

# Aplicación de un nuevo método para la evaluación censal de la ictiofauna de embalses: hidroacústica digital con haz vertical y horizontal

Agustín Monteoliva<sup>1</sup>, Patrick Schneider<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Infraestructura & Ecología, S.L., Urb. Los Llanos, nº 52, 39011 Peñacastillo (Cantabria)

<sup>2</sup> AQUASON, C/ San Antonio María Claret, 186, 4º 4º-2ª, 08025 Barcelona (Cataluña)

## RESUMEN

Se valoran nuevas posibilidades de censo de peces en embalses mediante el uso de la última tecnología hidroacústica (ecosonda de haz partido) realizando ecosondeos dinámicos -con orientación del haz tanto en vertical como en horizontal-, apoyados en un sistema de posicionamiento simultáneo con DGPS. Además, se plantea un procedimiento coherente de estratificación de los muestreos directos y de elaboración de cartografía temática digital.

Los resultados han permitido identificar fuentes de errores notables en los métodos al uso, entre los que destacan la sobreestimación debida a las burbujas y a larvas emergentes de insectos. Se recomienda una actualización tecnológica en este campo, dado el indudable interés que tiene disponer de estimaciones realistas de abundancia y biomasa de peces en este tipo de sistemas, tanto para los estudios como para la gestión limnológica.

**Palabras clave:** Ictiofauna, embalse, hidroacústica, ecosonda digital de haz partido, ecoconteo, censo de peces, densidad, biomasa

## ABSTRACT

*New possibilities for evaluating fish abundance in reservoirs through latest hydroacoustic technology (split beam echosounder), combining echosoundings with vertical and horizontal beaming and using simultaneous positioning with DGPS are discussed. Additionally, a coherent procedure for stratifying the direct sampling and the elaboration of digital thematic maps is proposed.*

*The results have led to the identification of important sources of error in the methods currently in use, particularly the overestimation of fish abundance due to bubbles and emerging insect larvae. A technological actualisation in this field is recommended, given the unquestionable interest in disposing of realistic estimations of fish abundance and biomass in this system, both for studies and for limnological management purposes as well.*

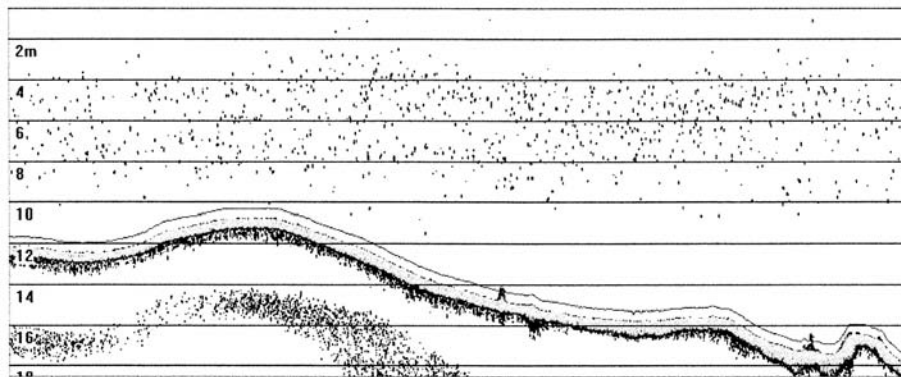
**Keywords:** Ichthyofauna, reservoir, hydroacoustic, split beam echosounder, fish abundance evaluation, echocounting, density, biomass.

## INTRODUCCIÓN

El uso de ecosondas para la evaluación de la ictiofauna continental de ecosistemas acuáticos lentícos en España no ha seguido una evolución acorde con los sensibles avances de esta tecnología y sus aplicaciones en el ámbito internacional en los últimos años. En efecto, se ha extendido en el tiempo el uso de tecnologías no científicas (p.e. García de Jalón *et al.*, 1993) y no se han adoptado procedimientos de análisis de la información que incorpo-

ren las técnicas estadísticas más provechosas en este campo, generalmente adaptadas de los estudios de pesquerías en el medio marino (Simard & Gerlotto, 1990; Guillard *et al.*, 1990).

