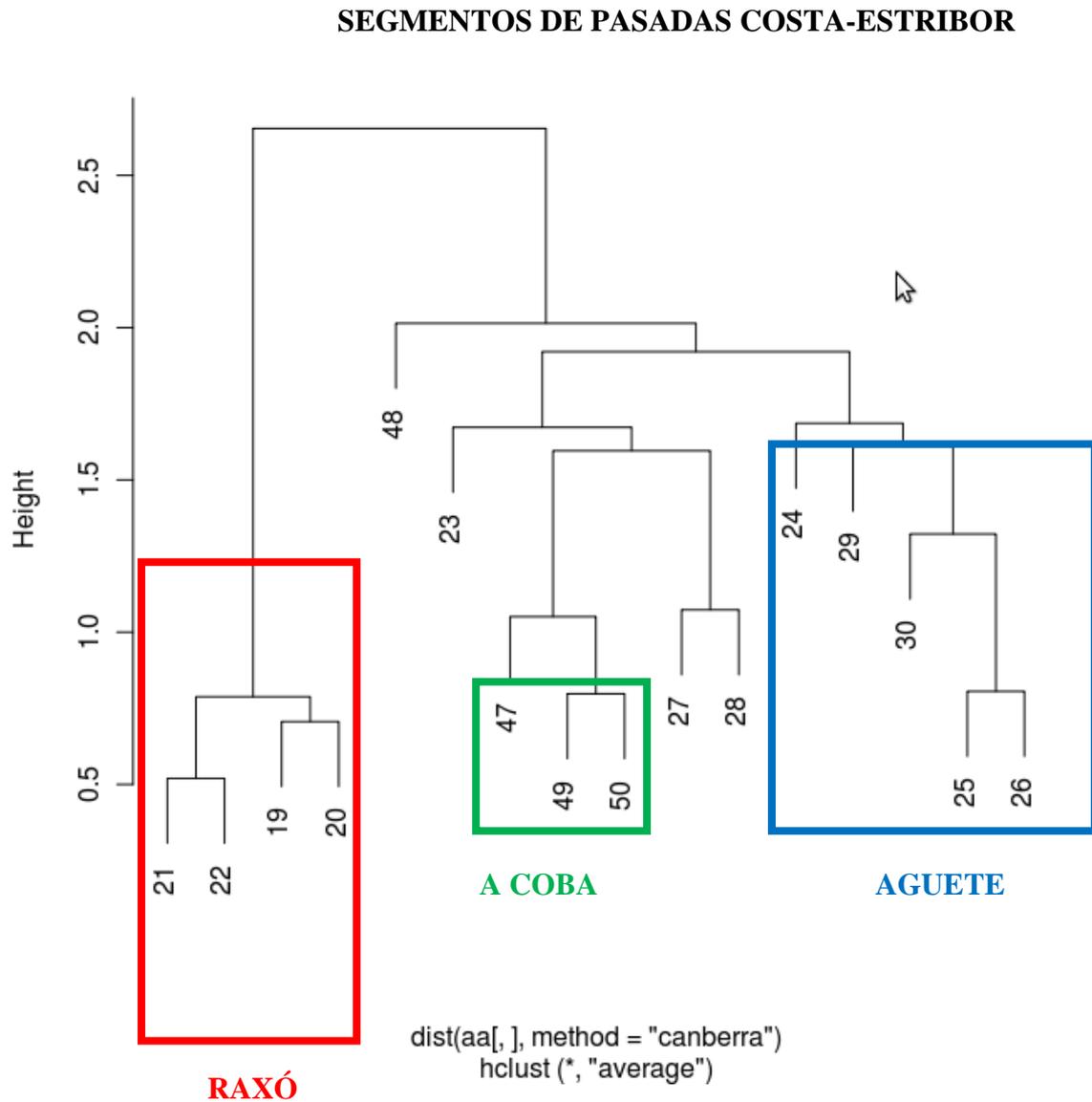
Se observa que Raxó aparece diferenciado. Mientras que A Coba y Agüete aparecen como un grupo mixto.

III.8. Clasificación 8: Segmentos de pasadas Costa-estribor.

19-21: Raxó (Pasada 3)

23-30: Agüete (Pasada 1 y 5)

47-50: A Coba (Pasada 2)



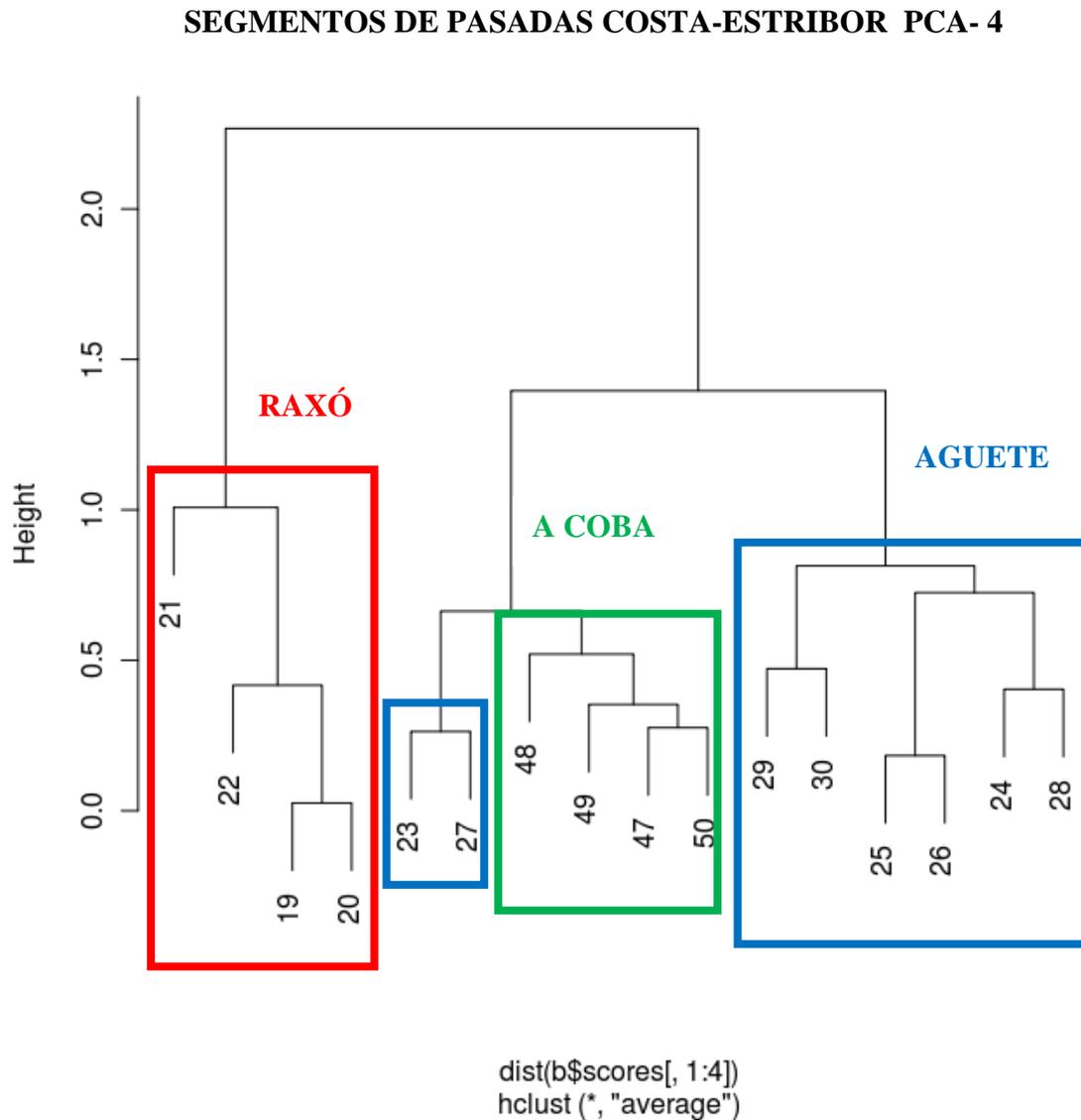
Se agrupa correctamente el banco de Raxó, pero algunos subgrupos de Agüete aparecen mezclados con A Coba. En este caso, dado que el número de variables era mayor al de registros de la matriz, para realizar el PCA se eliminaron del análisis las 8 variables que menos peso habían presentado en el caso anterior (costa-babor).

III.9. Clasificación 9: Segmentos de pasadas Costa-estribor. PCA-4 componentes.

19-21: Raxó (Pasada 3)

23-30: Agüete (Pasada 1 y 5)

47-50: A Coba (Pasada 2)



En este caso también se observa que uno de los segmentos de Agüete (23 y 27) aparece clasificado junto con el banco de A Coba. Sin embargo, en este caso no se trata del segmento con densidad baja como en el caso anterior.

Los resultados obtenidos presentan clasificaciones correctas al 100% cuando se utilizan las pasadas completas como unidad de análisis.

Por otro lado, el análisis detallado de los segmentos de las pasadas muestra una mayor confusión entre los transectos de A Coba y Aguete, sin conseguir una clasificación óptima cuando se trabaja con todas las pasadas.

Sin embargo, el análisis de los diferentes segmentos, separados en función del rumbo (dejando la costa a babor y a estribor), junto con el uso de PCA, permite mejorar notablemente la clasificación. Obteniendo una clasificación correcta de los datos.

