



APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS ACÚSTICAS EN LA DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DE POBLACIONES DE PECES Y MEJILLÓN CEBRA EN LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO

EXPT. N.º: 280/07-A

TOMO III: CARTOGRAFÍA DEL MEJILLÓN CEBRA



Santander, 19 de Diciembre de 2.008

REF. EC07038_L_T3_vD



APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS ACÚSTICAS EN LA DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DE POBLACIONES DE PECES Y MEJILLÓN CEBRA EN LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO. TOMO III. CARTOGRAFÍA DEL MEJILLÓN CEBRA







APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS ACÚSTICAS EN LA DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DE
POBLACIONES DE PECES Y MEJILLÓN CEBRA EN LOS EMBALSES DE LA CUENCA
DEL EBRO

TOMO III: CARTOGRAFÍA DEL MEJILLÓN CEBRA

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2.	ASPECTOS RELEVANTES DE LA ECOFISIOLOGÍA DEL MEJILLÓN CEBRA.....	4
3.	ÁMBITO DEL ESTUDIO Y DISEÑO DEL MUESTREO.....	6
4.	METODOLOGÍA	7
4.1	Campaña de muestreo acústico	7
4.2	Campaña de muestreo videográfico mediante robot subacuático	10
4.3	Procesado de datos acústicos	10
4.4	Procesado de datos videográficos.....	11
4.5	Campañas complementarias de muestreo videográfico: grabaciones en inmersión y desde barco	11
5.	RESULTADOS	13
5.1	Sondeos hidroacústicos.....	13
5.2	Características morfométricas del embalse	16
5.3	Registros de vídeo.....	17
5.4	Clasificación de sonogramas	23
5.5	Estimaciones globales	24





6. RESUMEN Y CONCLUSIONES 31

7. REFERENCIAS 35

Relación de Ilustraciones

Ilustración 1: Imagen de sonar de barrido lateral de un área con fondo escarpado (arriba), en la que se aprecia un talud rocoso. Abajo se presenta la batimetría obtenida con ecosonda multihaz en la misma zona, en la que se puede observar un cambio súbito de 10 m de profundidad (color rojo) a los 40 m (verde). 9

Ilustración 2: Disposición espacial de los sonogramas en el conjunto del embalse de Mequinenza 13

Ilustración 3: Detalle de un barco y edificaciones sumergidas en uno de los registros de sonar 14

Ilustración 4: Ubicación de la zona de registro de sonar y vídeo en el paraje de “Mas de la Punta” 14

Ilustración 5: Ubicación de la zona de registro de sonar y vídeo en el paraje de “Mas de la Punta” 15

Ilustración 6: Imagen de un ecograma de ecosonda monohaz, en la que se aprecia a la derecha un cambio a sustrato rocoso irregular. 16

Ilustración 7: Curva de superficie del embalse en función de la cota 16

Ilustración 8: Mosaico de vídeo obtenido con el robot autónomo en el que se muestra un fondo dominado por gravas y guijarros, sin indicios de colonización por mejillón cebra. Este tipo de fondo clástico equivale a la categoría de “gravas y guijarros” en la clasificación de los sonogramas, si bien incluyen también arenas gruesas y detritos que en ocasiones consisten en acumulaciones de conchas de mejillones muertos. 18

Ilustración 9: Ubicación de los puntos de verificación de vídeo. En rojo los que tienen presencia significativa de mejillón cebra. 19

Ilustración 10: Relación entre la cobertura de mejillón cebra y profundidad en las observaciones de vídeo 20

Ilustración 11: Fotograma de uno de los vídeos en inmersión, en el que se aprecia la preferencia del mejillón por las caras laterales y grietas de las rocas, lo cual está relacionado con la hidrodinámica a la escala de microhábitat 21

Ilustración 12: Fotograma de uno de los vídeos en inmersión, en el que se aprecia una colonia de mejillón cebra muerto, fácilmente distinguibles porque presentan las valvas abiertas. 22

Ilustración 13: Fotograma de uno de los vídeos en inmersión, en el que se muestra el característico fondo blando de arenas y finos, dominante en el embalse de Mequinenza. 22





Ilustración 14: Evolución del nivel del agua en el embalse de Mequinenza durante los 5 últimos ciclos hidrológicos. Las líneas rojas enmarcan el estrato de profundidad superior y las verdes el profundo, según se han definido en este trabajo..... 25

Ilustración 15: Fotografía de una zona recientemente emergida en la que se aprecia la nueva colonización (reclutamiento del año) de mejillones. Estos individuos tendrán entre 1 y 2 meses de edad (ver cinta aislante como referencia de tamaño) y representan el primer estrato de profundidad de los tres definidos. Se aprecia además que existen zonas de asentamiento preferentes y una clara dependencia del microrelieve del sustrato en las primeras etapas de la colonización..... 26

Ilustración 16: Canto recogido en los primeros metros de profundidad, en el que se observa el reclutamiento del año y la colonización diferencial de las diferentes caras de la piedra. 26

Ilustración 17: Concha de un mejillón cebra de talla cercana a la máxima que alcanzan en el bajo Ebro... 27

Ilustración 18: Evolución del nivel del agua en el embalse de Mequinenza durante el último año de estudio. Las líneas rojas enmarcan el estrato de profundidad superior y las verdes el profundo, según se han definido en este trabajo 29

Relación de Tablas

Tabla 1. Detalle de las observaciones de vídeo en las que se ha encontrado mejillón cebra 20

Tabla 2. Estimaciones de disponibilidad de hábitat y de cobertura de mejillón cebra en el embalse de Mequinenza..... 30

Relación de Anejos

ANEJO I: DATOS DE LAS VERIFICACIONES DE VÍDEO







Créditos

Dirección del Estudio

Concha Durán (Confederación Hidrográfica del Ebro)

Autor

Agustín Monteoliva (Ecohydros, S.L.)

Participantes

Alex Monná (Ecohydros, S.L.)

Carlos Oldani (Ecohydros, S.L.)

Javier Garay (Ecohydros, S.L.)

Agradecimientos

Antoni Palau (ENDESA)

Grupos Especiales de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil (GEAS) de Cataluña y Aragón







1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La introducción del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) podría suponer una de las mayores modificaciones de los ecosistemas acuáticos continentales en nuestro país. Las elevadas tasa reproductiva, resistencia y movilidad de esta especie invasora le convierten en un vector de gran potencial de impacto, que puede incidir en la dinámica del resto de componentes biológicos del ecosistema que coloniza, al tiempo que afecta a las construcciones hidráulicas, obturando tomas y canalizaciones de agua.

Desde el año 2.001 en el que se detectó en los embalses del bajo Ebro (Ribarroja-Flix y más tarde Mequinenza), ha pasado en pocos años a detectarse en la cabecera del Ebro (embalse de Sobrón) y de algunos de sus tributarios más importantes, así como en otras cuencas hidrográficas (Júcar y Segura, por el momento).

Los métodos de seguimiento de la propagación del mejillón cebra se basan en la identificación de sus larvas, pero su presencia es irregular en el tiempo y, a diferencia de la fase adulta que es sésil, no permite conocer su implantación real. Por el contrario, es el conocimiento de la distribución espacial de la fase adulta y de su dinámica lo que indicaría el estado real de grado de invasión y avance o retroceso, considerando además que son los individuos adultos los que tienen la capacidad de producir nuevas generaciones.

Sin embargo, la estimación de la distribución y densidad del mejillón cebra adulto escapa a las técnicas prospectivas directas cuando se trata de aguas no vadeables, y esto obliga a recurrir a técnicas de detección remota basadas en la hidroacústica y en la videografía.

La disponibilidad de un sistema de clasificación y cartografiado de bancos de mejillones cebra contribuiría significativamente a los programas de lucha y control de esta plaga, en los siguientes aspectos.

- Establecer con resolución suficiente la distribución actual de la fase adulta del mejillón cebra en las masas de agua no vadeables: tramos fluviales profundos, embalses y lagos.
- Proporcionar datos de cobertura completa sobre las variables modeladoras de su biotopo y, por lo tanto, contribuir al desarrollo de un modelo de su distribución potencial (rasgos ambientales que favorecen su implantación), que con posteriores ajustes permita estimar las áreas de riesgo y estimar su hábitat potencial útil. En último extremo, este tipo de



herramientas proporcionaría un criterio a la hora de establecer prioridades en la focalización y optimización de las medidas de lucha que se vayan poniendo en práctica.

- Establecer un marco de referencia para el seguimiento de la evolución futura de esta especie: pautas y tasas de colonización y dispersión.
- Evaluar con agilidad y sensibilidad suficientes, el efecto de las medidas de lucha y erradicación que se adopten.

Por otro lado, el equipo técnico que suscribe este informe está inmerso en un proyecto de I+D¹, con finalización prevista a finales del año 2.009, liderado por Endesa Servicios S.A., y en el que además de Ecohydros, S.L. participan también la Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad de Barcelona. En este proyecto, al que en adelante se hará referencia como *Proyecto I+D-Mejillón Cebra**, se están sometiendo a contraste algunas de las técnicas que parecen más prometedoras.

Mientras tanto, en el presente trabajo se han aplicado técnicas remotas basadas en la hidroacústica para cartografiar el hábitat del mejillón cebra, y se han realizado una serie de prospecciones videográficas de contraste, que han permitido realizar una primera estimación de la superficie y pautas de ocupación actual.

* *"Gestión hidráulica y técnicas de detección remota aplicada al control de poblaciones mejillón cebra: el caso del embalse de Ribarroja y el tramo inferior del río Ebro". Convocatoria 2007 del Ministerio de Medio Ambiente, de concesión de ayudas dentro de la Acción Estratégica para el uso y gestión de los recursos naturales y la conservación de los hábitats y ecosistemas, correspondientes al Programa Nacional de Ciencias y Tecnologías Medioambientales, en el marco del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007.*





Hoy en día, la combinación de la acústica de última generación con técnicas de muestreo directo, permite establecer con notable rapidez mapas de distribución y características biométricas de elementos biológicos que hasta hace muy poco tiempo era impensable prospectar de forma extensiva.

Este tipo de aproximaciones se vienen usando con asiduidad el cartografiado de hábitats bentónicos, especialmente en el medio marino (p.e. (Kenny, Cato et al. 2003) y se pueden encontrar numerosos ejemplos dedicados a la cartografía de hábitats bentónicos e incluso a comunidades de moluscos que forman bancos, como los mejillones y las ostras (Grizzle 2005).

Algunas de estas aplicaciones se han realizado en lagos y embalses, y han dado lugar a numerosas producciones científicas (Hoffman 2002), en una línea de actividad en la que se sigue trabajando muy activamente, pero no se habían aplicado, hasta donde sabemos, en la generación de cartografía del hábitat para la fase adulta del mejillón cebrado, que es una aplicación que requiere mayor resolución espacial, puesto que las variables que definen el microhábitat del mejillón se resuelven a escalas espaciales muy pequeñas (submétricas).

En el presente documento se describen los trabajos realizados mediante este tipo de técnicas en el embalse de Mequinenza, y los resultados se ponen en relación con las observaciones visuales realizadas sobre su colonización, tanto en este trabajo como en otras investigaciones, especialmente las realizadas en el Bajo Ebro (Palau, 2004; Cía, 2008). En consecuencia, se obtienen unas estimaciones de cobertura y biomasa en el citado embalse, y se facilitan unas recomendaciones sobre la forma de abordar futuros trabajos que compartan este objetivo, basadas en lo aprendido durante esta primera e inédita investigación y aplicación técnica.





2. ASPECTOS RELEVANTES DE LA ECOFISIOLOGÍA DEL MEJILLÓN CEBRA

El mejillón cebra es una especie de gran capacidad invasora, cualidad que le ha conferido la inestabilidad ambiental de su lugar de origen (Mar Ponto-Cáspico), cuenca en la que las frecuentes e intensas fluctuaciones ambientales han provocado una gran fragmentación genética de la especie y las subsecuentes extinciones y colonizaciones le confieren un enorme potencial reproductor.

Entre los factores que pueden limitar el desarrollo del mejillón cebra, destacan la salinidad, la temperatura del agua y la concentración de calcio. Por supuesto, la desecación y la intensidad de la corriente para la fijación de las larvas (umbral máximo) y para la alimentación (umbral mínimo), son también factores ambientales que condicionan la supervivencia de las diferentes fases vitales de esta especie.

Se conocen algunos depredadores naturales del mejillón cebra (cangrejos, aves acuáticas, ratas y algunos peces ciprínidos como el rutilo o la carpa) que se alimentan especialmente de sus fases juveniles (cuando tienen algunos milímetros de tamaño) y pueden de hecho consumir grandes cantidades. Por ejemplo, un solo cangrejo puede consumir del orden de 6.000 mejillones al año, y la predación por aves acuáticas puede disminuir hasta en un 97% la biomasa del mejillón cebra en algunos lagos europeos, especialmente en los meses de invierno. Sin embargo, no parece que puedan ejercer un control efectivo sobre sus poblaciones, excepto en circunstancias muy concretas (McMahon 1996).