No obstante, las mejoras tecnológicas en este campo son notables y afectan tanto al hardware -mayor resolución, sensibilidad y rango dinámico- como al software -métodos de análisis de la información- que ha incrementado exponencialmente la capacidad de tratar datos y también de discriminar señales (Acker *et al.*, 1999).



**Figura 1:** Ecograma que demuestra la ausencia de señales de peces, mientras se aprecia una capa con una densidad importante de señales de muy poca intensidad, muy probablemente provenientes de larvas de insectos. Embalse de Orellana, datos sin filtrar. *Echogram indicating the absence of signals from fish, while a layer with a high density of low intensity signals, most probably from insect larvae, can be observed. Orellana reservoir, unfiltered data.*

La disponibilidad de la última tecnología (sistemas hidroacústicos completamente digitales y de haz partido) ha permitido constatar carencias y puntos débiles de los métodos aún vigentes, que conllevan unos márgenes de error excesivos para la incorporación de esta trascendental información a los programas de gestión limnológica de la calidad de las aguas (Jagtman, 1988). Refuerzan esta observación los resultados obtenidos en las campañas efectuadas en varios embalses con una ecosonda digital de última generación y la introducción de una nueva metodología para eliminar o reducir importantes sesgos (que podrían superar el 100% en algunas zonas, como se muestra en la figura 1) en la evaluación de la abundancia de peces en embalses, lagunas y lagos.

Como se expone en la presente comunicación, en el desarrollo de dichos trabajos se han podido identificar y, por consiguiente, eliminar algunas de las fuentes de error más importantes en el uso tradicional de estas técnicas.

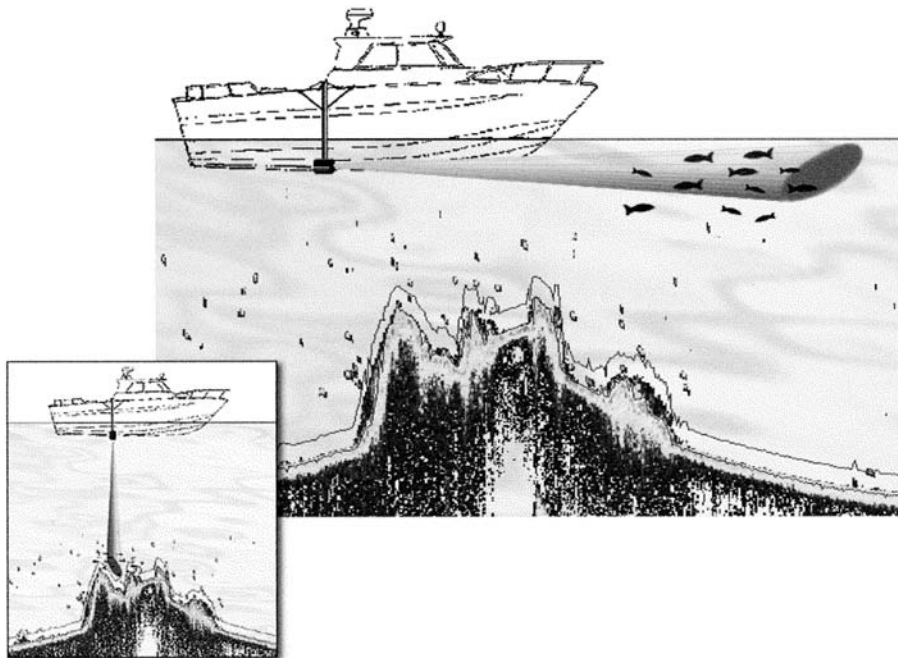
## METODOLOGÍA

En el mes de agosto de 2001 se han realizado prospecciones acústicas en los embalses de Barrios de Luna y Riaño (León) y en el mes de abril del año 2002, en los embalses de Orellana y Zújar (Extremadura).

La técnica de estudio combina métodos de registro remoto (hidroacústica) con muestreos directos con redes de captura, que permiten conocer las especies presentes y su proporción en la comunidad, así como la distribución de tallas y la relación talla-peso de cada una de ellas. Se han utilizado trasmallos de 2 cm de luz en el paño interior y de 12 cm en los exteriores. Estas redes tienen una longitud de 20 m y un peralte de 1 m. No obstante, el presente trabajo se centra en el análisis de la abundancia y densidades piscícolas y el análisis de la biomasa por especies será objeto de sucesivas comunicaciones.