Este efecto del rumbo, observado únicamente en los bancos de Aguete y A Coba, no era esperable, a priori, por lo que debe deberse a alguna característica del sustrato. Una hipótesis plausible podría ser que es consecuencia del efecto de los ripples (estructuras del fondo no simétricas, direccionales) en las medidas angulares. Estas estructuras fueron observadas en algunos puntos de muestreos de estos bancos (no en Raxó). Un análisis exploratorio realizado con todos los segmentos (de ambas direcciones) a excepción de aquellos correspondientes con las zonas donde fueron detectados los ripples, mejora el resultado obtenido, por lo que apoya esta hipótesis

IV. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

Los resultados de la clasificación nos muestran que al realizar el análisis de los datos angulares recogidos con el transductor Split beam y someterlos a un análisis estadísticos se obtiene una clasificación exitosa, consiguiendo diferenciar los tres bancos estudiados. Los resultados muestran no solo una clasificación acorde a la densidad de bivalvos solénidos, sino una estructura interna dentro de los bancos coherente con la distribución granulométrica.

Los resultados muestran una nueva técnica no invasiva para el cartografiado de bivalvos solénidos. Hay que tener en cuenta que este método realiza una clasificación relativa, ya que no permite cuantificar la densidad de bivalvos, por lo que sigue siendo imprescindible la obtención de datos de caracterización del sedimento y de las comunidades biológicas para poder realizar la clasificación.

Sin embargo, el análisis exploratorio realizado a las distribuciones angulares dentro del sedimento apunta a que estos valores contienen gran cantidad de información relativa al tipo de fondo, que podría ser aislada en futuros estudios permitiendo realizar análisis absolutos (sin necesidad de datos de campo para las clasificaciones).

En este sentido se propone como futura línea de investigación un análisis angular detallado utilizando medidas estáticas en diferentes tipos de sedimento (suelo arenoso, suelo fangoso y suelo rocoso) que permita la distribución angular en función del tipo de sedimento.

AGRADECIMIENTOS

Las medidas presentadas en este trabajo han sido realizadas bajo el soporte económico de la empresa Fismare, por este motivo tanto autor como directores agradecen su colaboración. Agradezco personalmente al Dr. Helge Balk de la Universidad de Oslo, por su asesoramiento durante el proceso de tratamiento de los datos. También quiero agradecer a Marius Norvoll y a Daniel Rodriguez la ayuda y consejos ofrecidos durante el desarrollo de las aplicaciones en Matlab® presentadas en este documento, así como a Miguel Rodilla por el asesoramiento científico en la caracterización de sedimentos.

REFERENCIAS

- [1] J.Freire, A. García-Allut, *Socio-economic and biological causes of management failures in European artisanal fisheries: the case of Galicia (NW Spain)*. Marine Policy, 2000, 24 (5): 375-384.
- [2] J D. Penrose, P J W. Siwabessy, A. Gavrilov, I. Parnum, L J. Hamilton, A. Bickers, B. Brooke, D A. Ryan, P. Kennedy, *Acoustic Techniques for Seabed Classification*. Cooperative Research Centre for Coastal Zone Estuary and Waterway Management: Technical Report No 32, 2007, ch. 1-3.
- [3] L J. Hamilton, *A bibliography of acoustic seabed classification*. Cooperative Research Centre for Coastal Zone Estuary and Waterway Management: Technical Report No 27, April 2005.
- [4] T. Jiang Ping *et al.* *Species identification of Chinese sturgeon using acoustic descriptors and ascertaining their spatial distribution in the spawning ground of Gezhouba Dam*. Chinese Science Bulletin. 2009. 54(21).
- [5] E, Huntin *et al.* *Acoustic detection of scallop bed from a single-beam echosounder in the St. Lawrence*. Journal of Marine Science. 2005. 62:966-983.
- [6] M. Snellen *et al.* *High frequency scattering measurements for mussel bed characterization*. Journal of the Acoustic Society of America. 2008. 123(5):3627-3627.
- [7] Tenore, K *et al.* “*Fisheries and oceanography off Galicia, NW Spain: Mesoscale spatial and temporal changes in physical processes and resultant patterns of biological productivity*”. Journal of Geophysical Research, 100(C6): 10943-1096 (1995).
- [8] Hickey, BM, Banas, NS. “*Oceanography of the U.S Pacific Northwest Coastal Ocean and estuaries with application to coastal ecology*. *Estuarine Coastal*, 26(4):1010-1031 (2003).
- [9] Simrad ER60. “*Scientific echo sounder software*”. Reference manual. Release 2.2.0. 164692/C. 11-January-2008.p173. www.simrad.es
- [10] Jech, J.M., Chu, D., Foote, K.G, Hammar, T.R., Hufnagle, L.C, “*Calibrating two scientific echo sounders*” OCEANS 2003. Pro-ceedings. Pages 1625-1629, Vol.3.
- [11] Demer, D.A., Soule, M.A., Hewitt, R.P.,. “*A multiple-frequency method for potentially improving the accuracy and precision of in situ target strength measurements*”. J. Acoust. Soc. Am. 105 (4), 2359-2376.(1999)
- [12] Haralick, R *et al.* “*Textural features for image classification*”. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 3(6):610-621 (1973).
- [13] Albrechtsen, F. *et al* “*Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Cooccurrence Matrices*”, Department of Informatics, University of Oslo, November 5, 2008.
- [14] Tusell, T, Estadística: Análisis multivariante (15763) Curso 2007-2008. Departamento de Economía Aplicada III. (Econometría y Estadística). Facultad de CCEE y Empresariales.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones del transductor utilizado. ES200-7C

Simrad ES200-7C

Split beam echo sounder transducer

Introduction

The Simrad ES200-7C is a split-beam composite transducer with a large bandwidth. This provides a fine range resolution, which is important for single fish detection and target strength measurement. The transducer has four quadrants.

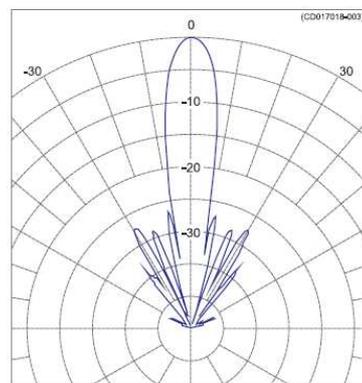
Order number

KSV-203003

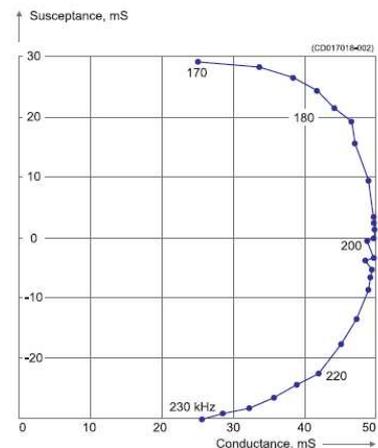
Technical specifications

The following specifications are valid when all four quadrants are wired in parallel.

- Resonant frequency: 200 kHz
- Circular beamwidth: 7 deg
- Directivity:
 - D: 650
 - DI = 10 log D: 28 dB
- Equivalent two-way beam angle:
 - Ψ : 0.009
 - 10 log Ψ : -20.5 dB
- Side lobes: Less than -23 dB
- Back radiation: Less than -40 dB
- Nominal impedance: 19 Ω
(Each quadrant: 75 Ω)
- Transmitting response: 185 dB re 1 μ Pa per V
- Receiving sensitivity, open circuit: -190 dB re 1V per μ Pa
- Electro-acoustic efficiency: 0.75
- Max. pulse power input: 1000 W
- Max. continuous input: 10 W
- Max. transducer depth: 20 m
- Cable length: 20 m
- Cable diameter: 10.6 mm
- Weight: 1.1 kg
- Storage temperature: -20° to 70°C