La temperatura del agua marca el inicio de la reproducción, pero la respuesta es muy variable entre zonas geográficas. Parece que el inicio de la puesta se puede producir en el entorno de los 12°C, pero se maximiza por encima de los 17-18°C, observándose máximos de larvas velígeras a los 20°C. Se podría considerar que una temperatura por debajo de los 17° empieza a limitar la reproducción del mejillón cebra y este umbral coincide también con el óptimo para el desarrollo larvario y el asentamiento de las larvas pedivelígeras.

La temperatura condiciona por supuesto la tasa de crecimiento de larvas y adultos; se puede tomar un límite inferior de 12°C y entre esa temperatura y los 22°C se ubica el óptimo en el que se observa la mayor la tasa de filtración y el máximo crecimiento de tejidos en adultos. La variabilidad es muy grande y el cuadro se complica porque intervienen fenómenos de aclimatación que modifican los umbrales y óptimos. En todo caso, por encima de 34-37°C pierden la capacidad de aclimatación y se producen mortalidades de prácticamente el 100%.





Otros factores que pueden condicionar su viabilidad son el exceso de salinidad (se relatan umbrales de 4 y 8‰, pero pueden aclimatarse a niveles más altos), el bajo pH (el umbral inferior se sitúa en torno al valor de 6,5 pero los niveles por debajo de 7,4 ya empiezan a estar fuera del rango óptimo), el contenido en calcio de las aguas (el umbral inferior está en 15 mg/l, pero el crecimiento óptimo se produce con valores del orden de 25 mg/l), el déficit de oxígeno (son relativamente poco tolerantes a la anoxia y a las aguas hipolimnéticas hipóxicas) y la desecación. En este último aspecto, se citan mortalidades altas tras tiempos de emersión de 8 días para temperaturas del aire de 25°C (depende también de la humedad relativa).

Su ciclo vital, basado en una elevada tasa de reproducción y rápido crecimiento, presenta diferencias en función de la latitud. En el Río Ebro (Cia 2008), los juveniles aparecen en julio y agosto, siendo más común su fijación a los 3 metros que a mayor profundidad. Durante los primeros tres meses de vida alcanzan los 15 mm, prácticamente la mitad de su talla total. Estos juveniles pueden ser ya sexualmente maduros al final de la estación reproductiva (septiembre). En el mismo trabajo se citan como variables más relevantes para establecer el hábitat del mejillón cebra la velocidad del agua (el rango óptimo se puede ubicar entre 0,2 y 1,2 m/s), el esfuerzo cortante, el tipo de sustrato y la profundidad.

Estos factores se han tenido en cuenta en el presente estudio a la hora de interpretar las observaciones realizadas sobre la fase adulta en el embalse de Mequinenza, y algunos de ellos se han evidenciado con especial claridad en las distribuciones espaciales detectadas, como se verá más adelante.



3. ÁMBITO DEL ESTUDIO Y DISEÑO DEL MUESTREO

El estudio se circunscribe al embalse de Mequinenza que, como se ha relatado en el Tomo II, es uno de los embalses de mayor extensión del país (7.720 ha en mnne). En la LÁMINA 1 se muestra la situación del embalse y los sondeos batimétricos realizados con ecosonda monohaz.

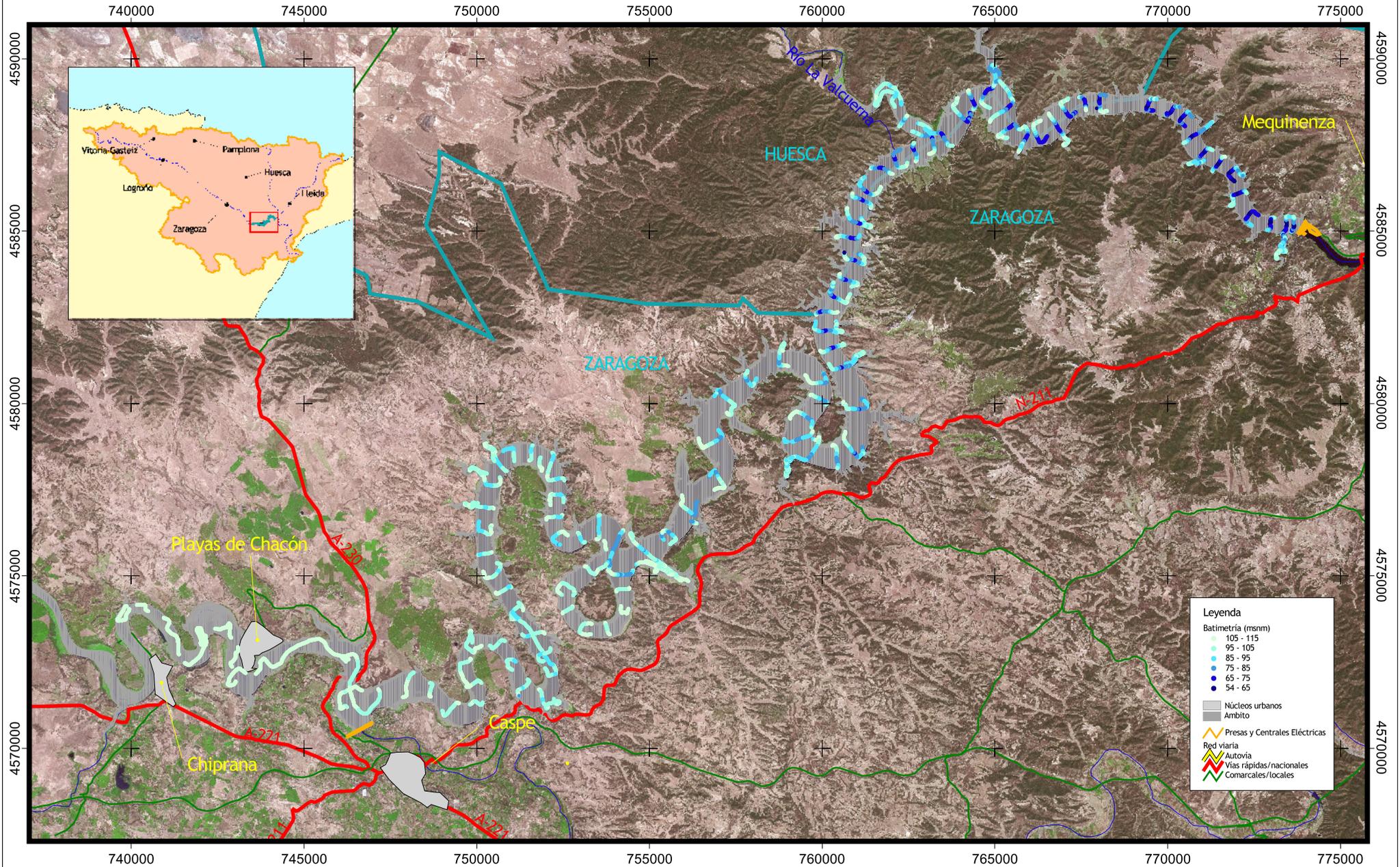
Para poder estimar una superficie de ocupación del mejillón cebra adulto en la totalidad del embalse, se ha recurrido a un muestreo sistemático en bandas transversales de unos 350 m de anchura media, en las que se ha procurado alcanzar una profundidad máxima de 21 m respecto a la máxima cota, por debajo de la cual no se han detectado bancos de mejillones en las prospecciones previas realizadas por los submarinistas del GEAS (ni tampoco en las que ha realizado el equipo que suscribe este informe, durante el desarrollo del estudio, en el año 2008). Esta profundidad corresponde a la cota de 98 msnm.

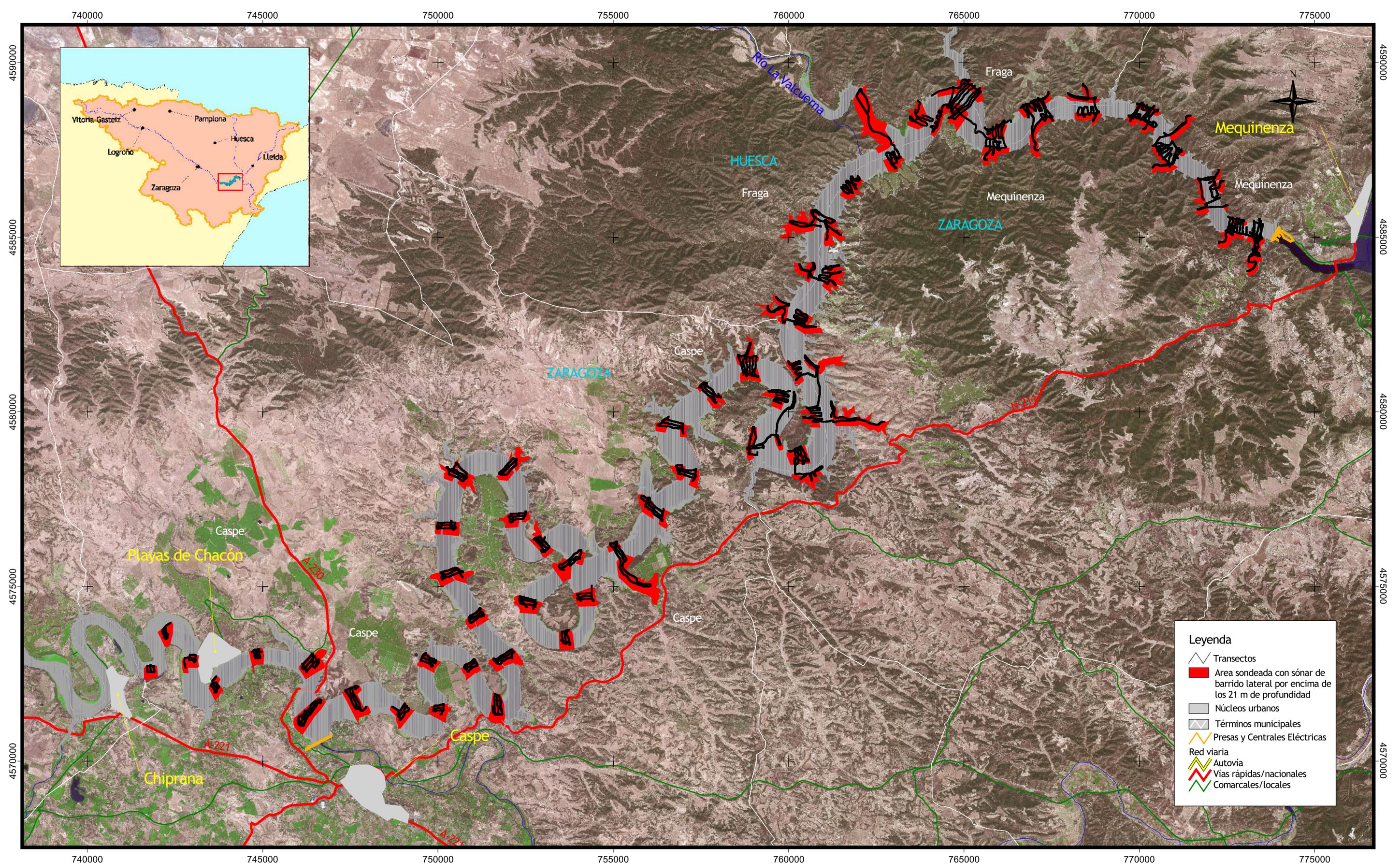
En total, se han cubierto 46 bandas (LÁMINA 2), que vienen a suponer una superficie total muestreada de 1.102 ha en una longitud de transectos de 485 km. Esta superficie representa el 18% del embalse en su máximo nivel, referido a una superficie de 6.119 ha, que es la superficie estimada en el periodo en el que se desarrolló la campaña de sonar (6 al 14 de Junio de 2.007).

De esa superficie muestreada, 700 ha corresponden al Sonar de Barrido Lateral (SSS, en adelante), dado que la anchura de banda es menor que la de la ecosonda multihaz. Sin embargo, si nos ceñimos al intervalo de profundidad potencialmente habitado por el mejillón (cota superior a los 98 msnm), la superficie disponible sería de 3.906 ha (63% de la superficie total de embalse), según la curva hipsométrica elaborada en este trabajo a partir de datos de batimetría.

Dado que la superficie prospectada dentro de ese rango de profundidades ha sido de 503 ha, el área efectiva muestreada con SSS sobre la potencialmente habitada por mejillón supondría el 13%, lo que viene a ser una fracción muy significativa del ámbito de distribución.









4. METODOLOGÍA

El estudio se basa en el uso de técnicas prospectivas remotas que utilizan la hidroacústica como común denominador. El recurso a las técnicas hidroacústicas para el cartografiado de hábitats y comunidades subacuáticas constituye ya un estándar en esta área del conocimiento y responde a su largo alcance, independiente de las condiciones de visibilidad, y a su gran rango dinámico (se pueden detectar objetos de tamaños que transcurren desde pocos milímetros a decenas de metros).