Las prospecciones acústicas se han realizado en trayectorias transversales preestablecidas que cubren todo el embalse, mediante una ecosonda Biosonics® DT6000 que incorpora un transductor digital de haz partido de 208 kHz, con registro simultáneo de posición obtenida mediante un DGPS de precisión submétrica (Trimble AgGPS 132). La grabación de los datos acústicos adquiridos se efectúa directamente, junto a su posición correspondiente, en un ordenador portátil conectado a la ecosonda. A su vez, este ordenador también sirve para controlar y configurar el sistema.

En los sondeos acústicos se ha aplicado una estrategia de doble orientación del haz, orientando la ecosonda tanto en vertical como en horizontal (Fig. 2), en transectos dinámicos, de forma que se obtiene un barrido continuo a lo



**Figura 2:** Ilustración de las dos diferentes formas de orientar el haz acústico del transductor, horizontal (arriba) y en vertical (abajo izquierda). *Illustration of the two different ways of orienting the acoustic beam of the transducer, horizontally (above) and vertically (lower left).*

largo de los mismos. Las prospecciones en horizontal responden a una restricción del método acústico clásico (con orientación del haz en vertical), que consiste en una ineficacia muestral en los primeros metros del haz acústico, por dos razones: a) la forma cónica del haz reduce considerablemente el volumen muestral y la probabilidad de detectar los blancos (peces) en esta capa (el haz tiene una anchura inferior a un metro en los primeros 10 m), y b), se desencadena un reflejo de huida de los peces al avanzar la embarcación desde la que se opera la sonda, y esto es especialmente significativo en el estrato más superficial y en el ámbito litoral.

En todos los trabajos se ha aplicado la metodología de ecoconteo, que permite obtener directamente el número de peces observados y, a través del volumen insonificado, valores para la densidad de peces en el área observada. A diferencia de éste, el método de la eointegración suma la energía acústica total, o por capas, reflejada por los peces. De esta forma, y conociendo la TS (*Target Strength* o intensidad con

la que es reflejada la onda sonora por el blanco u objeto insonificado) de los peces observados, se obtiene una estima de la biomasa presente en el área, mientras el número de peces y con esto, la densidad de los mismos, sólo se puede obtener de forma indirecta. La función correcta que se ha de emplear para la TVG (ganancia cronovariante) en el caso del ecoconteo es de  $40\log R$ , mientras para la eointegración la función es de  $20\log R$  (MacLennan & Simmonds, 1992). La aplicación incorrecta de esta fórmula deja dudas sobre la validez de algunos trabajos realizados en embalses en nuestro país.

Una de las ventajas importantes de los sistemas de última generación es el traslado de la casi totalidad de procesos de decisión de la fase de adquisición de datos a la fase de análisis de los mismos. Esto significa, que se reduce de forma considerable la posibilidad de cometer errores de configuración del equipo en el trabajo de campo y deja más flexibilidad en cuanto al procesamiento de los datos, aumentando de esta forma la calidad de los mismos.

Los datos adquiridos con *Visual Acquisition Software* (versión 4.0.2), de Biosonics, Inc, EEUU, se someten a un postproceso, que se realiza con el programa *Echoview*<sup>®</sup> de SonarData Pty. Ltd, Australia. En este programa, y en un primer paso, se escudriña rigurosamente la calidad de los datos, excluyendo posibles artefactos (ruido, burbujas, ramajes de árboles sumergidos, etc.) marcándolos cómo datos no válidos. Para este fin, el programa *Echoview*<sup>®</sup> dispone de una serie de herramientas, que permiten marcar gráficamente en el ecograma las partes a excluir del postproceso.

En un siguiente paso, se somete la totalidad de los datos a un proceso de filtrado. Para este fin, se configura una serie de diferentes filtros, que permiten identificar y excluir señales no procedentes de peces o, según los objetivos del estudio, procedentes de peces de determinada talla.