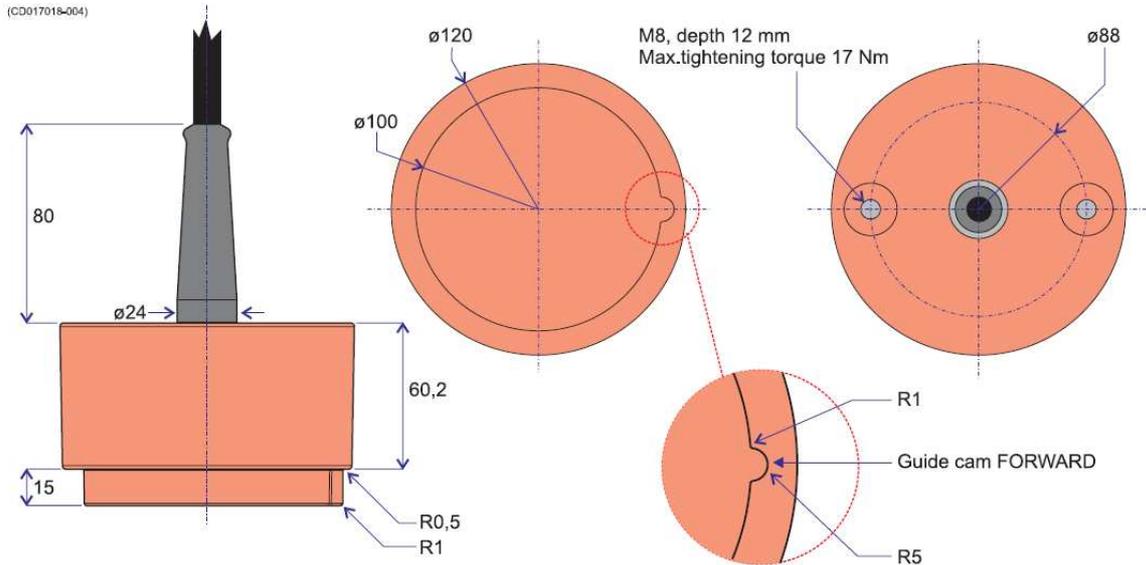


Beam pattern

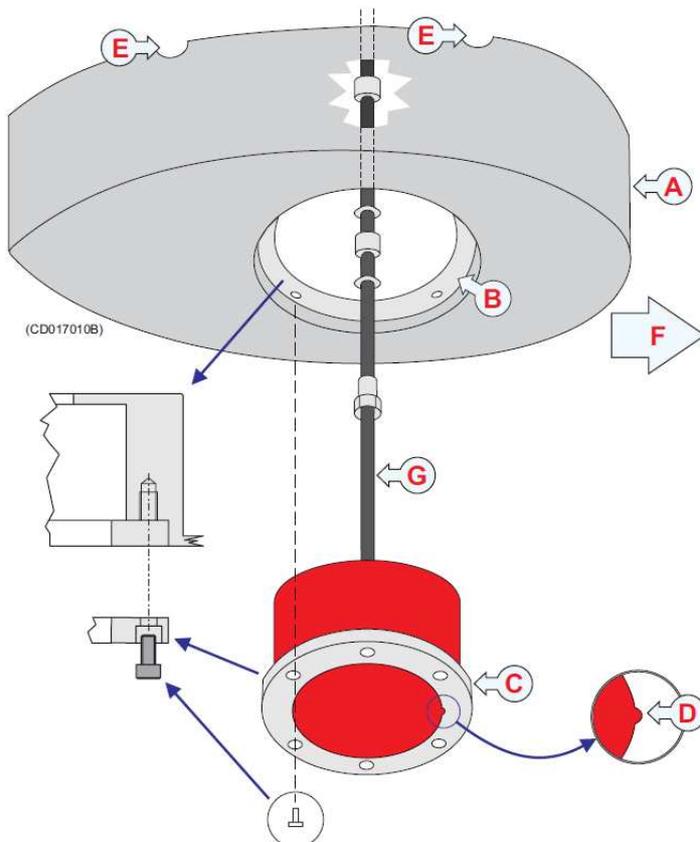


Admittance

Simrad ES200-7C

**Outline dimensions**

All dimensions in mm

**Installation principle**

- A Steel blister, must be manufactured by the shipyard
- B Mounting ring
- C Clamping ring
- D Guide to indicate "Forward"
- E Air outlet
- F Forward
- G Transducer cable

For more information regarding installation, refer to the *Simrad ES200-7C Installation manual*.

855-204465 / Rev.E / January 2009

Simrad

Kongsberg Maritime AS
Strandpromenaden 50
P.O.Box 111
N-3191 Horten, Norway

Telephone: +47 33 03 40 00
Telefax: +47 33 04 29 87
www.simrad.com
simrad.sales@simrad.com

SIMRAD

Anexo 2 Tecnología Split beam

La particularidad del sistema “split beam” consiste en conocer el ángulo de cada individuo detectado sobre el eje vertical del transductor, esto es posible porque el transductor está dividido en cuatro sectores, con un receptor propio en el transceptor que procesa por separado cada eco, determinando exactamente su ángulo respecto a la vertical del transductor, ya que este es proporcional al desfase del eco recibido.

En un ecograma, cada individuo en un cardumen suele ser detectado varias veces, ya que la cadencia de transmisión en las ecosondas es bastante elevada. Cuando el individuo se encuentra en la parte exterior del haz, el eco que le llega a la ecosonda es más débil y lejano. A medida que el individuo entra en el centro del haz, el eco es más fuerte y cercano. Esto hace que una detección del mismo individuo en una sonda convencional varíe en intensidad en función de su posición, con lo cual su reflectividad no puede ser determinada, y por extensión su tamaño. Por ejemplo, un pez de mayor tamaño en la parte exterior del haz, nos proporcionará un eco de la misma intensidad que un pez menor en el centro del haz. Esto indica que una ecosonda convencional no puede utilizarse para determinar el tamaño de los individuos que componen un cardumen. Así pues, conocida la posición de cada individuo dentro del haz del transductor, debido a la tecnología “Split Beam”, se pueden compensar las pérdidas por directividad del haz, haciendo que un eco sea interpretado con la misma intensidad, independientemente de su posición en el haz de la ecosonda.

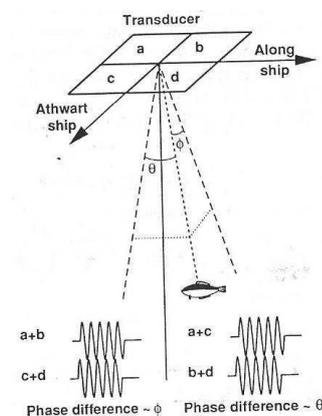


Fig. Transductor Split beam.

El pulso de transmisión es aplicado en todo el transductor, pero las señales recibidas por cada cuadrante son procesadas de forma separada. Se va a comentar el funcionamiento interno de un transductor Split beam suponiendo que los cuatro cuadrantes son nombrados de la “a” a la “d” como se observa en la Fig. 2. El ángulo θ del blanco es determinado en un plano por las diferencias de fase (a-b) y (c-d), que deberían ser lo mismo. En la práctica, las señales que se suman son (a+c) y se comparan con (b+d). El ángulo Φ en el plano perpendicular al primero es determinado de forma similar, se comparan las diferencias de fase entre las señales (a+b) y (c+d).

Anexo 3. Archivos de programa y funciones Matlab®

Script: readraw.m

- Abre el archivo *.raw* de la ruta especificada.
- Define algunos parámetros del formato del archivo y se precisa la profundidad que se quiere mostrar (en este caso, se definen 50 metros).
- Obtiene el número de pings que contiene el archivo. *raw* (usa la función *cuantospings*)
- Abre el archivo. *raw*
- Lee la longitud del datagrama de configuración, lee el encabezado del datagrama usando la función *readdgheader*, lee la configuración usando la función *readconfigheader*
- Hasta final de archivo
 - Lee la longitud de cada datagrama y su cabecera (tipo y fecha de generación).
 - Casos NMEA y TAG0 los salta.
 - En el caso del primer datagrama RAW0, lee la cabecera (usando *readsampledata*), calcula el número de bins que se almacenaran (en función de la profundidad seleccionada) y se inicializan las matrices de potencia y ángulos (*At,Al*).
 - Para los demás datagramas se saltan los bytes de la cabecera para agilizar el proceso, usando *fseek(fid,68,'cof')*.
 - Se leen los datos de potencia (int 16) y se guardan en escala decibélica.
 - Se leen los datos angulares (como pares int8, int8) y se almacenan en vectores separados.
 - Se cierra el archivo
 - Las variables angulares (en valores eléctricos, entre -127 y 128) se convierten a valores angulares (en grados) usando la función *convert_elect2mech*.
 - Las matrices de potencia y angulares se ajustan a la posición del fondo usando la función *bottomdetector*.

```

% Reading EK60 raw data file
% Simrad, Lars Nonboe Andersen, 1/8-05

clear all
close all

[filename, pathname] = uigetfile('*.raw', 'Select raw data
file','C:\Documents and
Settings\Administrador\Escritorio\TESINA\navalla_ord\');
% te abre un cuadro de dialogo para seleccionar el fichero a leer
fname = [pathname filename];

%Parámetros de inicio
prof=50; %máxima profundidad a la que guarda los datos.
headerlength = 12; % Bytes in datagram header
pingno = 0;
pingmax=cuantspings(fname);%llama a la función cuantspings para
calcular el nº pings almacenados en el raw.

%Lectura del fichero

fid = fopen(fname,'r');
if (fid==-1)
    error('Could not open file');
else
    % Lee la configuración del datagrama
    length = fread(fid,1,'int32');
    dgheader = readdgheader(fid);
    configheader = readconfigheader(fid);
    for i=1:configheader.transducercount,
        configtransducer(i) = readconfigtransducer(fid);
    end
    config = struct('header',configheader,'transducer',configtransducer);
    length = fread(fid,1,'int32');

    % Read NMEA, Annotation, or Sample datagram
    while (1)
        length = fread(fid,1,'int32');
        if (feof(fid))
            break
        end
        dgheader = readdgheader(fid);
        switch (dgheader.datagramtype)
        case 'NME0' % NMEA datagram
            text = readtextdata(fid,length-headerlength);
            %disp('NME0');
        case 'TAG0' % Annotation datagram
            text = readtextdata(fid,length-headerlength);
            %disp('TAG0');
        case 'RAW0' % Sample datagram
            pingno = pingno +1;
            if pingno==1 %Para que solo lea la cabecera una vez
                [sampledata] = readsampleddata(fid);

nprof=floor(prof/(sampledata.soundvelocity*sampledata.sampleinterval/2));
%Nº de muestras para la profundidad seleccionada
        sampledata.power=zeros(nprof,pingmax);%se crea la
matriz para almacenar los valores de potencia
        %sampledata.angle=zeros(2,nprof);
        sampledata.alongship=zeros(nprof,pingmax);%se crea la
matriz para almacenar los valores angulares Al
        sampledata.athwartship=zeros(nprof,pingmax);%se crea
la matriz para almacenar los valores angulares At