La capacidad de penetración y alta cobertura espacial de la acústica justifica que se haya planteado esta aproximación instrumental como la más idónea para abordar la cartografía extensiva del mejillón cebra, dado que las técnicas ópticas restringen las posibilidades de entrada a ámbitos muy localizados y reducidos. Sin embargo, las técnicas videográficas proporcionan una buena base de verificación (obtención de datos de verdad-terreno), razón por la que se ha recurrido al uso combinado de ambas técnicas en el presente Estudio.

En definitiva, la secuencia metodológica ha sido la siguiente:

- Selección y aplicación de técnicas hidroacústicas para obtener los elementos cartografiables.
- Realización de tomas de vídeo subacuático para la extracción de datos para verificación de los registros acústicos.
- Clasificación de las señales acústicas y elaboración de capas de cartografía temática.
- Aplicación de reglas de colonización del mejillón, obtenidas mediante interpretación y generalización de registros de vídeo y de las fluctuaciones del nivel del agua.
- Estimación de ocupación de mejillón cebra en el conjunto del embalse.

4.1 Campaña de muestreo acústico

Se ha realizado entre los días 8 y 14 de junio de 2008 y ha consistido en la toma de datos acústicos que se indican más abajo, en un total de 46 zonas a lo largo del embalse. Estas zonas



abarcán sobradamente todas las variedades morfológicas del embalse (cañones, ensenadas, terrazas, etc) y se han centrado en el rango de profundidades de 5 a 20 m.

Se han recogido 3 tipos de datos acústicos: sonar de barrido lateral (SSS), ecosonda multihaz (MBES) y ecosonda monohaz (SBES).

La velocidad de avance ha sido inferior a 4 nudos en todo momento. Se ha utilizado un avanzado sonar y un sistema de control de movimientos que permite corregir las desviaciones producidas por el cabeceo (*pitch*), balanceo (*roll*) y guiñada (*yaw* o *heading*) del sonar durante el arrastre, con resolución de 0,1°. Los transectos realizados han mantenido un solapamiento del 20%, pero adaptándose a la configuración orográfica del sector; así, en zonas de pendientes suficientemente tendidas se han seguido recorridos perpendiculares a la costa, como estaba inicialmente previsto, pero en las zonas escarpadas y de mucha pendiente los itinerarios han sido sensiblemente paralelos a la costa.

Se ha utilizado simultáneamente una ecosonda multihaz con 480 haces de 0,75° de resolución cada uno. La resolución vertical mínima en el rango de profundidades en el que se ha trabajado es de 4 cm.

Por último, se han recogido datos con una ecosonda científica monohaz (SBES). Esta información ha sido de gran utilidad para corregir la batimetría de cobertura completa de la ecosonda multihaz, así como para verificar la clasificación acústica de tipos de sustrato realizada con el sonar de barrido lateral.

En la ilustración 1 se muestra la topología en 3D y la imagen de SSS en una zona característica del embalse, con grandes pendientes, y en la que se puede apreciar los notables cambios en profundidad en muy poca distancia.



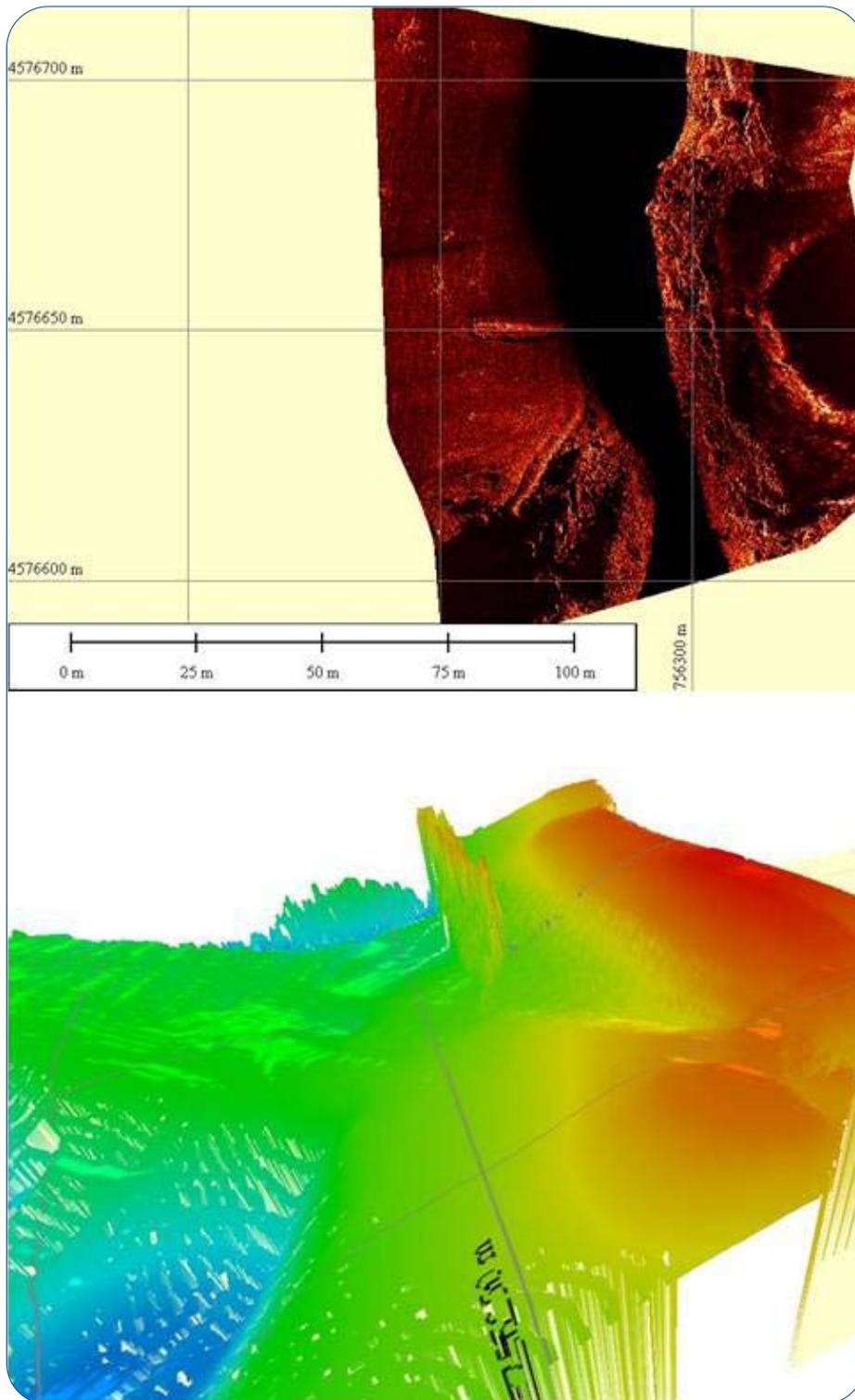


Ilustración 1: Imagen de sonar de barrido lateral de un área con fondo escarpado (arriba), en la que se aprecia un talud rocoso. Abajo se presenta la batimetría obtenida con ecosonda multihaz en la misma zona, en la que se puede observar un cambio súbito de 10 m de profundidad (color rojo) a los 40 m (verde).



4.2 Campaña de muestreo videográfico mediante robot subacuático

Esta actividad se desarrolló en el contexto del *Proyecto I+D-Mejillón Cebra*, entre los días 28 de Julio y 1 de Agosto de 2.008 y tuvo por objeto obtener mosaicos de imágenes georreferenciadas de parcelas del fondo del embalse, para verificar las clasificaciones de tipologías de sustrato y de colonización por mejillón cebra adulto en las zonas de investigación.

Se ha utilizado un robot subacuático autónomo que tiene una estructura abierta y puede navegar activamente y por control remoto en todas las direcciones, gracias a sus 4 propulsores. El vehículo está equipado con un conjunto de sensores, compuesto por una cámara color que mira hacia delante, otra cámara en B/N que mira hacia abajo, una unidad de referencia de movimiento (MRU), un sonar de imagen, una pequeña ecosonda, un hidrófono y un sensor Doppler de velocidad (DVL), junto a una brújula y sensor de cabeceo, un sensor de profundidad y 3 altímetros.

Este robot tuvo que ser adaptado para las exigencias del proyecto, especialmente porque se requería una navegación muy cercana al fondo, debido a la escasa visibilidad, y una corrección constante de movimiento por la compleja morfología del terreno, con frecuentes e intensas rupturas de pendientes, escarpes, presencia de grandes bloques de piedra, etc.

4.3 Procesado de datos acústicos

El proceso de datos de los diferentes formatos específicos de cada instrumento ha sido:

- a) Archivos de datos de SBES en formato del fabricante, de los que se extraen datos de posición, coordenadas y forma e intensidad del eco. Estos datos se han exportado a archivos de texto tipo ASCII, para su representación e interpolado espacial en GIS.
- b) Los archivos de la ecosonda multihaz se convirtieron a archivos de puntos de profundidad e intensidad y posteriormente a puntos con coordenadas geográficas, profundidad e intensidad mediante programación en Matlab (desarrollo en el *Proyecto I+D-Mejillón Cebra*). Todos estos datos fueron suavizados y corregidos para eliminación de errores.
- c) Los archivos del Sonar de Barrido Lateral (SSS) se convirtieron mediante un programa propio a archivos de Matlab, para realizar las conversiones geométricas y radiométricas (rango, ganancia cronovariante, distorsión por cabeceo y balanceo) y los mosaicos





pertinentes. Todos los archivos se guardaron como imágenes .bmp (escala de grises) con los correspondientes datos de GPS para su incorporación al GIS.

La segunda fase del post proceso ha consistido en dividir las imágenes de sonar en clases que, posteriormente, se han asignado a diferentes tipologías bentónicas, utilizando algoritmos de clasificación que se basan en numerosos parámetros de entrada, que enfatizan diferentes aspectos del medio y del sustrato.

4.4 Procesado de datos videográficos

Esta actividad, desarrollada en el contexto del *Proyecto I+D-Mejillón Cebra*, ha servido para preparar un total de 11 mosaicos, en otras tantas zonas, pero la calidad ha sido heterogénea debido a que las condiciones de trabajo han sido muy limitantes para este prototipo de robot autónomo.

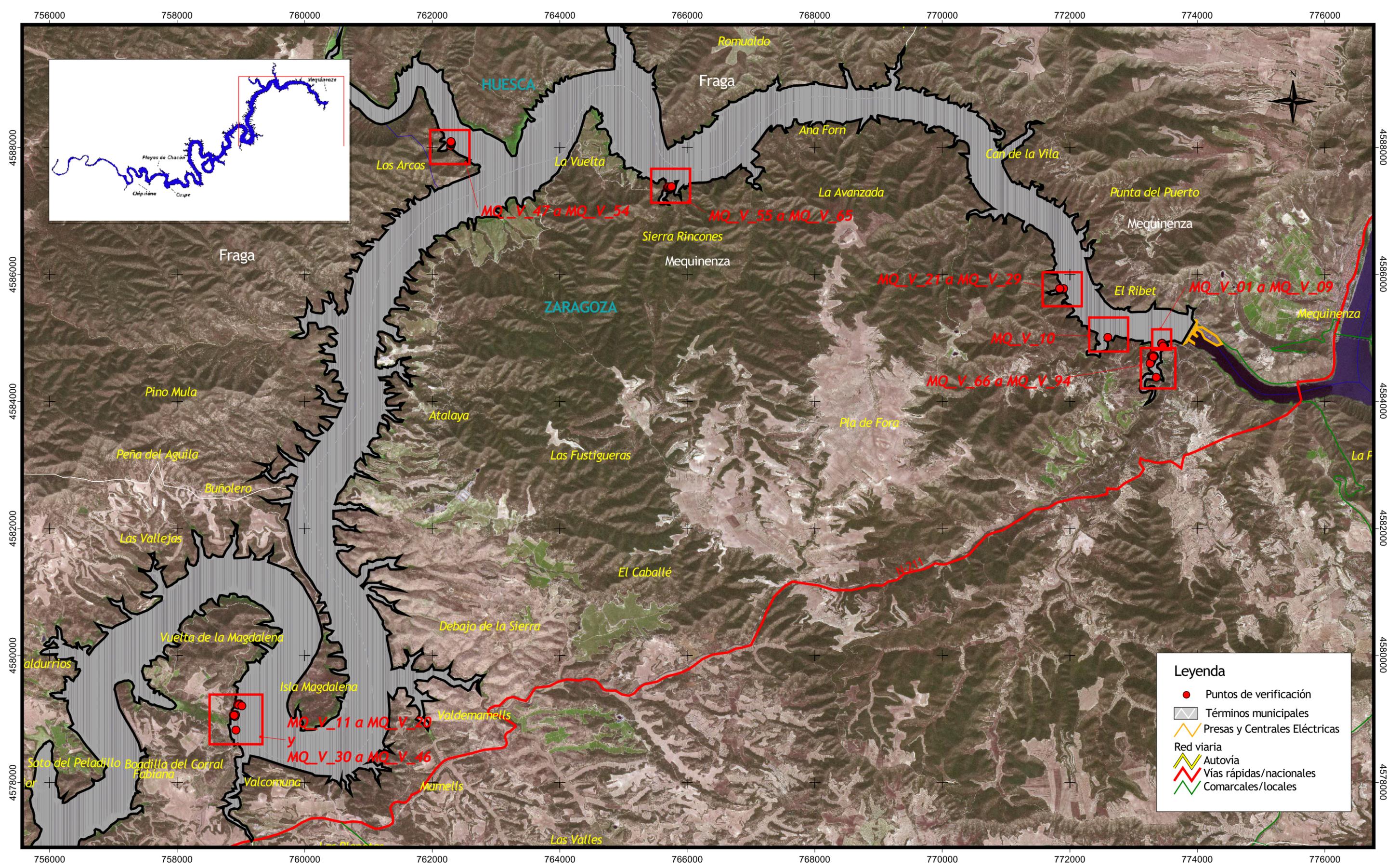
Además, se han tenido otros problemas relacionados con los sistemas de posicionamiento del vehículo y en la generación de mosaicos, provocados por las exigencias de navegación en un terreno tan abrupto. De este modo, solamente 2 de los 11 mosaicos obtenidos tienen una precisión compatible con las necesidades de verificación y esto ha obligado a realizar una nueva campaña de vídeo, utilizando en este caso una cámara de vídeo transportada por buzos y otra cámara operada desde el barco.