La longitud del pez se estima mediante la siguiente función (MacLennan & Simmonds, 1992):

$$L = 10^{(TS+70)/20}$$

donde,

L = talla del pez en cm

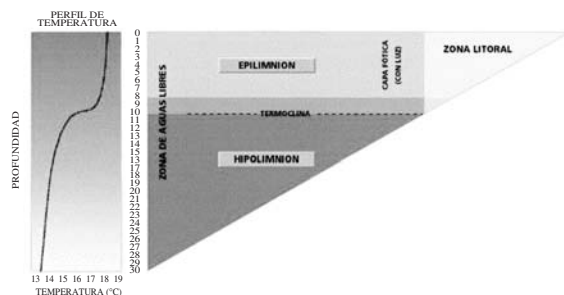
TS = fuerza del blanco en dB re 1m<sup>2</sup>

Se trata de una fórmula de conversión generalizada, que se adapta a la mayoría de las especies típicamente encontradas en los embalses. No obstante, existe potencial para refinar aún más el método, a través del ajuste de relaciones específicas TS-talla de cada una de las especies encontradas en cada embalse en concreto.

Al final del post-proceso de los datos, se obtiene el número de peces para cada medición que, a través del volumen observado (volumen del haz), se convierte en densidades para cada medición.

Para obtener abundancias totales y por estratos de profundidad y sectores que corresponden a ambientes diferenciados, se ponderan las estimaciones de densidad con los volúmenes de cada compartimento, obtenidos a partir de los datos batimétricos del propio muestreo.

La conversión de longitud a biomasa se ha realizado a partir de los resultados de las pescas

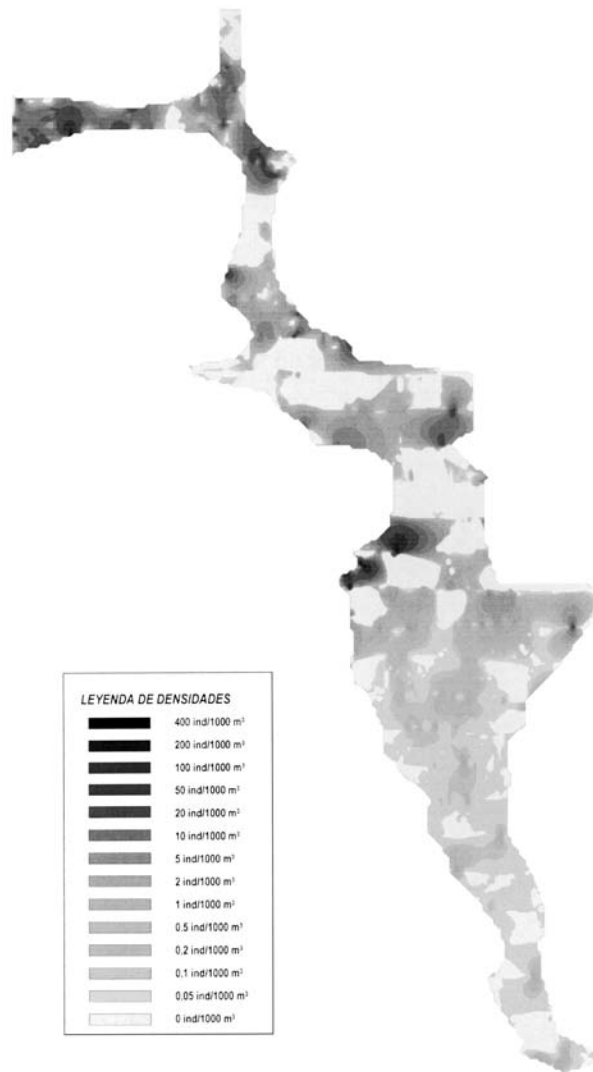


**Figura 3:** Esquema de la estratificación vertical en el embalse, que sirve para definir sectores de muestreo que representan ambientes diferenciados: litoral y zonas pelágicas. *Schematic representation of the vertical stratification in the reservoir, that allows the sampling area to be sectorized in different environments: littoral and pelagic zones.*

por sectores, aplicando las relaciones biométricas observadas en las capturas. La sectorización para la aplicación de muestreos directos se ha realizado para que recoja los gradientes longitudinal, transversal y vertical, segregando la zona litoral (en estas masas de agua en las que el nivel del agua suele estar sometido a constantes modificaciones, se asume que la zona litoral es la transcurre desde la orilla hasta la profundidad en la que no se desarrolla estratificación de la columna de agua, o bien hasta el límite inferior de la zona fótica) de la de aguas libres (pelágica) y, en ésta, el epilimnion del hipolimnion (Fig. 3).