```



```

save Al Al
save At At

%% Cuantos pings tiene un .RAW

function pingmax=cuantspings(fname)

headerlength=12;
pingno=0;
fid=fopen(fname,'r');
if (fid==-1)
    error('Could not open file');
else
    fseek(fid,4,'cof');
    fseek(fid,12,'cof');
    fseek(fid,512,'cof');
    transducercount = fread(fid,1,'int32');
    fseek(fid,320*transducercount,'cof');
    fseek(fid,4,'cof');
    while (1)
        filelength = fread(fid,1,'int32');
        if (feof(fid))
            break
        end
        datagramtype=char(fread(fid,4,'char'));
        fseek(fid,8,'cof');
        switch (datagramtype)
            case 'NME0'
                fseek(fid,filelength-headerlength,'cof');
            case 'TAG0'
                fseek(fid,filelength-headerlength,'cof');
            case 'RAW0'
                pingno = pingno +1;
                if pingno==1
                    fseek(fid,2,'cof');
                    mode_low = fread(fid,1,'int8');
                    mode_high = fread(fid,1,'int8');
                    sampledata.mode = 256*mode_high + mode_low;
                    fseek(fid,64,'cof');
                else
                    fseek(fid,68,'cof');
                end
                sampledata.count=fread(fid,1,'int32');
                fseek(fid,sampledata.count*2,'cof');
                if (sampledata.mode>1)
                    fseek(fid,2*sampledata.count,'cof');
                end

                otherwise
                    error(strcat('Unknown datagram ',datagramtype,' ' in
file'));
                end
                filelength = fread(fid,1,'int32');

        end
        fclose(fid);
        clear fid, clear length, clear headerlength, clear i,
    end
pingmax=pingno;
% Reading EK60 raw data file datagram header
% Simrad, Lars Nonboe Andersen, 8/5-03

function dgheader = readdgheader(fid);

```

```

dgheader.datagramtype = char(fread(fid,4,'char'));

lowdatetime = fread(fid,1,'uint32');
highdatetime = fread(fid,1,'uint32');

dgheader.datetime = NTTime2Mlab(highdatetime*2^32 + lowdatetime);

% Reading EK60 raw data file configuration transducer
% Simrad, Lars Nonboe Andersen, 8/5-03

function configtransducer = readconfigtransducer(fid);

configtransducer.channelid = char(fread(fid,128,'char'));
configtransducer.beamtype = fread(fid,1,'int32');
configtransducer.frequency = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.gain = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.equivalentbeamangle = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.beamwidthalongship = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.beamwidthathwartship = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.anglesensitivityalongship = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.anglesensitivityathwartship = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.angleoffsetalongship = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.angleoffsetathwartship = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.posx = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.posy = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.posz = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.dirx = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.diry = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.dirz = fread(fid,1,'float32');
configtransducer.pulselengthtable = fread(fid,5,'float32');
configtransducer.spare2 = char(fread(fid,8,'char'));
configtransducer.gaintable = fread(fid,5,'float32');
configtransducer.spare3 = char(fread(fid,8,'char'));
configtransducer.sacorrecciontable = fread(fid,5,'float32');
configtransducer.spare4 = char(fread(fid,52,'char'));

% Reading EK60 raw data file sample data
% Simrad, Lars Nonboe Andersen, 12/04-02

function sampledata = readsampledata(fid)

sampledata.channel = fread(fid,1,'int16'); %2
mode_low = fread(fid,1,'int8'); %3
mode_high = fread(fid,1,'int8'); %4
sampledata.mode = 256*mode_high + mode_low;
sampledata.transducerdepth = fread(fid,1,'float32'); %8
sampledata.frequency = fread(fid,1,'float32'); %12
sampledata.transmitpower = fread(fid,1,'float32'); %16
sampledata.pulselength = fread(fid,1,'float32'); %20
sampledata.bandwidth = fread(fid,1,'float32'); %24
sampledata.sampleinterval = fread(fid,1,'float32'); %28
sampledata.soundvelocity = fread(fid,1,'float32'); %32
sampledata.absorptioncoefficient = fread(fid,1,'float32'); %36
sampledata.heave = fread(fid,1,'float32'); %40
sampledata.roll = fread(fid,1,'float32'); %44
sampledata.pitch = fread(fid,1,'float32'); %48
sampledata.temperature = fread(fid,1,'float32'); %52
sampledata.trawlupperdepthvalid = fread(fid,1,'int16'); %54
sampledata.trawlopeningvalid = fread(fid,1,'int16'); %56
sampledata.trawlupperdepth = fread(fid,1,'float32'); %60
sampledata.trawlopening = fread(fid,1,'float32'); %64
sampledata.offset = fread(fid,1,'int32'); %68
sampledata.count = fread(fid,1,'int32'); %72

```

```

function mtime=NTTime2Mlab(NTTime)
% NTTime2Mlab - converts from NT time to matlab serial time as returned
from datenum
% mtime=NTTime2Mlab(NTTime) - Converts the NTTime vector containing
time in NT format
%
%                               to matlab serial time.Output can be used
directly into datestr
% Ruben Patel IMR

import java.util.GregorianCalendar;
import java.util.TimeZone;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.sql.Timestamp;

cal = GregorianCalendar;

NT_START_CAL=GregorianCalendar(1601, 0, 1);
GMT = TimeZone.getTimeZone('GMT');
NT_START_CAL.setTimeZone(GMT);
NT_START_DATE= -
1164447360000.0;%NT_START_CAL.get(NT_START_CAL.MILLISECOND);
OUT_DATE_FORMAT = SimpleDateFormat('dd-MMM-yyyy HH:mm:ss');
OUT_DATE_FORMAT.setTimeZone(GMT);
for i=1:length(NTTime)
    mlabMilli=(NTTime(i)/10000.0)+NT_START_DATE;
    date = Timestamp(mlabMilli);
    cal.setTime(date);

mtime(i)=datenum(cal.get(cal.YEAR),cal.get(cal.MONTH)+1,cal.get(cal.DAY_OF_MONTH),cal.get(cal.HOUR_OF_DAY),cal.get(cal.MINUTE),cal.get(cal.SECOND))+date.getNanos*1e-9);
end

```

Función: convert_elect2mech(Alo_elec,Ath_elec)

- Se define la sensibilidad angular y los offsets de calibración en las dos direcciones angulares
- Los valores angulares eléctricos (diferencias de fase entre la señal en el eje y la señal recibida fuera de éste) se vuelve a escalar de [-127:128] a [-7.7:7.8], incluyendo la desviación de los respectivos offsets.
- La fórmula de conversión

$$\alpha_{aion} = \frac{180}{\pi} \arcsin\left(\frac{\phi_{elec}}{kd_{aio}}\right) - \alpha_{0,aion}$$

Donde $\phi_{elec} = (\pi/128)A_{ele}$ con A_{ele} valor entero proporcionado por la ecosonda y $kd_{aio} \approx 23$ el producto del vector de onda por la distancia efectiva al eje desde los detectores en la dirección longitudinal (análogamente para el ángulo en la dirección transversal). Como los valores del argumento del arco seno serán pequeños (en radianes), se puede hacer la aproximación $\arcsin x \approx x$, obteniéndose la expresión usada

$$\alpha_{\text{aion}} \approx \frac{180}{128} \arcsin\left(\frac{A_{\text{elec}}}{kd_{\text{aio}}}\right) - \alpha_{0,\text{aion}}$$

Los ángulos α_{aion} y α_{ath} se hallarán siempre comprendidos dentro del lóbulo principal del haz de la ecosonda (que comprenderá ángulos prácticamente entre + y - la anchura del haz a -3dB que suele dar el fabricante). El valor kd_{aio} para la ecosonda, calculado a partir de la velocidad del sonido en el agua, la frecuencia de la ecosonda, y el radio del disco del transductor (la distancia entre detectores será igual a la mitad de ese radio), proporciona un valor de 21, que está próximo al de la calibración.

`%ECUACIÓN PARA LA CONVERSIÓN ELECTRO-MECÁNICA DE LA PARTE ANGULAR DE LA
%SPLIT-BEAM`

```
function [Alo_mek,Ath_mek]=convert_elect2mech(Alo_elec,Ath_elec)
```

```
Tr_AngleSens=23; %Factor de Sensibilidad de calibración
Alo_offset=-0.05; %Compensar el desplazamiento de los ángulos del
transductor medidos durante la calibración para Along-ship
Ath_offset=+0.07; %Compensar el desplazamiento de los ángulos del
transductor medidos durante la calibración para Athwart-ship
```

```
%Debido a que la ecosonda almacena los valores eléctricos pero realiza la
%conversión. Para obtener valores angulares mecánicos en grados se debe
%aplicar la siguiente ecuación:
```

```
Alo_mek=((180/128)*(Alo_elec/Tr_AngleSens))-Alo_offset; %Matriz con los
valores angulares de Alongship
Ath_mek=((180/128)*(Ath_elec/Tr_AngleSens))-Ath_offset;%Matriz con los
valores angulares de Athwartship
```

```
% Factor de compresión (180/128): Se tiene 180 (media circunferencia
angular)
%y 128 es el número de pasos (steps) de la fase que utiliza el detector
de
%fase digital de la ecosonda EK60.
end
```

Función: bottomdetector (Int, Alo_mek, Ath_mek)

- Se calcula la distancia de campo cercano como:

$$N = \pi \frac{r^2}{\lambda}$$

Siendo N la distancia de campo cercano, r el radio efectivo del transductor y λ la longitud de onda.