4.5 Campañas complementarias de muestreo videográfico: grabaciones en inmersión y desde barco

Entre los días 28 al 30 de Octubre de 2.008, se realizaron grabaciones complementarias de vídeo, para subsanar la carencia de imágenes de verificación georreferenciadas con el robot autónomo (ver LÁMINA 3).

Para ello, se realizaron barridos mediante buceadores autónomos del Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil (en adelante GEAS) en 4 zonas experimentales, utilizando una cámara digital con carcasa de inmersión. Esta actividad se ha desarrollado gracias a la mediación de Endesa y colaboración del GEAS.

Estos barridos se realizaron entre 1 y un máximo de 20 m de profundidad, marcando los extremos del eje central del área a prospectar mediante boyas, de las que se tomaba la posición y





profundidad mediante el GPS y la ecosonda. A los dos lados de la línea que unía las boyas se hacían un total de 4 recorridos paralelos, intentando solaparlos lateralmente.

Por otro lado, y como actividad extra aportada por Ecohydros, se han realizado tomas de vídeo en nueve (9) zonas del embalse, utilizando una cámara submarina con foco halógeno, fijada a un soporte que la mantenía enfocando verticalmente hacia abajo.

Dichas tomas se han efectuado mediante lances de arrastre desde el barco a muy baja velocidad (<1 nudo).

Durante las grabaciones, se ha registrado la trayectoria seguida, mediante GPS, de modo que se puedan posicionar hitos concretos de interés en las grabaciones. De estas grabaciones se han extraído un total de 94 segmentos homogéneos de tipo de sustrato, grado de colonización por mejillón cebra e intervalo de profundidad, cuyas características se facilitan en el ANEJO I de esta Memoria.





5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se exponen según una secuencia lógica, que se inicia con la adquisición y tratamiento previo de los datos acústicos, centrada en este caso en los sonogramas obtenidos con SSS. Posteriormente, se describen los hallazgos alcanzados mediante las diferentes herramientas videográficas utilizadas, tanto en relación a la tipología del sustrato, como a la presencia y cobertura estimada de mejillón cebra. Por último, se describe el resultado de la clasificación de los sonogramas y la estimación poblacional en el conjunto del embalse, a partir de la generalización de las observaciones realizadas.

5.1 Sondeos hidroacústicos

El sonar de barrido lateral ha proporcionado sonogramas de alta resolución en una cobertura total de 700 ha, de las que 503 están por encima de la cota límite de presencia del mejillón (98 msnm).

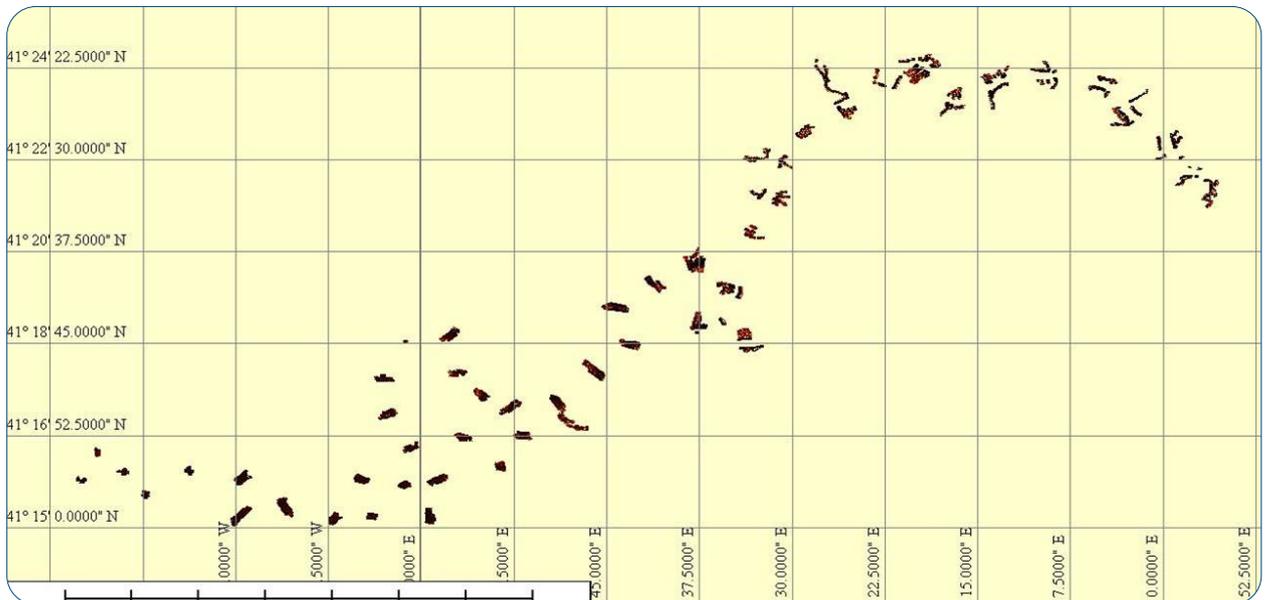


Ilustración 2: Disposición espacial de los sonogramas en el conjunto del embalse de Mequinenza

En la ilustración 3 se puede obtener una mejor idea de la resolución que se alcanza con este tipo de herramienta, en una zona en la que se han presentado objetos reconocibles hundidos.

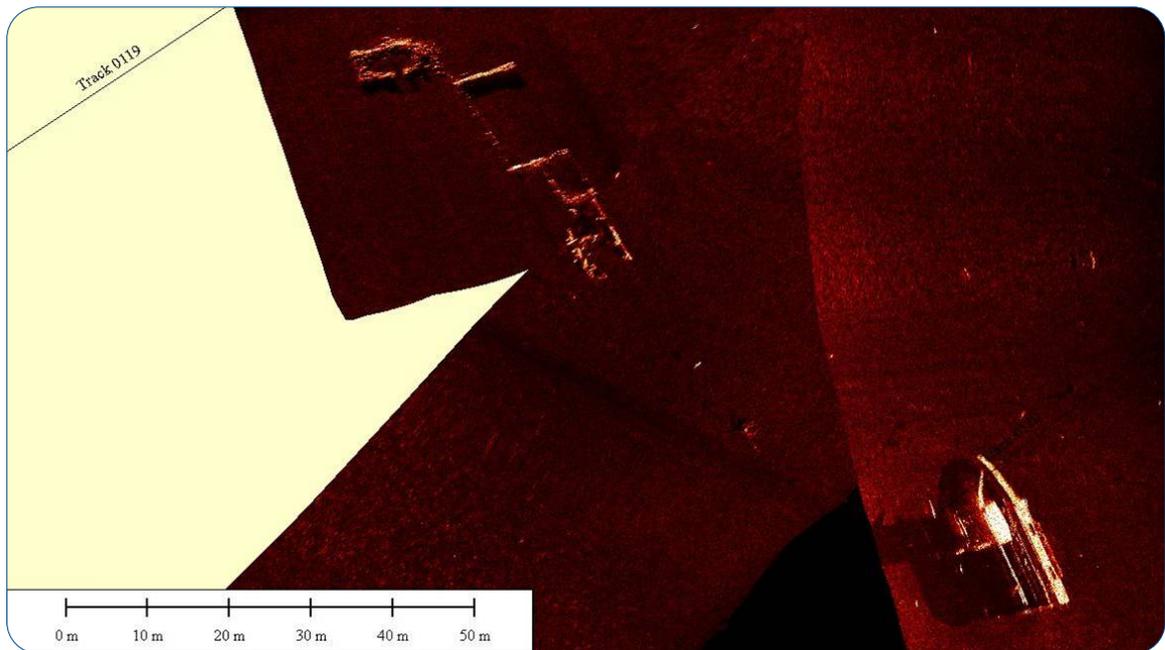


Ilustración 3: Detalle de un barco y edificaciones sumergidas en uno de los registros de sonar

Una de las zonas en las que se han obtenido imágenes para verificación con vídeo es en la rampa que penetra el embalse desde unas instalaciones recreativas en el área conocida como “Mas de la Punta” (Ilustración 4).



Ilustración 4: Ubicación de la zona de registro de sonar y vídeo en el paraje de “Mas de la Punta”



En dicha zona se ha obtenido un registro de sónar (Ilustración 5) en el que se distingue claramente la rampa, hasta el punto en el que queda descolgada, y por otro lado se ha realizado un barrido de vídeo mediante inmersión, entre los dos puntos marcados, de modo que constituye uno de los puntos de verificación más nítidos y reconocibles. Sin embargo, los mejillones se presentan solamente en las caras laterales de las piedras y en el borde de las estructuras.

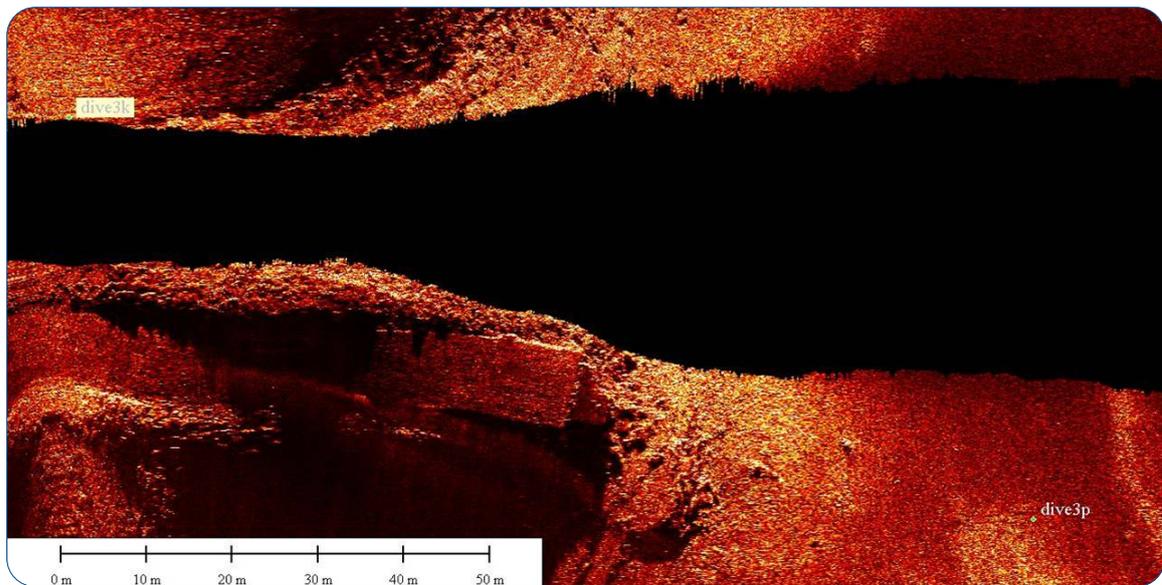


Ilustración 5: Ubicación de la zona de registro de sónar y vídeo en el paraje de “Mas de la Punta”

Por otro lado, se han obtenido registros de ecosonda multihaz, que han servido para levantar la batimetría detallada en los sectores muestreados. Se ha obtenido una nube de 32.000.000 de puntos, con una densidad de 40.000 puntos/ha, muy superior a las densidades de 3 a 15 puntos/ha (según la densidad del muestreo) que se consiguen con la ecosonda monohaz. Esto ha permitido ubicar puntos con una separación media de unos 50 cm. De esta manera, el sondeo con MBES tiene resolución suficiente para análisis texturales y de fisiografía a microescala.

Por último, se dispone de la información obtenida con ecosonda monohaz (Ilustración 6), de la que se ha extraído una nube de puntos clasificados según el tipo de sustrato. Estos puntos han servido también para entrenar el algoritmo de clasificación de los sonogramas.

Los resultados de este análisis proporcionan una dominancia de sustrato blando (58%) y aproximadamente la cuarta parte (26%) de sustrato rocoso. Las gravas y guijarros son minoritarias en el conjunto del embalse (16%).