Para la inferencia de la distribución de densidad y biomasa piscícolas, se ha utilizado el método de interpolación de datos kriging. Este método, que tiene sus orígenes en la geoestadística, ha sido propuesto por varios autores, entre otros por Conan & Buerkle, (1998) y Guillard *et al.* (1990), para la interpolación de datos de abundancia de peces.

Como estimador de la intensidad de muestreo se utiliza el grado de cobertura, que relaciona la longitud muestreada con la superficie de muestreo. Los valores por encima de 6 ya se consideran aceptables (se ha trabajado siempre con valores superiores a 15) y se puede asumir que el error muestral de la estimación de la abundancia sigue una distribución normal (MacLennan & Simmonds, 1992); esto ha permitido calcular los límites de confianza (nivel del 95%) de las estimaciones de densidad.



**Figura 4:** Mapa de distribución de la densidad piscícola en el embalse de Barrios de Luna. *Fish density distribution map of the Barrios de Luna reservoir.*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada uno de los embalses en los que se ha trabajado se ha obtenido una estimación de la densidad y biomasa piscícola, y su distribución según la profundidad, así como cartografía digital de la distribución espacial de estas variables (Fig. 4). El error típico en la estimación de densidades ha estado entre el 2 y el 6%. En la Tabla 1 se facilitan como ejemplo los resultados en el embalse de Barrios de Luna, que se obtienen

para los diferentes ambientes definidos y para el conjunto del embalse.

A partir de los muestreos directos con red, apoyado en una sectorización lógica del embalse, se ha podido obtener una estimación de esas mismas variables por especies, asignando las proporciones de especies estimadas en los muestreos directos en cada uno de los sectores establecidos.

Los resultados obtenidos en los diferentes casos han ilustrado los siguientes aspectos:



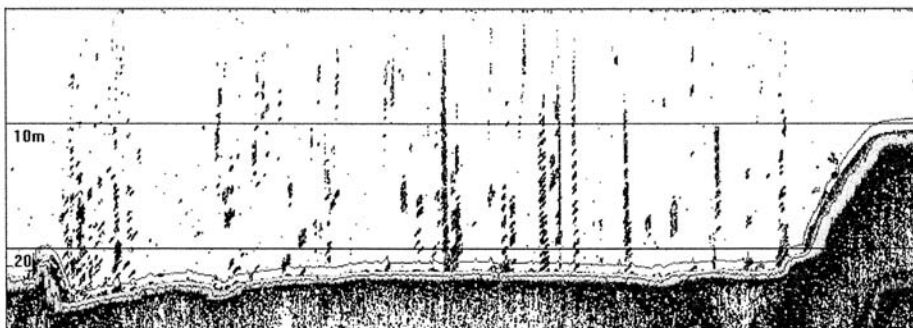
**Tabla 1:** Resultados por sectores de las estimaciones hidroacústicas en el embalse de Barrios de Luna *Sectorized results from hydroacoustical estimations in the Barrios de Luna reservoir*