- Calcula el número de bins que corresponden a ese campo cercano y recorta esos valores de las matrices de potencia y angulares.
- Calcula los valores y posiciones de los máximos de la matriz de potencia como primera aproximación al cálculo del fondo.
- Se reduce la matriz cogiendo 10 bins antes y 89 bins posteriores a la posición máxima.

```

function [I,Al,At]=bottomdetector(Int,Alo_mek,Ath_mek)
%Distancia de Campo cercano N= pi*(r)^2/landa;
c=1493.5; %velocidad en el agua
f=200000; %frecuencia de trabajo de nuestro transductor Split Beam ES 200
7C
r=0.1/2; %radio efectivo tenemos que D=100 mm
l=c/f;%landa longitud de onda;
N=pi*(r^2)/l;
dt=1.6*10^-5;
%dR=c*dt/2=(1500*1.6*10^-5)/2;
dR=0.012;
N1=N/dR;
N1=round(N1);%redondeo superior

In=Int(N1:end,:);%Eliminamos valores de campo cercano
Alo=Alo_mek(N1:end,:);
Ath=Ath_mek(N1:end,:);

[M N]=size(In);

%VECTOR 'xmax'guarda el valor máximo de cada ping, y 'xpos' la posición
donde
%se ubica

for i=1:N
    [xmax(1,i),xpos(1,i)]=max(In(:,i));
end

%Almacenamos las matrices que nos interesan, 1 metro por debajo del
fondo.
%Como nuestro fondo está 4 muestras antes del valor máximo,
almacenaremos
%10 posiciones antes del máx y 89 después equivalentes a 1 metro.

%Intensidad (Int)
for i=1:N
    I(:,i)=In(xpos(i)-10:xpos(i)+89,i);
end

%Alongship (Alo_mek)

for i=1:N
    Al(:,i)=Alo(xpos(i)-10:xpos(i)+89,i);
end

%Athwartship (Ath_mek)

for i=1:N
    At(:,i)=Ath(xpos(i)-10:xpos(i)+89,i);
end

```

Script: Haralick.m

- Lee de un archivo las variables *At* y *Al* (se procesan separadamente)
- Representa la matriz angular
- Define las dimensiones de la imagen y normaliza la matriz angular. Se representa la matriz tanto en el rango automático como en el rango ajustado [0.8 1.2].
- Recorre la imagen de 7 en 7 píxeles (*d*), extrayendo subimágenes cuadradas de $2L+1$, de las cuales calcula la matriz de co-ocurrencia de tamaño 4×4 (normaliza a frecuencias dividiendo por el número de píxeles de la subimagen)
 - Para extraer la subimagen emplea la función *subIm*.
 - Función *subIm*:
 - Recibe una imagen, unas coordenadas en ésta y un tamaño de ventana (y las dimensiones de la imagen)
 - Calcula el cuadrado de lado $2L+1$ centrado en (*r,p*) y contenido estrictamente dentro de la imagen (las expresiones fuerzan a que la subimagen sea cuadrada)

- Calcula la matriz de co-ocurrencia (dirección Este-Oeste) de la matriz normalizada en el rango [0.8 1.2].
- Se define la matriz contraste: $\text{cont}V_{ij} = (i - j)^2$
- Con el valor medio de la matriz rescalada al rango [0.8:1.2] calcula la máscara de correlación (con la función *CorrelaciónV*)
- Se calculan los siguientes parámetros a partir de la matriz de co-ocurrencia $f_{i,j}$:

- Segundo momento angular (asm):

$$E = \sum \sum i^2 f_{i,j}$$

- Entropía

$$S = \sum \sum f_{i,j} \log(f_{i,j})$$

- Contraste

$$\sum \sum (i - j)^2 f_{i,j}$$

- Correlación

$$\sum \sum (i - \bar{i})(j - \bar{j}) f_{i,j}$$

- Homogeneidad

$$\sum \sum \frac{f_{i,j}}{i + (i-j)^2}$$

- Lacunar (pero no en el sentido fractal)

$$\frac{\sum \sum (f_{i,j} - \bar{f})}{(2L+1)^2 f^2}$$

$$\bar{f} = \sum \sum \frac{f_{i,j}}{i + (i-j)^2}$$

```
clear all
clc
[filename, pathname] = uigetfile('*.mat', 'Select mat data
file', 'G:\MEDIDAS NAVAJAS\');
% te abre un cuadro de dialogo para seleccionar el fichero a leer
filename
pathname
fname = [pathname, filename];
matriu2 = load(fname)
I=matriu2.A1;%I=matriu2.At;

%PASO 1: NORMALIZADO Y ESCALADO DE LA MATRIZ

figure(1);subplot(3,1,1);imagesc(I);title('A1');colorbar;%matriz original
%Se normaliza
[M N]=size(I); %Tamaño de las secciones en torno a la detección
O(M,N)=0;
for i=1:M
    m=mean(I(i,:));
    O(i,:)=I(i,:)/m;
end
%IMAGEN (2)NORMALIZADA
figure(1);subplot(3,1,2);imagesc(O);title('Normalizado');colorbar;
%IMAGEN (3)NORMALIZADA A [0.8 1.2]SE ESCALA (ya que se aconseja imagenes
%con valores pequeños.
figure(1);subplot(3,1,3);imagesc(O,[0.8 1.2]);title('Normalizado a [0.8
1.2]');ylabel('RANGO'); xlabel('N° PINGS');colorbar;

%PASO 2: SE DEFINE EL TAMAÑO DE LA MÁSCARA DEL FILTRO DE 2DO ORDEN.
L=7;

%GLOBAL XYZ define X, Y y Z como de alcance global.
%Cada función de Matlab definida por M-File tiene sus propias variables
%locales, que son independientes de los de otras funciones y de las de la
%base del workspace. Sin embargo, si varias funciones y posiblemente las
de
%la base del workspace, todas declaran un nombre particular como GLOBAL,
%luego todas comparten una sola copia de esa variable. Cualquier
asignación
%a esa variable, en cualquier función, está disponible para todos las
otras
%funciones declarando GLOBAL.

global coomL;
coomL=4;
Lint=[0.8 1.2];
```

```

sym=true; %transformación simétrica estandar; un grupo 1-2 une con un
grupo 2-1
%Dirección y distancia.
offsetH=[0 7];%Dirección Este-Oeste
%Inicialización de los pesos (vectores)
d=7;
for p=1+d:M-d
for r=1+d:N-d
    Isub=subIm(I,r,p,L,[M N]);
    ne=numel(Isub); %Devuelve el número de elementos o de entradas
previstas ne de la matriz Isub

%PASO 3: Crea una matriz de co-ocurrencia de nivel de gris
[coom,Icoom]=graycomatrix(Isub,'Offset',offsetH,'GrayLimits',Lint,
...
    'NumLevel',coomL,'Symmetric',sym);
%Normalización e Inicialización
coom=coom./ne;
u=mean2(Icoom);
CorrV=CorrelacionV(u);
contV=ContrasteV;

%CALCULA LOS PARÁMETROS TEXTURALES(f1,f1,f3,f6,f7,f8)

Io.asm(p,r)=sum(sum(coom.^2));
Io.entropia(p,r)=entropy(coom);
Io.contraste(p,r)=sum(sum(contV.*coom));
Io.correlacion(p,r)=sum(sum(CorrV.*coom));
Io.homogeneidad(p,r)=sum(sum(coom./(1+contV)));
Io.lacunar(p,r)=std2(coom)^2./mean2(coom)^2;

end
end
clear global coomL;

%Obtiene una ventana de filtro, mientras que algunos
%índices están regulados en los bordes.

S=size(I);
Is=subIm(I,r,p,L,S);

%Esta función calcula los coeficientes del filtro para cada uno de los
parámetros.

I=ContrasteV;

I=CorrelacionV(u);

%Se muestran las matrices obtenidas tras el proceso
pin=1:154;
ran=(536:629)*0.012;
figure(2);imagesc(pin,ran,Io.asm);title('Segundo Momento
Angular');colorbar;xlabel('Nº pings'); ylabel('Profundidad (m)');
figure(3);imagesc(pin,ran,Io.entropia);title('Entropia');colorbar;xlabel(
'Nº pings'); ylabel('Profundidad (m)');
figure(4);imagesc(pin,ran,Io.homogeneidad);title('Homogeneidad');colorbar
;xlabel('Nº pings'); ylabel('Profundidad (m)');
figure(5);imagesc(pin,ran,Io.contraste);title('Contraste');colorbar;xlabel(
'Nº pings'); ylabel('Profundidad (m)');
figure(6);imagesc(pin,ran,Io.correlacion);title('Correlación');colorbar;x
label('Nº pings'); ylabel('Profundidad (m)');

```

```

figure(7); imagesc(pin, ran, Io.lacunar); title('Lacunar'); colorbar; xlabel('N
° pings'); ylabel('Profundidad (m)');
%Se eliminan los valores del borde horizontal y vertical del tamaño de la
%máscara
f1=Io.asm(8:end,8:end); %asm
f2=Io.entropia(8:end,8:end); %entropia
f3=Io.homogeneidad(8:end,8:end); %homogeneidad
f6=Io.contraste(8:end,8:end); %contraste
f7=Io.correlacion(8:end,8:end); %correlacion
f8=Io.lacunar(8:end,8:end); %lacunar

function I=ContrasteV
global coomL;
N=coomL;
I(N,N)=0;
for i=0:(N-1)
for j=0:(N-1)
    I(i+1,j+1)=(i-j)*(i-j);
end
end
end

function I=CorrelacionV(u)
global coomL;
N=coomL;
I(N,N)=0;
for i=0:(N-1)
for j=0:(N-1)
    I(i+1,j+1)=(i-u)*(j-u);
end
end
end

function Is=subIm(I,r,p,L,S)
    minP=max(1,p-L)-min(0,S(1)-(p+L));
    maxP=min(S(1),p+L)-min(0,p-L-1);
    minR=max(1,r-L)-min(0,S(2)-(r+L));
    maxR=min(S(2),r+L)-min(0,r-L);
    Is=I(minP:maxP,minR:maxR);
end

```

Script: umbral_angular.m

- Se tiene en cuenta el rango angular tanto para At [-7.8961:+7.6949] como para el ángulo Al [-7.7761:7.8149] se crean 15 umbrales con un intervalo de 1° entre ellos.