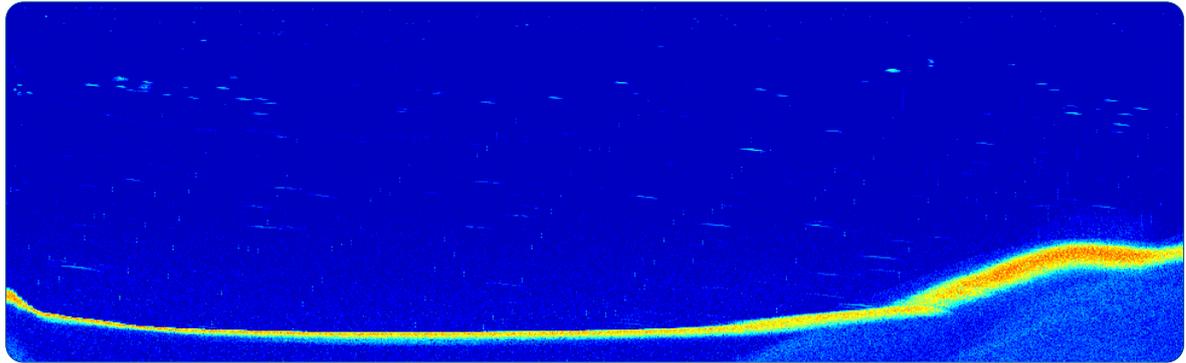


Ilustración 6: Imagen de un ecograma de ecosonda monohaz, en la que se aprecia a la derecha un cambio a sustrato rocoso irregular.

5.2 Características morfométricas del embalse

El área de estudio considerada ha sido de 6119 ha, correspondientes a un tramo de 105,5 km. Con una sinuosidad de 2,23. Se trata, por ello, de un tramo meandriforme. La pendiente longitudinal del cauce en el tramo de estudio es de $0,52/_{00}$. El rango de cotas va de 119 a 54 msnm, con lo cual la profundidad máxima encontrada ha sido de 65 m.

Los datos batimétricos han permitido elaborar una curva hipsométrica del embalse (Ilustración 7), que puede ser definida con la siguiente expresión:

$y = 1,6271x^2 - 12,432x + 118,53$ siendo "x" la cota e "y" la superficie acumulada en ha.

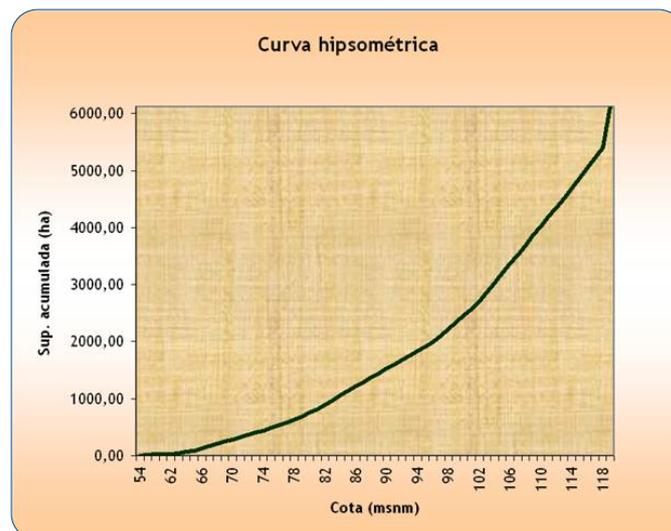


Ilustración 7: Curva de superficie del embalse en función de la cota



En dicha gráfica las pendientes se pueden leer inversamente a la superficie acumulada. Las mayores pendientes se dan en las cotas inferiores (54 a 64 msnm) correspondiendo al cauce del río en el fondo del vaso del embalse.

El siguiente tramo (64-100 msnm) corresponde a sectores rocosos del vaso, más abundantes en el tramo inicial del embalse. A partir de los 100 msnm predominan los fondos aterrados de la mitad posterior del embalse, visibles por una atenuación de la pendiente. El último tramo de la curva (a partir de 115 msnm) está condicionado por la presencia de las reculadas más someras.

Si se analiza por segmentos desde la presa hacia la cola, se aprecia que en los 10 km aguas arriba de la presa se alcanzan pendientes del 20%, transversalmente al eje del vaso. En la zona central, a la altura de la Vuelta de la Magdalena, se encuentran valores del 7%. Finalmente, a la altura de Caspe, se reducen al 3% debido a la presencia de fondos mayoritariamente aterrados. Las mayores pendientes apuntan a una mayor presencia de afloramientos rocosos y una mayor disponibilidad de hábitat para el mejillón cebra.

Por ello, los condicionantes de la fisiografía del vaso son, por un lado, las formas estructurales consistentes en afloramientos rocosos y, por otro, el transporte de sólidos a través del río. Estos sólidos son retenidos en su mayoría por el embalse.

A partir de las verificaciones del vídeo se pueden apuntar las características morfosedimentarias del embalse, con predominio de limos y gravas. En ocasiones, la capa de limos tiene muy poco espesor y se asienta sobre sustratos más gruesos, lo que da idea de la gran movilidad de los depósitos de finos y su dependencia del régimen de avenidas. Hay que recordar, en este sentido, que el embalse de Mequinenza es el primero del sistema Mequinenza-Ribarroja-Flix, y, por ello, recibe una buena parte de los aportes sedimentarios del río Ebro.

Aunque la mayor parte de los arrastres se producen a través del Ebro, los restantes proceden principalmente de la margen izquierda del embalse. Esta dinámica condiciona tanto la fijación como la permanencia del mejillón cebra.

5.3 Registros de vídeo

Las verificaciones de vídeo se han ubicado en el sector menos aterrado del embalse (30 km aguas arriba de la presa y reculadas conectadas), dada la mayor probabilidad de aparición de mejillón cebra.



No obstante, se han tomado imágenes de todas las tipologías de fondo, profundidades y grados de cobertura de mejillón que se presentan en el embalse, ya que los sistemas de clasificación automática requieren verificaciones no unívocas. Esto ha permitido, además, establecer de forma empírica una cota mínima de presencia de mejillón cebra.

La información de las diferentes fuentes de vídeo, descritas en el capítulo anterior, ha sido discretizada en fotogramas georreferenciados. Los fotogramas elegidos responden a zonas homogéneas definidas por tres atributos: cobertura de mejillón cebra (porcentajes de superficie de ocupación en la imagen), tipo de sustrato y profundidad.

El tipo de sustrato se ha asignado según al porcentaje de superficie ocupada por las siguientes categorías:

- Roca, bloques y cantos
- Gravas y guijarros
- Fondos blandos (arenas y finos)

Las dos últimas clases se han agrupado en “fondos blandos”, ya que en ocasiones eran de difícil identificación en las imágenes y, en cualquier caso, no era significativo, puesto que no son sustratos útiles para el mejillón.

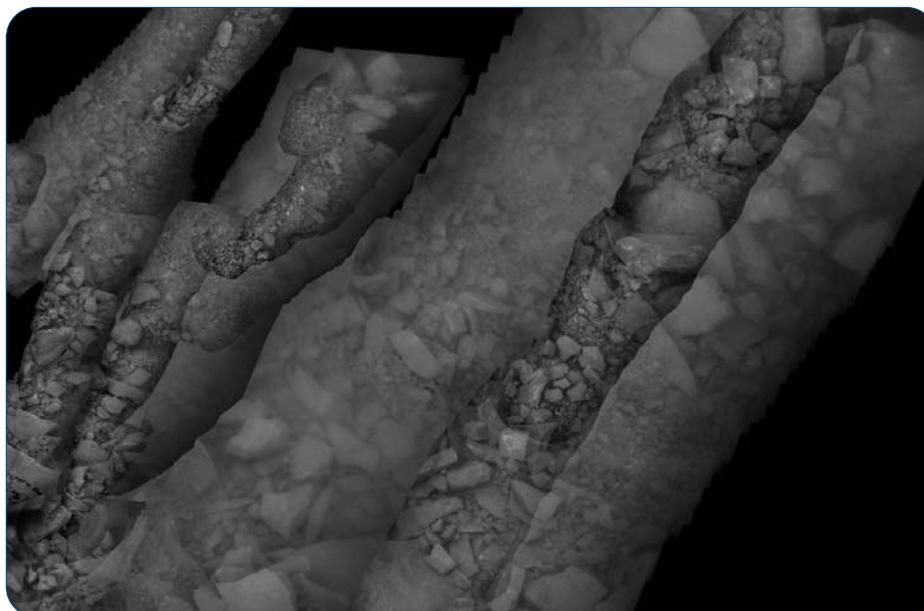


Ilustración 8: Mosaico de vídeo obtenido con el robot autónomo en el que se muestra un fondo dominado por gravas y guijarros, sin indicios de colonización por mejillón cebra. Este tipo de fondo clástico equivale a la categoría de “gravas y guijarros” en la clasificación de los sonogramas, si bien incluyen también arenas gruesas y detritos que en ocasiones consisten en acumulaciones de conchas de mejillones muertos.



Otra de las variables con las que se ha trabajado es la profundidad. A cada fotograma se le ha atribuido un rango de profundidades a partir de los datos batimétricos acústicos.

A partir de los diferentes registros de vídeo, se ha elaborado una serie de tablas (ANEJO I) de clasificación de segmentos homogéneos en cuanto a la profundidad, cobertura de mejillón (escala ordinal en porcentaje) y tipo de sustrato.

En total se han obtenido 94 puntos (fotogramas) de verificación que discretizan otras tantas áreas homogéneas, de los cuales en 30 se ha detectado mejillón cebra (Tabla 1).

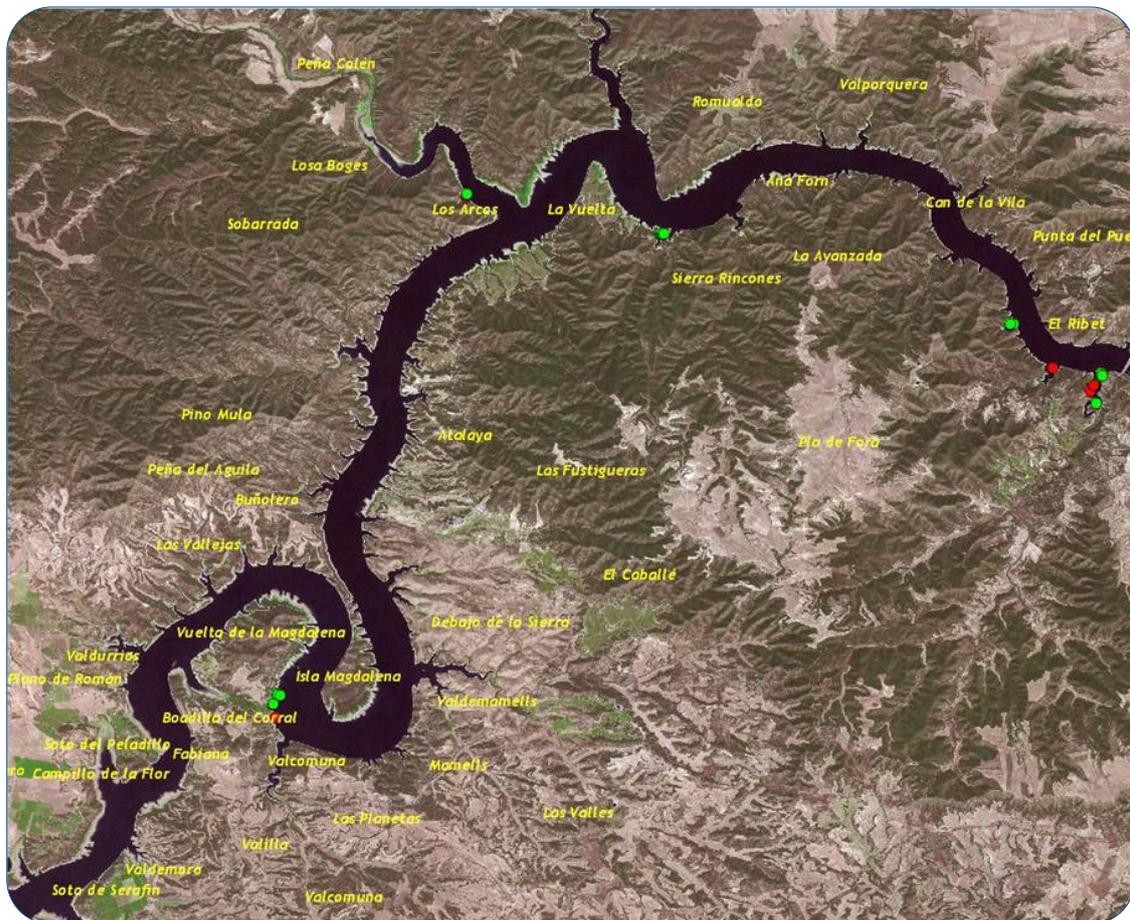


Ilustración 9: Ubicación de los puntos de verificación de vídeo. En rojo los que tienen presencia significativa de mejillón cebra

La mayor cobertura de mejillón se aprecia en los primeros metros (Ilustración 10), con un máximo a los 6 m (50% de cobertura); este valor está enmarcado por dos submáximos a los 3 y 9 m de profundidad, de algo más del 10% de cobertura.