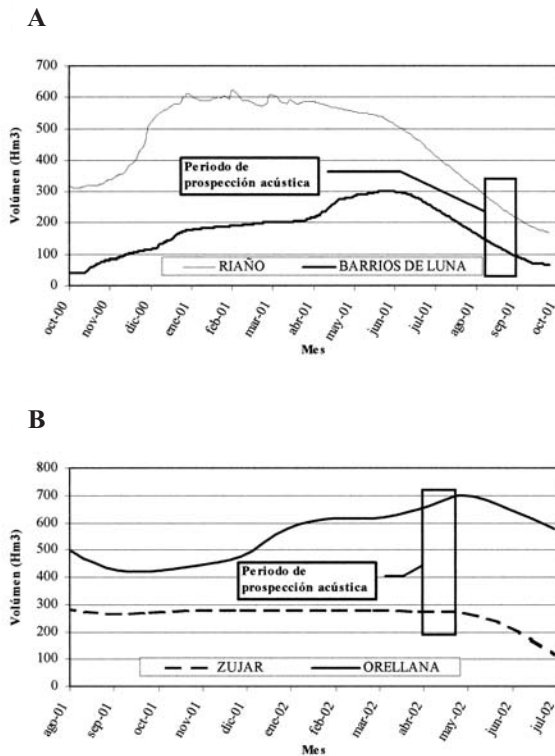
Sector	Area m <sup>2</sup>	Prof. media (m)	Volumen m <sup>3</sup>	Vol. muestral (m <sup>3</sup> )	Densidad muestral		
					Nº	Ind/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	Error típico
Litoral de Cabecera	224.028	15	3.317.801	43.253	24	0.555	0.103
Epilimnético de Cabecera	400.089	26	10.291.230	276.164	2	0.007	0.003
Hipolimnético de Cabecera	400.089	9	3.565.815	530.470	24	0,045	0.005
Litoral Intermedio	1.526.249	16	25.053.871	414.663	307	0.740	0.073
Epilimnético Intermedio	616.777	26	15.728.104	461.117	51	0.111	0.011
Hipolimnético Intermedio	616.777	4	2.760.243	282.097	70	0.248	0.024
Litoral Cola Este	404.227	12	4.699.872	43.998	81	1.841	0.182
Litoral Cola Oeste	188.101	8	1.477.935	5.985	21	3.509	0.363
Total Litoral	2.342.605	15	34.549.478	507.900	433	0.853	0.084
Total Epilimnion	1.609.194	16	26.019.334	737.280	53	0.072	0.007
Total Hipolimnion	1.016.866	6	6.326.059	812.567	94	0.116	0.011
Total Embalse	3.359.471	20	66.894.871	2.057.747	580	0.282	0.028

En los embalses en los que se ha trabajado durante el verano, la resolución de rango aplicada (0.145 m) y una minuciosa interpretación de los datos ha permitido identificar como burbujas y filtrar (Frouzová *et al.*, 1998) multitud de señales; estas burbujas (Fig. 5) no sólo se deben a la formación de gases en condiciones anaeróbicas del sedimento, sino también a la descompresión hidrostática de los sedimentos durante el rápido descenso de nivel que se produce en estas fechas (Swierzowski *et al.*, 2000). Estas señales pueden introducir un sesgo superior al 100 % en los casos estudiados. En los embalses estudiados durante el final del estiaje, como el de Barrios de Luna (Fig. 6a), se aprecian estas

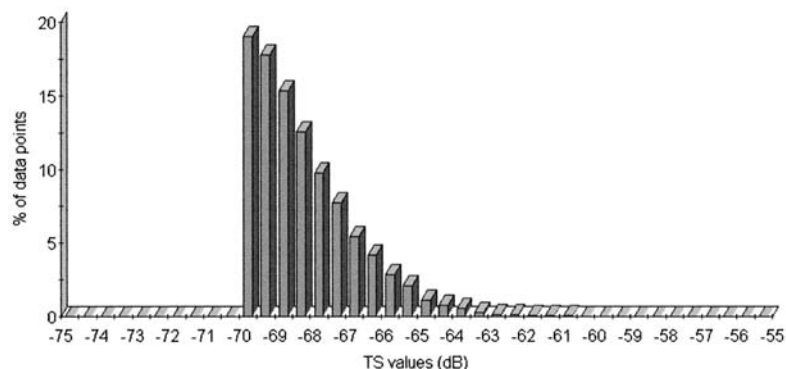
hileras de burbujas que no aparecen en los embalses estudiados durante un periodo de estabilidad de las reservas (Fig. 6b).

En el embalse de Orellana se han obtenido escasas señales de peces adultos y esto se ha confirmado por la casi ausencia de capturas en un esfuerzo muestral muy elevado. Sin embargo, se han detectado capas con multitud de señales de muy pequeña talla acústica (Figs. 1 y 7). Mediante ecosondeos estáticos se ha podido inferir una movilidad escasa como para tratarse de minitallas de peces; se han descrito capas densas de larvas de insectos (Kubecka *et al.*, 2000) u otros organismos (Eckmann, 1998; Jones & Xie, 1994) que ofrecen señales acústicas de esta naturaleza y

**Figura 5:** Ecograma en el que se aprecian las señales características causadas por burbujas emergiendo del fondo. *Echogram showing typical signals caused by bubbles rising from the bottom.*