Umbral 1: [-7.7761:-6.7761]; Umbral 2: [-6.7761:-5.7761]; Umbral 3: [-5.7761:-4.7761]

Umbral 4: [-4.7761:-3.7761]; Umbral 5: [-3.7761:-2.7761]; Umbral 6: [-2.7761:-1.7761]

Umbral 7: [-1.7761:-0.7761]; Umbral 8: [-0.7761:+0.7761]; Umbral 9: [+0.7761:+1.7761]

Umbral 10: [+1.7761:+2.7761]; Umbral 11: [+2.7761:+3.7761]; Umbral 12: [+3.7761:+4.7761]

Umbral 13: [+4.7761:+5.7761]; Umbral 14: [+5.7761:+6.7761]; Umbral 15: [+6.7761:+7.7761]

- El programa recorre la matriz angular (At y Al) buscando valores comprendidos entre cada intervalo del umbral, si encuentra el valor, le adjudica a la posición el valor '1' y si no lo encuentra le adjudica el valor '0'.

- Se cuantifica el número de sucesos en función del *rango* de la matriz (profundidad). Se suman los valores '0' o '1' a cada posición del *rango* (para un total de 100) para todos los pings de la Pasada. Se pretende observar que intervalo angular es el predominante (más valores acumulados) a cada posición de profundidad.
- Se crean 6 gráficas, dos gráficas generales con todos los umbrales de *At* y *Al*, dos gráficas con solo los umbrales con valores angulares positivos de *At* y *Al*, y otras dos gráficas con los umbrales de los valores negativos de *At* y *Al*.

```

close all
clear all
clc
%%%PASO 1: Cargamos las matrices reducidas

load At
load Al

%PASO 2: Se crean los umbrales AT

[M N]=size(At);
A1(M,N)=0;
A1=and((At>-7.7761),(At<-6.7761)); %Umbral 1

A2(M,N)=0;
A2=and((At>-6.7761),(At<-5.7761)); %Umbral 2

A3(M,N)=0;
A3=and((At>-5.7761),(At<-4.7761)); %Umbral 3

A4(M,N)=0;
A4=and((At>-4.7761),(At<-3.7761)); %Umbral 4

A5(M,N)=0;
A5=and((At>-3.7761),(At<-2.7761)); %Umbral 5

A6(M,N)=0;
A6=and((At>-2.7761),(At<-1.7761)); %Umbral 6

A7(M,N)=0;
A7=and((At>-1.7761),(At<-0.7761)); %Umbral 7

A8(M,N)=0;
A8=and((At>-0.7761),(At<0.7761)); %Umbral 8

A9(M,N)=0;
A9=and((At>0.7761),(At<1.7761)); %Umbral 9

A10(M,N)=0;
A10=and((At>1.7761),(At<2.7761)); %Umbral 10

A11(M,N)=0;
A11=and((At>2.7761),(At<3.7761)); %Umbral 11

A12(M,N)=0;
A12=and((At>3.7761),(At<4.7761)); %Umbral 12

```

```
A13(M,N)=0;
A13=and((At>4.7761),(At<5.7761)); %Umbral 13
```

```
A14(M,N)=0;
A14=and((At>5.7761),(At<6.7761)); %Umbral 14
```

```
A15(M,N)=0;
A15=and((At>6.7761),(At<7.7761)); %Umbral 15
```

%PASO 3: CUANTIFICACIÓN N° DE SUCESOS PARA CADA UMBRAL

%Para obtener la suma por rango (profundidad)

```
for i=1:M
    P1(1,i)=sum(A1(i,:));
end
```

```
P1=P1';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P2(1,i)=sum(A2(i,:));
end
```

```
P2=P2';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P3(1,i)=sum(A3(i,:));
end
```

```
P3=P3';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P4(1,i)=sum(A4(i,:));
end
```

```
P4=P4';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P5(1,i)=sum(A5(i,:));
end
```

```
P5=P5';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P6(1,i)=sum(A6(i,:));
end
```

```
P6=P6';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P7(1,i)=sum(A7(i,:));
end
```

```
P7=P7';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for i=1:M
    P8(1,i)=sum(A8(i,:));
end
```

```

P8=P8' ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P9(1,i)=sum(A9(i,:));
end

P9=P9' ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P10(1,i)=sum(A10(i,:));
end

P10=P10' ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P11(1,i)=sum(A11(i,:));
end

P11=P11' ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P12(1,i)=sum(A12(i,:));
end

P12=P12' ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P13(1,i)=sum(A13(i,:));
end

P13=P13' ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P14(1,i)=sum(A14(i,:));
end

P14=P14' ;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    P15(1,i)=sum(A15(i,:));
end

P15=P15' ;

%PASAO 4: GRÁFICA DE LOS 15 UMBRALES PARA MATRIZ AT

figure(2);plot(P1,'b');title('ATHWARTSHIP');xlabel('Rango');
hold on
figure(2);plot(P2,'g');
hold on
figure(2);plot(P3,'r');
hold on
figure(2);plot(P4,'c');
hold on
figure(2);plot(P5,'m');

```

```

hold on
figure(2);plot(P6,'y');
hold on
figure(2);plot(P7,'k');
hold on
figure(2);plot(P8,'-.');
hold on
figure(2);plot(P9,'k:');
hold on
figure(2);plot(P10,'y:');
hold on
figure(2);plot(P11,'m:');
hold on
figure(2);plot(P12,'c:');
hold on
figure(2);plot(P13,'r:');
hold on
figure(2);plot(P14,'g:');
hold on
figure(2);plot(P15,'b:');
hold on
figure(2);plot([11 11],[0 100],'r--');% FONdo del mar
legend('-7.7761&-6.7761','-6.7761&-5.7761','-5.7761&-4.7761','-4.7761&-3.7761','-3.7761&-2.7761','-2.7761&-1.7761','-1.7761&-0.7761','-0.7761&0.7761','0.7761&1.7761','1.7761&2.7761','2.7761&3.7761','3.7761&4.7761','4.7761&5.7761','5.7761&6.7761','6.7761&7.7761','Fondo marino');

```

%PASO 5: GRÁFICA DE LOS UMBRALES NEGATIVOS PARA AT

```

figure(3);plot(P1,'b');title('ATWARTSHIP negativo');xlabel('Rango');
hold on
figure(3);plot(P2,'g');
hold on
figure(3);plot(P3,'r');
hold on
figure(3);plot(P4,'c');
hold on
figure(3);plot(P5,'m');
hold on
figure(3);plot(P6,'y');
hold on
figure(3);plot(P7,'k');
hold on
figure(3);plot(P8,'-.');
hold on
figure(3);plot([11 11],[0 100],'r--');% FONdo del mar
legend('-7.7761&-6.7761','-6.7761&-5.7761','-5.7761&-4.7761','-4.7761&-3.7761','-3.7761&-2.7761','-2.7761&-1.7761','-1.7761&-0.7761','-0.7761&0.7761','Fondo marino');

```

%PASO 6: GRÁFICA DE LOS UMBRALES POSITIVOS PARA AT

```

figure(4);plot(P8,'-.');title('ATHWARTSHIP positivo');xlabel('Rango');
hold on
figure(4);plot(P9,'k:');
hold on
figure(4);plot(P10,'y:');
hold on
figure(4);plot(P11,'m:');
hold on
figure(4);plot(P12,'c:');
hold on
figure(4);plot(P13,'r:');
hold on
figure(4);plot(P14,'g:');

```

```

hold on
figure(4);plot(P15, 'b:');
hold on
figure(4);plot([11 11],[0 100], 'r--');% Fondo del mar
legend('-
0.7761&0.7761', '0.7761&1.7761', '1.7761&2.7761', '2.7761&3.7761', '3.7761&4.
7761', '4.7761&5.7761', '5.7761&6.7761', '6.7761&7.7761', 'Fondo marino');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ALONGSHIP%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%se repite el proceso para Alongship

%PASO 7: Se crean los umbrales AL

[M N]=size(AL);
AL1(M,N)=0;
AL1=and((AL>-7.7761), (AL<-6.7761));

AL2(M,N)=0;
AL2=and((AL>-6.7761), (AL<-5.7761));

AL3(M,N)=0;
AL3=and((AL>-5.7761), (AL<-4.7761));

AL4(M,N)=0;
AL4=and((AL>-4.7761), (AL<-3.7761));

AL5(M,N)=0;
AL5=and((AL>-3.7761), (AL<-2.7761));

AL6(M,N)=0;
AL6=and((AL>-2.7761), (AL<-1.7761));

AL7(M,N)=0;
AL7=and((AL>-1.7761), (AL<-0.7761));

AL8(M,N)=0;
AL8=and((AL>-0.7761), (AL<0.7761));

AL9(M,N)=0;
AL9=and((AL>0.7761), (AL<1.7761));

AL10(M,N)=0;
AL10=and((AL>1.7761), (AL<2.7761));

AL11(M,N)=0;
AL11=and((AL>2.7761), (AL<3.7761));

AL12(M,N)=0;
AL12=and((AL>3.7761), (AL<4.7761));

AL13(M,N)=0;
AL13=and((AL>4.7761), (AL<5.7761));

AL14(M,N)=0;
AL14=and((AL>5.7761), (AL<6.7761));

AL15(M,N)=0;
AL15=and((AL>6.7761), (AL<7.7761));