A los 17 m de profundidad se produce otro submáximo que supera el 10% de cobertura media y que además representa la profundidad a la que aparece con mayor frecuencia el mejillón; hay que hacer notar, no obstante, que la incidencia de conchas grandes y vacías es muy superior a estas profundidades.

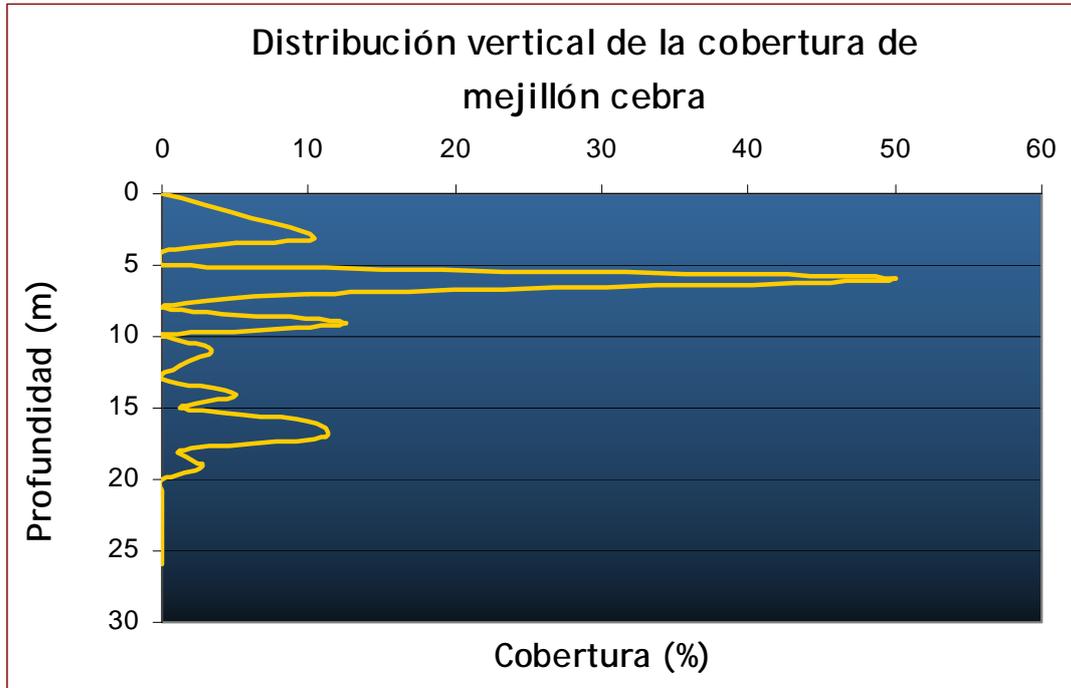


Ilustración 10: Relación entre la cobertura de mejillón cebra y profundidad en las observaciones de vídeo

En general, se aprecia una disposición en bandas de escasos metros de profundidad, que indican la existencia de gradientes de profundidad en la distribución del mejillón (Tabla 1).

Estrato (m)	Nº de observaciones	Profundidad media (m)	Cobertura de mejillón cebra (%)
0-6	6	4	11,8
7-15	10	12	3,3
16-21	14	18	6,0
Todos	30	13	5,6

Tabla 1. Detalle de las observaciones de vídeo en las que se ha encontrado mejillón cebra





Las verificaciones de vídeo han permitido constatar que el mejillón cebra se asienta sobre sustrato de bloques en el 90% de los casos, y sobre guijarros en el 10%. La presencia en guijarros se ha encontrado siempre de forma subsidiaria a la de bloques, cuando existían estos.

Las observaciones realizadas son coherentes con otras obtenidas en el bajo Ebro (Ribarroja-Flix) por Palau (2004), que en experimentos de colonización de sustratos artificiales (cuerdas) observaban bandas de colonización preferente superficiales y subsuperficiales, si bien estas últimas se presentaban algo más arriba que en el embalse de Mequinenza.

En cuanto a la distribución a escala de microhábitat, se aprecia una acusada tendencia del mejillón a colonizar las caras laterales y grietas de las rocas, donde inicia un proceso que a su vez puede modificar las condiciones en el entorno cercano y generar nuevo hábitat. Esta especie de iniciación de colonización en determinados micro relieves podría estar relacionada con la hidrodinámica, en un ambiente que eventualmente padece un aporte excesivo de partículas sedimentarias que podrían colmar las estructuras de filtración del mejillón o incluso enterrarlos.



Ilustración 11: Fotograma de uno de los vídeos en inmersión, en el que se aprecia la preferencia del mejillón por las caras laterales y grietas de las rocas, lo cual está relacionado con la hidrodinámica a la escala de microhábitat

Otra de las observaciones destacables es la dominancia de tamaños pequeños en el estrato superior de profundidad y de mejillones de mayor tamaño en los estratos profundos. Sin embargo, en este último caso se trata de ejemplares muertos en su mayoría que puede deberse



tanto a la finalización del ciclo vital de una cohorte dominante, como a un evento de emersión después de varios años de inmersión continua.



Ilustración 12: Fotograma de uno de los vídeos en inmersión, en el que se aprecia una colonia de mejillón cebra muerto, fácilmente distinguibles porque presentan las valvas abiertas.



Ilustración 13: Fotograma de uno de los vídeos en inmersión, en el que se muestra el característico fondo blando de arenas y finos, dominante en el embalse de Mequinenza.



5.4 Clasificación de sonogramas

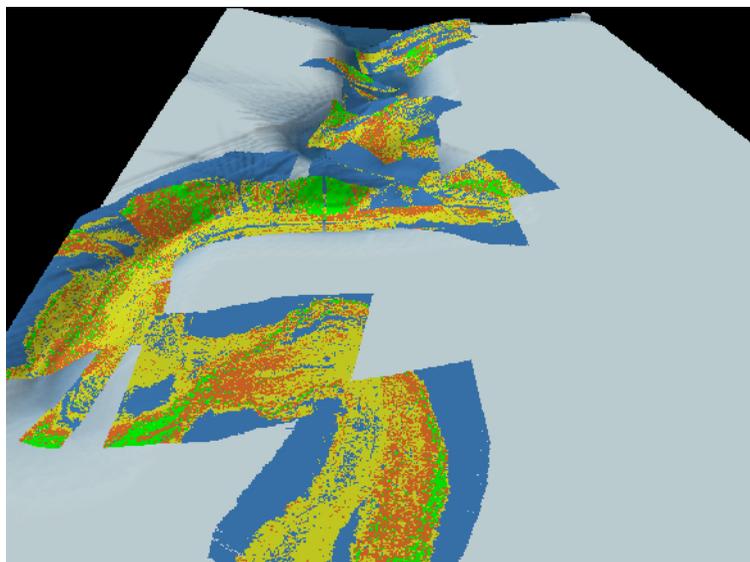
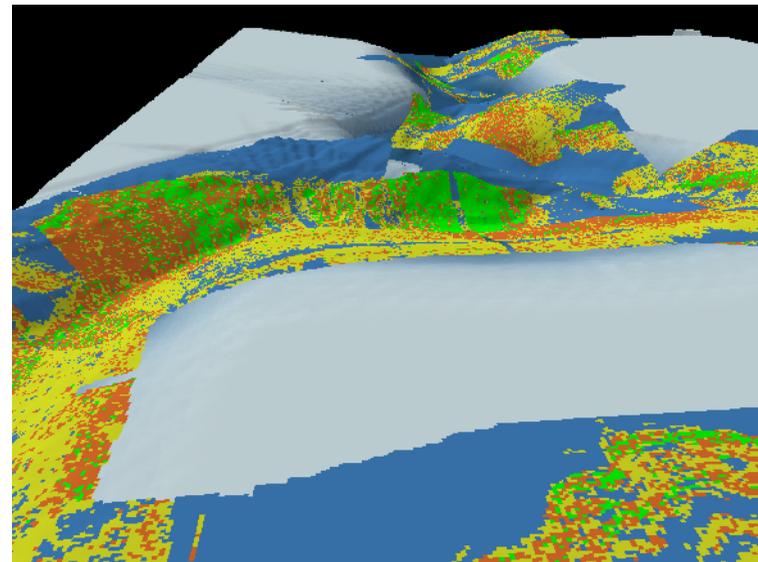
La cuantiosa información acústica procesada aporta una buena estimación de los tipos de sustrato por intervalo de profundidad para todo el embalse.

La clasificación final se ha resumido en tres categorías (ver apartado anterior), dado que la extensión y heterogeneidad de condiciones morfológicas, tanto en el gradiente longitudinal del embalse como en las reculadas y ensenadas frente al cuerpo principal del embalse, ha generado variaciones notables en los parámetros acústicos para un mismo tipo de fondo. En todo caso, esta diferenciación permite realizar estimaciones de ocupación del mejillón para todo el embalse.

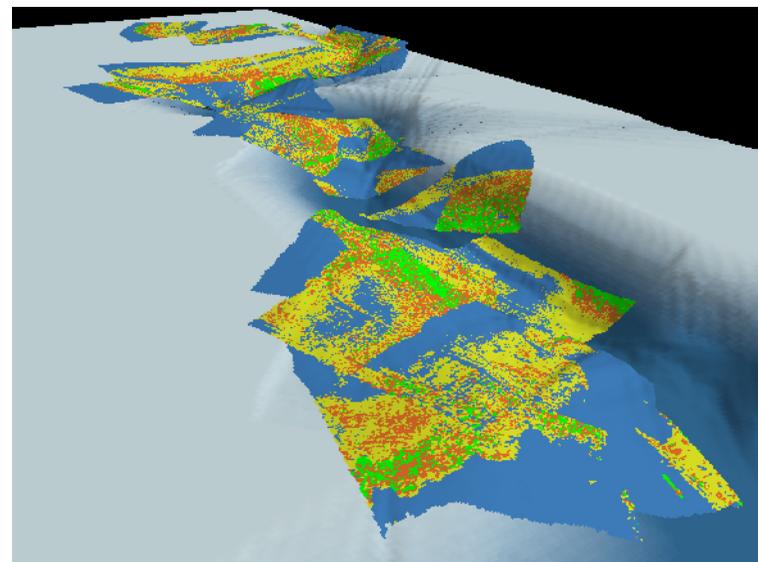
En la LÁMINA 4 se presenta el resultado del proceso en una de las zonas en las que se ha trabajado, en este caso en una ensenada lateral cercana a la presa. En dicha lámina se disponen varias perspectivas del modelo batimétrico digital con la superposición de los tipos de sustrato clasificados a partir de los sonogramas. Se puede apreciar en este caso una clara dominancia de fondos de clastos sueltos (gravas y guijarros) en los taludes de la vaguada y de sustrato blando en las zonas deposicionales inferiores. El sustrato rocoso que genera más disponibilidad de hábitat para el mejillón cebra se distribuye en vetas más o menos discretas y en zonas de máxima pendiente.