**Figura 6:** En los embalses estudiados durante el final del estiaje, en un periodo de descenso continuado de las reservas (Fig. 6a), se han apreciado hileras de burbujas, mientras que en los estudiados en un periodo de estabilidad de las reservas (Fig. 6b) no se han observado este tipo de señales. *The reservoirs that have been sampled during late summer, with a pronounced lowering of the water level (Fig. 6a), have shown bubble columns, while no signals of this type has been detected in those studied during a period of water level stability (Fig. 6b).*



**Figura 7:** Distribución de tallas acústicas (TS) de los blancos presentados en la figura 1. La distribución está cortada por debajo de valores de TS de  $-70\text{dB}$ , debido a que el umbral inferior para la adquisición de los datos se estableció a  $-70\text{ dB}$ . Embalse de Orellana; datos sin filtrar. *Acoustical size (TS) distribution of the targets shown in figure 1. The distribution is cut below TS values of  $-70\text{dB}$  due to a lower threshold setting of  $-70\text{dB}$  during data acquisition. Orellana reservoir; unfiltered data.*

contribuyen a la densidad e incluso biomasa totales de forma considerable. En el embalse de Orellana se ha registrado una abundancia de estos organismos dos órdenes de magnitud superior a la de los peces, como lo ilustra el hecho de que en la totalidad de los transectos acústicos realizados se detectaron solamente 66 peces (TS de  $-60\text{ dB}$  y mayor), y, por el contrario, un total de 4721 blancos con un TS menor que  $-60\text{dB}$ , correspondientes a los mencionados invertebrados.

Por otro lado, se constata la necesidad de incorporar barridos en disposición horizontal del transductor, tanto para incluir en los censos las zonas de aguas someras como los estratos superficiales y evitar el sesgo comportamental que induce el avance de la embarcación (Gerlotto & Fréon, 1992; 1994). Como se muestra en la figura 8, en la capa más superficial se obtiene un elevado número de detecciones con la disposición horizontal del haz que contribuirán a la evaluación censal y que, con registros en disposición vertical únicamente, se habrían desestimado. Este método combinado se está usando con éxito en otros embalses en Europa y en EEUU (Kubecka & Wittingerova, 1998; Yule, 2000; Knudsen & Sægrov, 2002).

La eliminación de tal cantidad de datos originados por artefactos sólo es posible con un software específico de análisis de datos acústicos, como el usado en los trabajos que se presentan

aquí, que permite la exclusión selectiva de datos no válidos y la configuración de varios tipos de filtros por el usuario experimentado.

## CONCLUSIONES

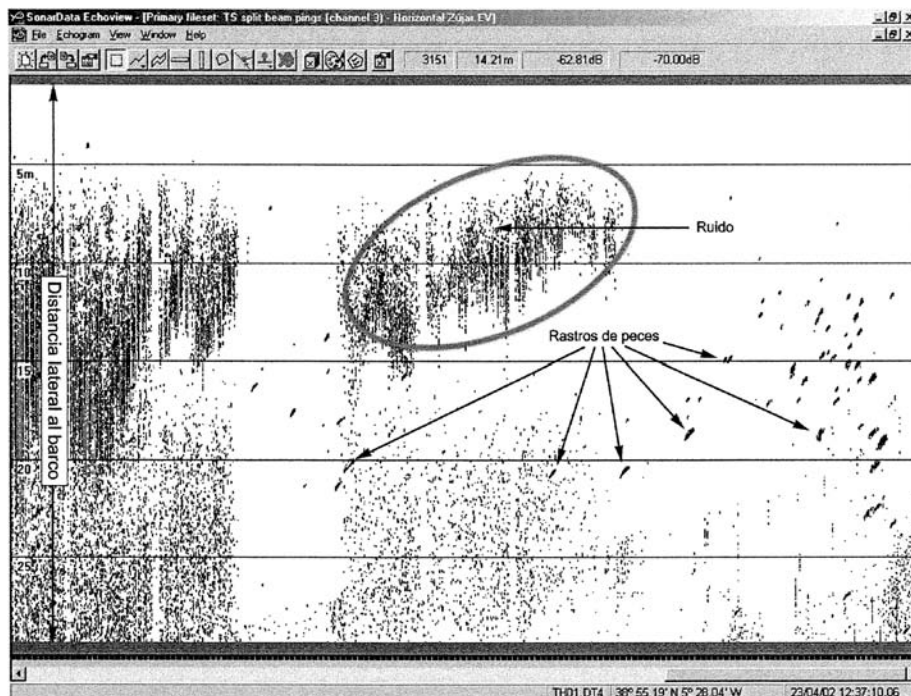
Con los resultados obtenidos hasta el momento, se puede concluir que utilizando las técnicas y métodos adecuados, es posible eliminar algunos de los sesgos más importantes que tradicionalmente contenían los estudios censales de la ictiofauna en embalses y lagos. El uso de econdas digitales (*Full Digital System*) permite separar fuentes de ruido como burbujas e invertebrados de las señales de peces, debido a su amplio rango dinámico (mejor de -125 dB).