```



```

        PL10(1,i)=sum(AL10(i,:));
end

PL10=PL10';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    PL11(1,i)=sum(AL11(i,:));
end
PL11=PL11';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    PL12(1,i)=sum(AL12(i,:));
end

PL12=PL12';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    PL13(1,i)=sum(AL13(i,:));
end

PL13=PL13';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    PL14(1,i)=sum(AL14(i,:));
end

PL14=PL14';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:M
    PL15(1,i)=sum(AL15(i,:));
end

PL15=PL15';

%PASO 9:GRÁFICA DE LOS 15 UMBRALES PARA MATRIZ AL

figure(5);plot(PL1,'b');title('ALONGSHIP');xlabel('Rango');
hold on
figure(5);plot(PL2,'g');
hold on
figure(5);plot(PL3,'r');
hold on
figure(5);plot(PL4,'c');
hold on
figure(5);plot(PL5,'m');
hold on
figure(5);plot(PL6,'y');
hold on
figure(5);plot(PL7,'k');
hold on
figure(5);plot(PL8,'-.');
hold on
figure(5);plot(PL9,'k:');
hold on
figure(5);plot(PL10,'y:');
hold on
figure(5);plot(PL11,'m:');
hold on

```

```

figure(5);plot(PL12,'c:');
hold on
figure(5);plot(PL13,'r:');
hold on
figure(5);plot(PL14,'g:');
hold on
figure(5);plot(PL15,'b:');
hold on
figure(5);plot([11 11],[0 100],'r--');% FOno del mar
legend('-7.7761&-6.7761','-6.7761&-5.7761','-5.7761&-4.7761','-4.7761&-3.7761','-3.7761&-2.7761','-2.7761&-1.7761','-1.7761&-0.7761','-0.7761&0.7761','0.7761&1.7761','1.7761&2.7761','2.7761&3.7761','3.7761&4.7761','4.7761&5.7761','5.7761&6.7761','6.7761&7.7761','Fondo marino');

%PASO 10:GRÁFICA DE LOS UMBRALES NEGATIVOS PARA MATRIZ AL

figure(6);plot(PL1,'b');title('ALONGSHIP negativo');xlabel('Rango');
hold on
figure(6);plot(PL2,'g');
hold on
figure(6);plot(PL3,'r');
hold on
figure(6);plot(PL4,'c');
hold on
figure(6);plot(PL5,'m');
hold on
figure(6);plot(PL6,'y');
hold on
figure(6);plot(PL7,'k');
hold on
figure(6);plot(PL8,'-.');
hold on
figure(6);plot([11 11],[0 100],'r--');% FOno del mar
legend('-7.7761&-6.7761','-6.7761&-5.7761','-5.7761&-4.7761','-4.7761&-3.7761','-3.7761&-2.7761','-2.7761&-1.7761','-1.7761&-0.7761','-0.7761&0.7761','Fondo marino');

%PASO 11:GRÁFICA DE LOS UMBRALES POSITIVOS PARA MATRIZ AL

figure(7);plot(PL8,'-.');title('ALONGSHIP positivo');xlabel('Rango');
hold on
figure(7);plot(PL9,'k:');
hold on
figure(7);plot(PL10,'y:');
hold on
figure(7);plot(PL11,'m:');
hold on
figure(7);plot(PL12,'c:');
hold on
figure(7);plot(PL13,'r:');
hold on
figure(7);plot(PL14,'g:');
hold on
figure(7);plot(PL15,'b:');
hold on
figure(7);plot([11 11],[0 100],'r--');% FOno del mar
legend('0.7761&0.7761','0.7761&1.7761','1.7761&2.7761','2.7761&3.7761','3.7761&4.7761','4.7761&5.7761','5.7761&6.7761','6.7761&7.7761','Fondo marino');

```

Anexo 4. Proceeding European Conference on Underwater Acoustics (ECUA-2010).

Acoustic techniques for solenoid bivalve mapping

Zaragoza, N.¹, Sánchez-Carnero, N.², Espinosa, V.¹, & Freire, J.²

¹Institut d'Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres, Carrer Paranimf 1, 46730 Grau de Gandia, Spain, {muzaim,vespinos}@upv.es
²Grupo de Recursos Marinos y Pesquería, Universidad de A Coruña, A Coruña, Spain, {noela.sanchez,jfreire}@udc.es

Artisanal shellfish fisheries such as the razor shell (*Ensis ensis*, *Ensis siliqua*) have a great economic and social importance in Galicia (NW Spain). In order to develop sustainable exploitation, improvements in remote sensing methods to obtain rapidly high quality data from seabed should be available. In this work two echosounder types were tested to map of the razor shell habitats: a bathymetric echosounder (with a single-beam bi-frequency transducer at 38-200kHz) and a scientific split-beam echosounder (200kHz). The acoustic survey was carried out in razor shell exploitation in the Ría de Pontevedra. Three fishing grounds acoustically and biological were surveyed and sediment samples were taken. Recorded data from single-beam were processed and statistical analyses (PCA and cluster) were applied to energy information. Split-beam data were analyzed using only angular data (Athwartship and Alongship), searching for remanent angular information of individual scatterers (bivalves) presence in the very short penetration distance in the sediment. Single-beam echosounder results provide a successful correspondence between acoustical signatures and bivalve density. The results obtained using split-beam information show the relevance of angular information in relationship with the presence of scatterers in the sediment.

1 Introduction

In the same way like fish stocks, several invertebrate species, largely coastal benthic organisms with a high unit price and object of interest of artisanal fleets, have been over-exploited along the world, and in some instances, depleted [1, 2]. These species represent an important income for artisanal fisheries.

The Galician coast is more than 1200 km long, supporting over 80 communities, ranging from large cities to small villages, whose economies depend largely on the harvesting of fish and shellfish. The artisanal fleets operate in numerous coastal embayments (*rias*) and shallow oceanic areas, harvesting in the intertidal zone and down to 60–80 m deep [3]. Some of the most important shellfish resources in this area are bivalves, representing more than 68M € in 2009 (taking into account only catches from natural populations, while mussel from culture rafts represent a similar amount).

In order to avoid the depletion of these resources, sustainable management is necessary. To achieve this goal it is fundamental the characterization of the distribution of these species; however, traditional methods to obtain this information (scuba diving, corer, dredges, etc.) are very expensive, in terms of time and money.

Acoustic methods can be an efficient alternative, and of relatively low cost, to map these resources. In comparison with the traditional point sampling techniques, besides it nonintrusive, this acoustic system has the advantage of collecting data almost continuously and thus samples seabed patches that could otherwise be missed by point data.

Some previous works [4, 5] showed that the acoustic response may depend namely on the surface roughness, sediment grain size, the presence/absence of shell debris, some infaunal species, texture properties of the sediment, and sediment porosity. However, only few of them are focused in the cartography of bivalve mollusks [6, 7, 8].

The present work is a part of the project “Assessment of the razor clam fishery in the Ría of Pontevedra towards a sustainable exploitation: study and integration of biological and hydrodynamic aspects in its exploitation”, currently carried out by Fismare Innovación para la Sostenibilidad.

The aim of this work is to assess the suitability of two acoustic techniques (single-beam and split-beam) to map the razor shell (*ensis ensis*, *ensis siliqua*) banks in the Ría de Pontevedra (Galicia, NW Spain).

2 Materials and methods

2.1 Study area

The study was performed in the Ría de Pontevedra (Galicia, NW Spain) an area of 145 km² and a length of 23 km, that can be considered as the paradigm of the western Galician Rías from a hydrodynamic point of view [9, 10].

This area belongs to the Rías Baixas, characterized by upwelling events between March-April to September-October [11, 12]. These types of events are very important because they fertilize upper water layers, increasing the biological productivity [13].

Three bivalve's banks, regularly exploited by fishermen, were surveyed as part of the study area: Raxo, Agüete and A Coba (Fig.1). The three banks are located between 5-11

meters deep and have an approximately area of 2.46, 0.5 and 27.5 ha respectively. Each of them was characterized as either very productive, productive, or not productive, attending to their razor harvesting density.

2.2 Acoustic survey

The acoustic survey was carried out on July 11th and 12th, 2009 using a small fishing boat (6.25 m long). Two echosounder types were used: EA400 single-beam working with a dual frequency Combi D transducer (38/200 kHz), and an Ek60 scientific echosounder working with an ES200-7C split-beam transducer at 200 kHz.

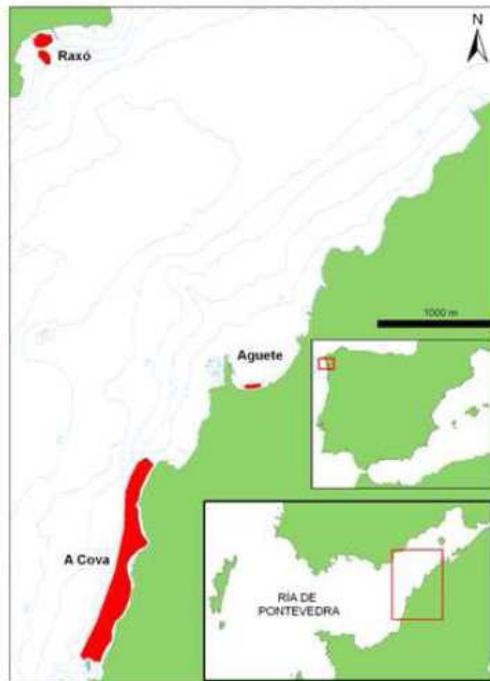


Figure 1: Location map of sampled banks.