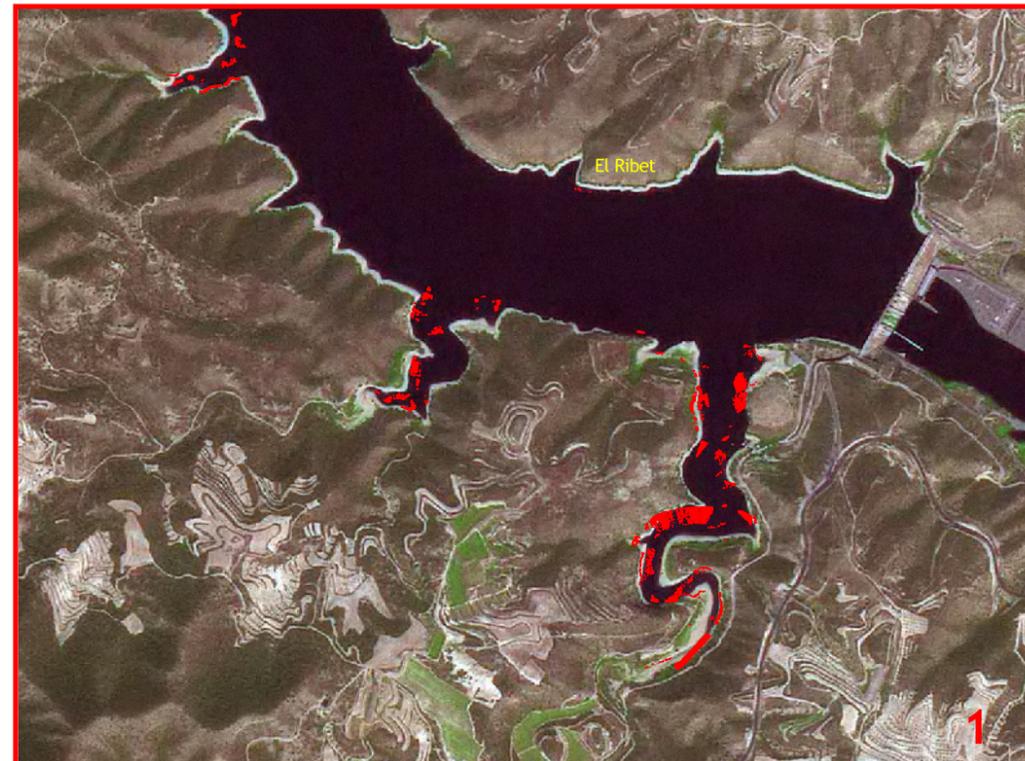
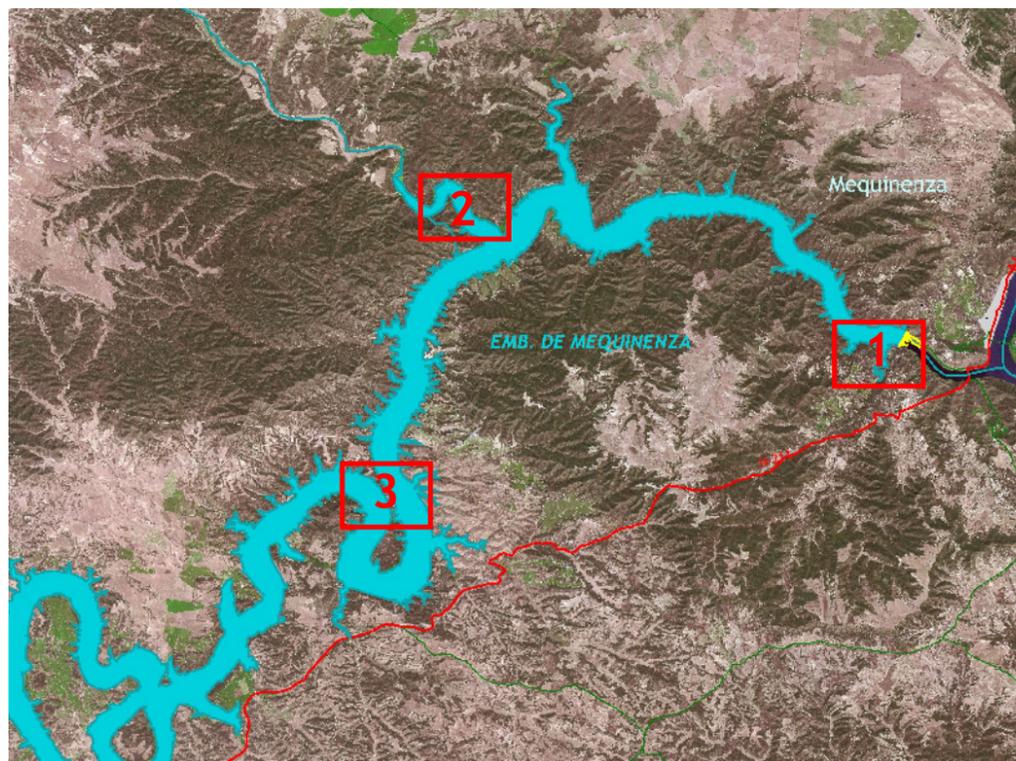
Si se combina esta información con el umbral de mínima cota observada de presencia de mejillón en el embalse, se puede plantear para cada zona prospectada una superficie de disponibilidad de hábitat (al que nos referimos en ocasiones como hábitat potencial) para el asentamiento del mejillón cebra. En la LÁMINA 5 se representa el detalle de esta distribución en tres de las áreas en las que se ha trabajado.

En proyección vertical (lámina de agua), se han prospectado un total de 568 ha de las 3.856 ha que se estima tiene el embalse entre las cotas 98 y 119. De las detecciones de ecos simples, el 26% han sido de fondos rocosos y el 58% de fondos blandos. En las estimaciones con Sonar de Barrido Lateral la superficie estimada de fondos susceptibles de generar sustrato útil para el mejillón representa el 12% del total prospectado.

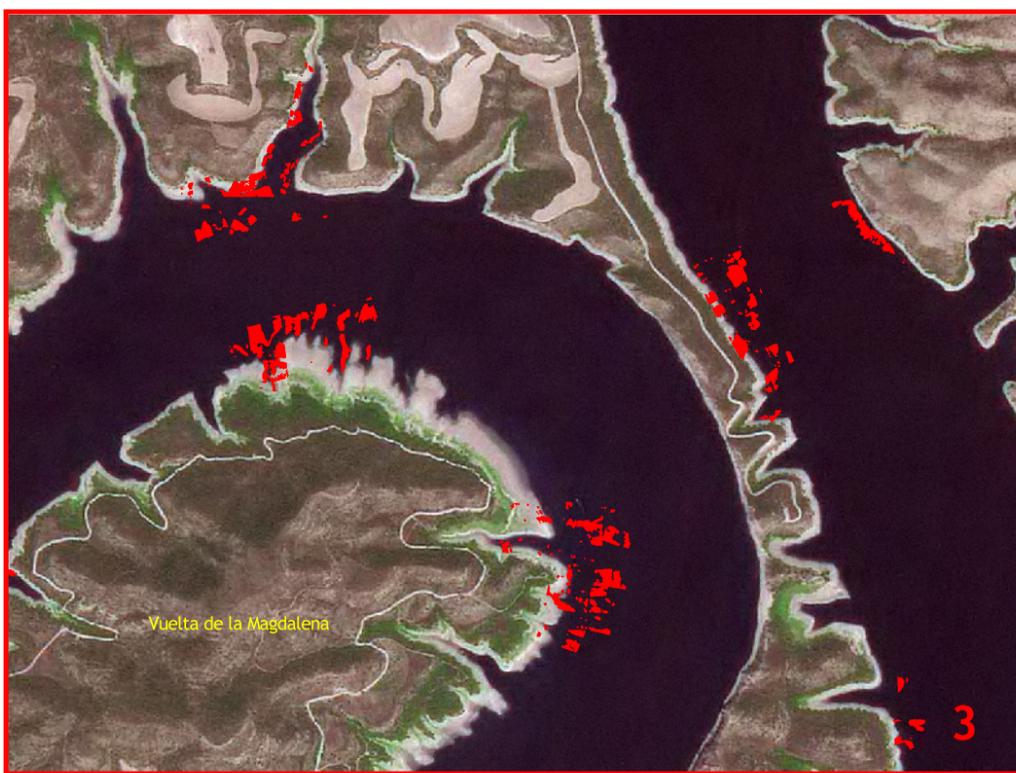


- Leyenda**
- Hábitat potencial: rocas y cantos
 - Gujarros y gravas
 - Sedimentos blandos
 - Sombra y ecos débiles





Distribución de hábitat potencial útil en las proximidades de la presa



Vuelta de La Magdalena

Leyenda
■ Hábitat potencial



Area de Los Arcos



5.5 Estimaciones globales

Con la información obtenida mediante los diferentes tipos de métodos prospectivos, se ha realizado una aproximación a la disponibilidad y uso por el mejillón cebra del hábitat en el embalse. Los criterios que se han adoptado han sido los siguientes:

- a) Superficie de sustrato habitable (rocas y cantos) según las estimaciones con sonar de barrido lateral.
- b) Límite inferior de distribución en la cota de 98 msnm, según las observaciones de vídeo realizadas.
- c) Segmentación vertical en tres estratos, en cuyo intervalo de profundidad se incluyen los tres máximos de cobertura y presencia de mejillón observados. Además, estos estratos tienen relación con la influencia de las fluctuaciones del nivel del agua, en el sentido de que presentan periodos de emersión/inmersión con diferencias relevantes en cuanto al momento del ciclo biológico en que se producen.

Como se puede observar en la ilustración 14, en el estrato superior se producen las fluctuaciones de nivel de menor rango y de onda corta, que transcurren desde el llenado invernal del embalse hasta el inicio del verano. No obstante, el último ciclo (año 2.007/08), que es en el que se ha desarrollado el presente Estudio, presenta un vaciado más intenso y prolongado, y una recuperación más tardía. Esto puede explicar la abundancia de mejillón muerto en esos niveles de profundidad.



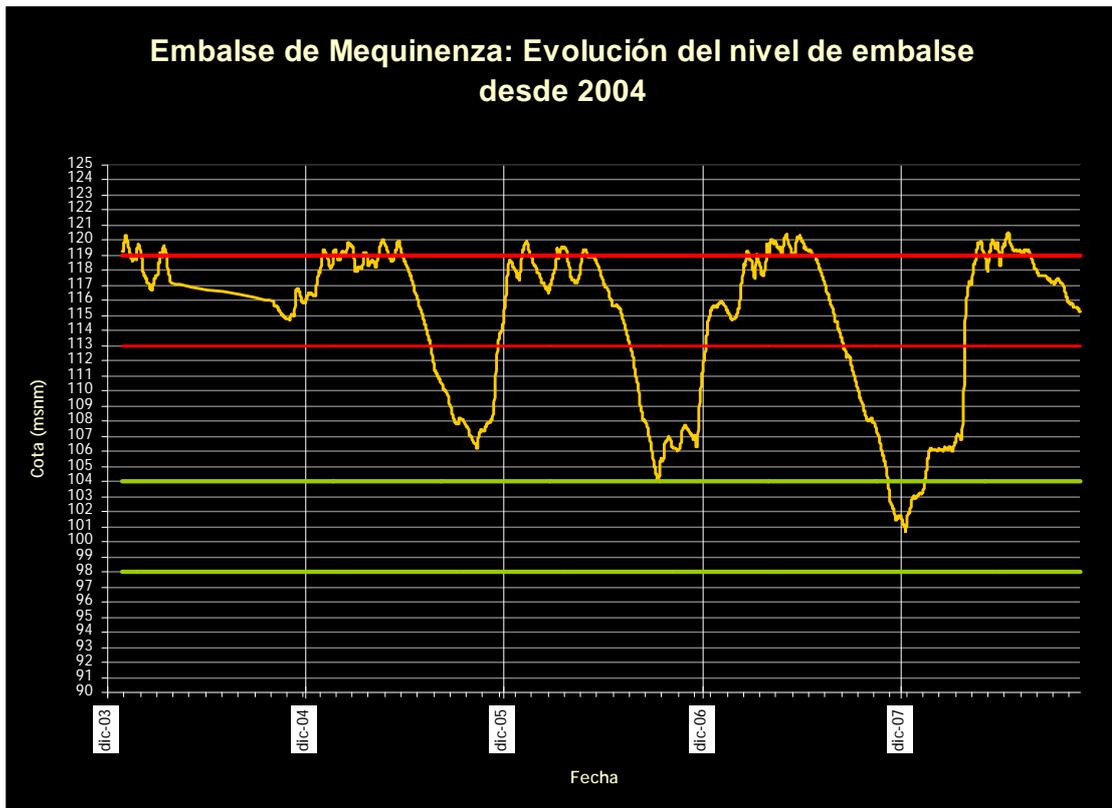


Ilustración 14: Evolución del nivel del agua en el embalse de Mequinenza durante los 5 últimos ciclos hidrológicos. Las líneas rojas enmarcan el estrato de profundidad superior y las verdes el profundo, según se han definido en este trabajo.

Si ampliamos ese último año (Ilustración 18), se puede observar que las dos primeras campañas (acústica y vídeo con robot autónomo) se han realizado con el embalse en niveles cercanos al máximo, mientras que las observaciones complementarias de vídeo (GEAS y Ecohydros) se han realizado durante el inicio del vaciado del embalse, con dos metros menos de nivel.

Pero lo que resulta más interesante es constatar que las observaciones de vídeo coinciden con las constricciones que imponen los ciclos de nivel del agua en los periodos de emersión. En efecto, se ha observado un estrato somero (entre 6 y 8 metros de profundidad) en el que se aprecian colonizaciones intensas de mejillones de pequeña talla y que indudablemente corresponde al último reclutamiento iniciado en ese mismo verano (Ilustración 15).

Existe un nivel profundo que aproximadamente alcanza la cota 98, por debajo de la cual ya no se detectan mejillones y cuyo límite superior parece tener relación con las fluctuaciones de nivel del agua de ciclo anual, que en los tres últimos años se ha ido hundiendo a cotas más bajas. Esto explicaría la abundancia de mejillones muertos de talla grande (ilustración 18) a este nivel.





Ilustración 15: Fotografía de una zona recientemente emergida en la que se aprecia la nueva colonización (reclutamiento del año) de mejillones. Estos individuos tendrán entre 1 y 2 meses de edad (ver cinta aislante como referencia de tamaño) y representan el primer estrato de profundidad de los tres definidos. Se aprecia además que existen zonas de asentamiento preferentes y una clara dependencia del microrelieve del sustrato en las primeras etapas de la colonización.



Ilustración 16: Canto recogido en los primeros metros de profundidad, en el que se observa el reclutamiento del año y la colonización diferencial de las diferentes caras de la piedra.



Ilustración 17: Concha de un mejillón cebra de talla cercana a la máxima que alcanzan en el bajo Ebro.

Entre ambos estratos se ubica uno intermedio con escasez de mejillones, hecho que podría estar relacionado con la combinación de al menos dos factores: periodo de emersión interanual que impide la supervivencia de los individuos reclutados en el año, y la excesiva profundidad del agua en el periodo de nuevo reclutamiento. Efectivamente, se ha descrito (O'Neill, 1996) que el mejillón cebra muestra una preferencia por los primeros metros (2 a 7 metros de profundidad en los ambientes lacustres), "como consecuencia de la combinación óptima de factores como la temperatura del agua, el contenido de oxígeno y la disponibilidad de alimento" (Cia, 2008).

En la tabla 2 se presentan los cálculos y estimaciones realizadas a partir de estos supuestos. En dicha tabla se facilitan las superficies bentónicas totales (columnas encabezadas como "DATOS HIDROGRÁFICOS") de cada estrato y la proporción que representan respecto a todo el embalse. En las columnas encabezadas como "SONOGRAMAS" se facilitan los resultados del muestreo de sonar en la superficie realmente prospectada, la que supone el sustrato útil para el mejillón (rocas y cantos) y la que se estima que ocupa el mejillón cebra, a partir de las coberturas estimadas que se disponen en la columna "cobertura media"; se facilitan además las proyecciones de estos resultados para todo el embalse ("ESTIMACIONES PARA TODO EL EMBALSE").

El área del embalse en el que se dispone el hábitat potencial del mejillón (hasta la cota 98) representa el 60% del área bentónica total del embalse. Esta franja se extiende por 3.856 ha que



se reparten en mayor medida en los estratos somero y medio (23% en cada uno) y tiene menos representación (14%) en la profunda.

Sin embargo, el sustrato potencial (rocoso) para el mejillón cebra tiene mayor representación en el estrato somero (18%) que en los más profundos (12% en ambos). Esto, unido a que la mayor cobertura se ubica también en esa franja, implica que la mayor superficie de ocupación por mejillón cebra en el embalse se disponga por encima de la cota 113.

En total, se estima que habrá en torno a 29 ha de superficie bentónica ocupada por mejillón cebra. A título orientativo, esto significa que, si se asume un valor aproximado de biomasa de 1 kg/m² -que está en el rango de los valores ofrecidos para sustratos rocosos en los estudios del bajo Ebro (Cia, 2008)-, se tendría una estimación del orden de 300 t de mejillones (peso fresco) en el embalse. No obstante, hay que tener en cuenta que en el estrato somero (de mayor densidad) los mejillones son pequeños (reclutamiento anual) y que en los estratos profundos se ha apreciado una notable incidencia de colonias muertas.





Tabla 2. Estimaciones de disponibilidad de hábitat y de cobertura de mejillón cebra en el embalse de Mequinenza

Estrato	Profundidad	Cota	DATOS HIDROGRÁFICOS		SONOGRAMAS					ESTIMACIONES PARA TODO EL EMBALSE		
			Superficie bentónica		Resultados muestro de sonar			Cobertura mejillón cebra		Superficie de hábitat disponible	Superficie ocupada por mejillón cebra	
			Total	Fracción respecto a total del embalse	Superficie prospectada (ha)	Superficie de sustrato potencial	Cobertura media	Superficie ocupada por mejillón cebra				
m	msnm	ha	%	ha	ha	%	%	ha	ha	%	ha	
<i>Somero</i>	0-6	119-113	1.464	23%	11	2	18%	7,0%	0,1	270	4,3%	19
<i>Medio</i>	6-15	113-104	1.476	23%	432	52	12%	4,8%	2,5	179	2,6%	9
<i>Profundo</i>	15-21	104-98	916	14%	125	15	12%	6,0%	0,9	112	1,6%	7
<i>Total estratos</i>	0-21	119-98	3.856	60%	568	70	12%	5,1%	3,6	561	8,5%	29





6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Mediante la combinación de técnicas hidroacústicas y videográficas descritas a lo largo de este informe se ha conseguido estimar la extensión de ocupación del mejillón cebra en el embalse de Mequinenza durante el año 2.008.

Los intentos de detección directa de las colonias de mejillón no han rendido los resultados esperados (Proyecto I+D-Mejillón Cebra) debido principalmente a la ausencia de zonas de suficiente contraste, con colonizaciones de cierta extensión y continuidad. Sin embargo, la aproximación metodológica empleada podría servir muy bien a tal fin, con algunas adaptaciones en el posicionamiento y navegación para fondos tortuosos y escarpados.

A pesar de ello, los trabajos realizados han tenido gran utilidad en la estimación del hábitat potencial del mejillón a partir del levantamiento del tipo de sustrato realizado con técnicas avanzadas de interpretación de sonogramas.

Esta información, junto a las pautas de colonización extraídas de los diferentes productos videográficos ha permitido establecer las zonas preferentes de colonización, explicar algunos de los condicionantes que gobiernan la dinámica del mejillón en el embalse y estimar la extensión de la colonización del mejillón en el embalse. Se consideran por lo tanto plenamente **cumplidos** los **objetivos** del estudio encomendado por la Chebro.

Estas observaciones han permitido vincular algunas pautas en la distribución vertical del mejillón con las fluctuaciones de nivel inter e intranuales, extraídas de los datos diarios de explotación del embalse desde el año 2.004.

Entre los hallazgos más relevantes se destacan los siguientes:

- **Ámbito de distribución restringido a franjas de profundidad** respecto a la cota máxima de 3 a 7 m (pequeños) y 21 a 25 m (grandes), debido a la preferencia por aguas más superficiales en la fase de fijación larvaria y al mayor crecimiento de los individuos asentados a profundidades someras. Los límites de estos estratos de distribución preferente se establecen en función de las pautas de regulación hidráulica, en combinación con esas tasas de asentamiento y crecimiento diferencial en el eje vertical.
- El sustrato **potencial** (rocas, cantos y todo tipo de objetos de cierto tamaño, incluyendo los propios ejemplares adultos de mejillón) **no es colonizado homogéneamente**, sino que existen **caras y zonas preferentes** que dependen de la disposición respecto al plano horizontal (preferencia por caras laterales e inferiores) y del microrelieve (iniciación en



grietas y anfractuosidades probablemente vinculada a un hidrodinamismo mayor a esa escala espacial.

- En el conjunto del embalse, se ha observado una **colonización dispersa y de moderada cobertura general** (en torno al 5% de la superficie útil), cuando la disponibilidad de sustrato (rocas y cantos) es del 12% en la franja de profundidad habitable y del 8,5% respecto al total de superficie bentónica del embalse.
- La principal razón por la que el mejillón cebra no alcanza una extensión mucho mayor en este embalse, es la **limitación impuesta por dos factores combinados**: fluctuaciones de nivel de la lámina de agua en respuesta al esquema de **manejo hidráulico**, y **restricción del hábitat útil en aguas más profundas**.
- A pesar de ese índice moderado de colonización, gobernado por el manejo hidráulico del sistema, se estima una **cobertura de cerca de unas 29 ha de mejillón cebra en el embalse que *grosso modo* podrían suponer unas 300 t de peso fresco**, considerando un valor de biomasa de 1 kg/m^2 , que podría ser un valor conservador en el sentido de que se han descrito en la zona biomasa de un orden de magnitud superior.
- Si se tiene en cuenta la extraordinaria tasa de reproducción de esta especie, estas cifras reflejan que el **mejillón cebra presenta una implantación en el embalse, suficiente como para que reciba la consideración de problema ambiental de primera magnitud**.

La experiencia adquirida durante el desarrollo de estas investigaciones y estudios permite, a la luz de la literatura publicada sobre la materia, aportar algunas **recomendaciones** que podrían servir para aproximarse a soluciones de erradicación en este tipo de sistemas.

En primer lugar, la vía del modelado del hábitat del mejillón y de su crecimiento merece un mayor esfuerzo, ahora que se dispone de técnicas capaces de obtener la información necesaria a una tasa y precisión razonables. Efectivamente, se ha podido constatar que entre las variables que están condicionando la colonización del embalse por el mejillón cebra destacan las siguientes:

- a) Sustrato hábil. Los sustratos rocosos, especialmente de cierta rugosidad que favorece la fijación de las larvas, son los que resultan colonizados con clara preferencia.
- b) Hidrografía: periodos de emersión y momento del ciclo biológico del mejillón en el que se producen. En este embalse las fluctuaciones amplias de ciclo anual imposibilitan el desarrollo de mejillones de más de 6-7 meses de edad en más del 80% de la superficie





- disponible en el embalse (superficie estimada de rocas y cantos por encima de la cota 104).
- c) Hidrodinámica a microescala. En ambientes lénticos son las velocidades excesivamente bajas las que pueden condicionar la viabilidad de los mejillones, porque se trata de organismos sésiles filtradores que requieren una mínima hidrodinámica y porque en una situación de sedimentación excesiva de finos pueden resultar colmatados sus órganos de filtración.
 - d) Relacionado con el punto anterior, pero también con la dinámica sedimentaria, especialmente en lo que se refiere a los pulsos de aportes sedimentarios exógenos, principalmente los tributados por el río Ebro en las crecidas pero también por escorrentía directa desde las zonas semidesérticas periféricas, los aportes de partículas en suspensión modifican las condiciones de hábitat. Se han visto de hecho situaciones de enterramiento de colonias por una capa relativamente fina de sedimentos. En este sentido, la preferencia por las caras laterales e inferiores de las piedras es indudablemente una respuesta a estos procesos.
 - e) Existe un claro límite inferior en la colonización del mejillón (en torno a la cota 98) que parece relacionado con la situación de la termoclina, es decir, con las bajas temperaturas, más que con el efecto de la depleción hipolimnética del oxígeno disuelto. El efecto de la temperatura y otras variables limnológicas, tanto en el establecimiento de umbrales de colonización como en la modulación del crecimiento del mejillón en los estratos superiores, debe ser estudiado mediante seguimientos en continuo.

Estos factores y la interacción entre ellos podrían servir para desarrollar una herramienta de gestión que contribuyera a la contención e incluso erradicación local del mejillón. Por ello, se recomienda vivamente profundizar en su estudio mediante métodos de suficiente resolución espacial y que proporcionen coberturas significativas y continuas.

Indudablemente, la combinación de técnicas aquí empleadas suponen la mejor opción para este fin, dado que ofrecen información multifactorial (batimetría, sustrato, focos de colonización) en una sola campaña de muestreo.

Esta información, implementada en un modelo dinámico que incorpore el régimen térmico y sedimentario, así como de explotación del embalse supondría un salto cualitativo en la lucha contra esta plaga.

Las actividades a realizar para aproximarse a una herramienta de gestión de ese tipo serían las siguientes:



- a) Refinado del modelo de hábitat del mejillón en lo referente a las variables antes citadas mediante la realización de estudios en pequeñas zonas controladas.
- b) Levantamiento de las variables morfosedimentarias básicas, entre las que destaca el tipo de sustrato pero también rasgos relativos a su rugosidad a escala submétrica.
- c) Obtención del modelo batimétrico digital del embalse mediante ecosonda multihaz. En zonas de aguas someras podría resultar ventajoso trabajar con técnicas topográficas, durante la fase de bajo nivel del embalse.

En cuanto a los programas de lucha contra el mejillón, deberían transcurrir lógicamente desde aguas arriba en la cuenca, combinando técnicas de manejo hidráulico con medidas de erradicación directa en zonas residuales de colonización, y en momentos estratégicos del ciclo vital.

Ecohydros, S.L.

19 de diciembre de 2.008





7. BIBLIOGRAFÍA

Cia, I., Ed. (2008). Ecología del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el tramo inferior del río Ebro: problemática y posibilidades de control. NATURALEZA Y PARQUES NACIONALES. Serie Técnica. Madrid, Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Grizzle, R. E., L.G. Ward, J.R. Adams, S.J. Dijkstra, and B. Smith (2005). Mapping and characterizing oyster reefs using acoustic techniques, underwater videography, and quadrat counts. Benthic Habitats and the Effects of Fishing. B. a. J. P. T. (eds.). Tampa, Florida, American Fisheries Society. 41: 153-160.

Hoffman, J. B., B. Sabol, and M. Heilman. (2002). "Digital Acoustic System for Ecosystem Monitoring and Mapping: Assessment of Fish, Plankton, Submersed Aquatic Vegetation, and Bottom Substrata Classification." from [HTTP://WWW.BIOSONICSINC.COM/RESOURCES/SEARCH_DOC.CFM?STEP=3&DID=20](http://www.biosonicsinc.com/resources/search_doc.cfm?step=3&did=20).

Kenny, A. J., I. Cato, et al. (2003). *An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification*. ICES J. Mar. Sci. 60(2): 411-418.

McMahon, R. F. (1996). "The Physiological Ecology of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America and Europe." Amer. Zool. 36(3): 339-363.

O'Neill, C.R., Jr. 1996 The zebra mussel, impacts and control. Cornell Co-operative Extension Information Bulletin, 238. Cornell University.

Palau, A., I. Cia, D. Fargas, M. Bardina y S. Massuti (2004). Resultados preliminares sobre ecología básica y distribución del mejillón cebra en el embalse de Riba-roja (Río Ebro). Endesa. Madrid. 43 pp.

S. Silva and Y.-T. Tseng. Classification of seafloor habitats using genetic programming. In F. Rothlauf, editor, *Late breaking paper at Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'2005)*, Washington, D.C., USA, 25--29 June 2005.