All transducer were set to minimum pulse length in order to obtain the maximum vertical resolution (256µs for 38 kHz single-beam and 64µs for other transducers) and to their maximum power (300 W for split-beam and 1000 W for the other echosounder).

The transducers were attached to the hull rail using a steel device in the shape of a pin. Positions were recorded into the sounder files using a GPS signal input. The boat speed was kept between 3.5 and 4.2 knots. The acoustic survey was made with good weather conditions.

A longitudinal transect was defined in each surveyed area (razor bank) and was performed at least 3 times with each acoustic method.

2.3 Groundthruthing

In order to obtain data to validate the acoustic records in each bank, 6 stations were set (2 for each bank). Sediment samples were collected with a 30 cm corer, and biological communities were characterized using a suction bomb with net size of 1 cm.

In order to characterize the sediment samples (dried in an oven at 80°C for 2 days) were apportioned using a 1000µm analytical sieve (Retsch, Düsseldorf, Germany). Their size distribution was determinate with a laser granulometer (LS200, Beckman Coulter Inc, Brea, CA USA).

Razors were counted and measured in each of the biological samples (Fig. 2). Other bivalves were also counted. With all these data, each sampling point was characterized by its content in bivalves, in agreement with fishermen information.



Figure 2: Measurement of razor samples.

The groundthruthing results are summarized in the following table:

Bank	Diving Point	Granulometry	Bivalve density (n° indiv/m ²)
Raxó	3	Medium-fine sand	high
	4	Medium-coarse sand	high
Aguete	5	Medium-fine sand	low
	6	Medium-coarse sand	medium
A Cova	7	Coarse sand	none
	8	Medium-coarse sand	none

Table1: Groundthruthing results.

2.4 Single-beam analysis

Acoustic files obtained with single-beam were processed in order to extract the energy values corresponding to the bottom (first and second echoes for 38kHz, only the first one for 200kHz). Just 1 meter below the bottom was considered.

Depth correction (power adjustment) was performed for selected energy values, and each corrected bin was included in a matrix as a variable, with the bottom bins laid aligned in the same column.

To reduce the variability of the adjusted data for each depth corrected bin, PCA was performed on each data matrix.

Using *k-means* cluster acoustical classes were obtained and compared with groundtruthing and local fishermen data.

2.5 Split-beam analysis

The split-beam transducer data were analyzed by means of angular information. Target direction by At (Aftwardship) and Al (Alongship) were defined.

To get the position relative to center beam, electrical values of raw angular data were multiplied by the sensitivity of the angle through electro-mechanical conversion. The along-track beam width and across-track beam both were around $+34^\circ$ and -34° .

Bottom position was located using maximum energy value of each ping. Based on the hypothesis that the razor shells are located in the upper sediment layers, only 40 cm below the seabed were selected.

The presence of scatterers in these 40 cm should be visible in the angular information of the split-beam. Thus matrices of At and Al (Fig.3) were extracted out of the recorded measurements in each bank (Raxó, Agüete and A Coba) and then analyzed.

In order to avoid differences derived of the ship's advance direction only raw files with same boat direction were considered.

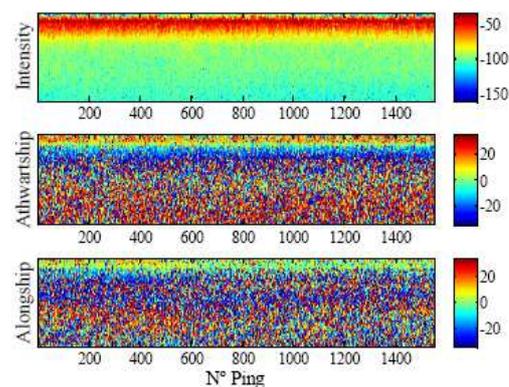


Figure 3: Intensity, At and Al echograms.

Keeping in mind that the classification of a pixel will depend on its neighbors, a textural characterization of the matrix was conducted. The texture of an image is a feature used to identify the variation within regions defined as second-order statistics based on the co-occurrence matrix of its pixel gray levels (Grey Level Co-occurrence Matrix). We studied the variation of angular values produced by a change of environment in the sediment (e.g. sand-razor or shell-mud) using Haralick descriptors [14]: contrast, entropy, correlation, energy, homogeneity and lacunarity (Fig.4).

The mean and standard deviation of each Haralick parameters were computed. These values were used as variables in a cluster analysis. The obtained classes were compared with groundtruthing and local fishermen data.

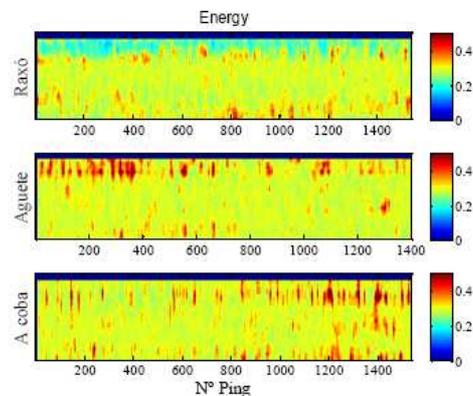


Figure 4: Example of Haralick matrices showing the energy in the three banks.

3 Results and discussion

3.1 Single-beam classification

The statistical analysis of the bin matrix showed the three banks as acoustically different. The *k-means* cluster classified the pings into six classes, two of which correspond to the Raxó and A Coba banks (more than 93% of agreement). Of the remaining, three classes equally covered the Agüete bank (the most heterogeneous one according to the groundtruthing), while the remnants grouped in the sixth class appear scattered among the three banks (less than 4% of the area).

Despite these results are in agreement with the groundtruthing data, some depth dependence could also be playing some role. The rule this out, one further correction of the data should be performed, in the form of a time correction of the pings with depth.

3.2 Split-beam classification

The statistical analysis of the averages and standard deviations of the Haralick parameters provides a good classification of the three banks. The razor (or bivalves) density shows an even better agreement with this classification. However, granulometry differences according to the corer samples (table 1), do not show in the classification. Since angular information is independent of depth effect, we may say that this method is classifying the banks with respect to the razor density.

In order to check what of the Haralick parameters provide a greater contribution to the classification, a PCA analysis was performed, that showed At contrast, At lacunarity, At entropy and At entropy as the most important variables. A further classification using these variables showed similar results.

4 Conclusions

Although this study is still a work in progress, the results presented here show two promising new and non invasive method for mapping of shellfish resources.

We must take into account, however, that the classifications obtained with these methods are relative classifications. This is, they detect different acoustic behaviours but still need groundtruthing to provide the cartography of the bottom characteristics that are responsible of that behaviour. However the angular approach could be the base of a future quantitative method to assess the bivalve density into the sediment.

5 Acknowledgements

The authors would like to thanks the local fishermen for the help and information provided. N.S-C and N. Z would also like to thank Daniel Rodriguez for insightful discussion and Marius Norvoll for the help and advice with data processing algorithm.

References

- [1] Jamieson, GS. "Marine invertebrate conservation: evaluation of sheries over-exploitation concerns". *American Zoologist* 33:551-67 (1993).
- [2] Jamieson GS, Campbell A, eds. "Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management". *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol.125 (1998).
- [3] Freire, J, Garcia-Allut, A. "Socio-economic and biological causes of management failures in European artisanal fisheries: the case of Galicia (NW Spain)". *Marine Policy*, 24 (5):375-384 (2000).
- [4] Kenny, AJ, Cato, I, Desprez, M, Fader, G, Schüttenhelm, RT, Side, J. "An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification". *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 60(2):411-418 (2003).
- [5] Diaz, RJ, Solana, M, Valente, RM. "A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality". *Journal of Environmental Management*, 73(3):165-181 (2004).
- [6] Jiang Ping, T *et al.* "Species identification of Chinese sturgeon using acoustic descriptors and ascertaining their spatial distribution in the spawning ground of Gezhouba Dam". *Chinese Science Bulletin*, 54(21) (2009).
- [7] Hutin, E *et al.* "Acoustic detection of a scallop bed from a single-beam echosounder in the St. Lawrence". *Journal of Marine Science*, 62:966-983 (2005).
- [8] Snellen, M *et al.* "High frequency scattering measurements for mussel bed characterization". *Journal of the Acoustic Society of America*, 123(5):3627-3627 (2008).
- [9] Álvarez, I, Gómez-Gesteira, M, Decastro, M, Prego, R. "Variation in upwelling intensity along the NorthWest Iberian Peninsula (Galicia)". *Journal of Atmospheric and Ocean Science*, 10:309-3249 (2005).
- [10] Tenore, K *et al.* "Fisheries and oceanography off Galicia, NW Spain: Mesoscale spatial and temporal changes in physical processes and resultant patterns of biological productivity". *Journal of Geophysical Research*, 100(C6): 10943-1096 (1995).
- [11] Blanton, JO, Atkinson, LP, Castillejo, FF, Lavin, A. "Coastal upwelling off the Rias Bajas, Galicia, Northwest Spain". *Hydrographic studies*, 183:79-90 (1984).
- [12] Fraga, F. "Upwelling off the Galician coast North West Spain in Coastal upwelling". *American Geophysical Union*, 176-182 (1981).

Acoustics 2010 Istanbul Conference

Zaragoza, Sánchez-Camero, Espinosa, Freire

- [13] Hickey, BM, Banas, NS. "Oceanography of the U.S Pacific Northwest Coastal Ocean and estuaries with application to coastal ecology". *Estuarine Coastal*, 26(4):1010-1031 (2003).
- [14] Haralick, R *et al.* "Textural features for image classification". *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 3(6):610-621 (1973).