Asimismo, la elevada tasa de adquisición de datos, su posicionamiento simultáneo mediante DGPS dinámico y el uso de un software adecuado (capaz de excluir señales de forma flexible y

directa sobre el ecograma y adicionalmente por filtros específicos y configurables, escrutando la forma de la señal) permiten mejorar notablemente la precisión de las estimaciones.

La posibilidad de variar la orientación del transductor permite obtener estimaciones más significativas en los estratos superficiales y en zonas y ecosistemas y masas de aguas someras, mediante su orientación en sentido horizontal, y al mismo tiempo minimizar otro sesgo importante causado por el reflejo de huida de los peces.

La portabilidad del equipo hidroacústico permite la prospección desde embarcaciones menores, lo que unido a la disposición horizontal del transductor, extiende el ámbito de aplicación hasta aguas de solamente 0.5 m de profundidad. A partir de 150-200 m de profundidad es necesario aplicar menores frecuencias acústicas, porque la atenuación (directamente proporcional a la frecuencia) de la intensidad empieza a ser significativa



**Figura 8:** Ecograma de señales obtenidos con el transductor orientado en horizontal. Los peces detectados se encuentran en una capa superficial (0-3 m de profundidad), en la que no se detectaron señales en el sondeo vertical. Embalse del Zújar. *Echogram with signals from horizontal beaming. Detected fish are in the surface layer (0-3 m depth), where no signals from fish could be observed with vertical beaming. Zújar reservoir*



Mediante este tipo de transductores, es posible asimismo realizar sondeos en ríos y lagunas, tanto móviles con plataformas propulsadas a mano o control remoto, como fijas desde las orillas. No obstante, el sondeo hidroacústico en zonas muy someras en las que se presentan obstáculos a la detección de peces, especialmente de vegetación acuática sumergida, requiere ensayos y calibraciones específicas con muestreos directos simultáneos para desarrollar algoritmos óptimos que filtren adecuadamente las señales artefactuales.

Mediante una adecuada sectorización del sistema, que permite una estratificación en el muestreo directo, y la obtención de distribuciones simultáneas de tallas acústicas con un elevado número de datos, es posible incrementar notablemente la resolución en las estimaciones por especies.

El coste de los equipos necesarios para realizar estos trabajos se ve compensado con el beneficio en el rendimiento de procesado de información y también en la sensible mejoría en precisión y fiabilidad de los resultados, de forma que resulta factible incorporar el compartimento piscícola a los procedimientos de control y gestión de la calidad de las aguas y de la propia dinámica poblacional en los embalses, lagos y lagunas.

En próximas aplicaciones se trabajará además con pesca eléctrica desde embarcación, con potencias suficientes para muestrear los ambientes litoral y epilimnético, con lo que se subsanarían notablemente las deficiencias del muestreo con red (selectividad de tamaños y especies) para la estimación de las proporciones de especies. Será posible entonces la calibración de algoritmos específicos para la estimación de biomasa a partir de tallas acústicas.

## AGRADECIMIENTOS

Los diferentes trabajos a los que alude la presente comunicación han sido financiados por la Confederación Hidrográfica del Duero, Confederación Hidrográfica del Guadiana y Junta de Extremadura, organismos a los que se adscriben las personas que lo han hecho posible: Julio

Pajares y Juan José Gil (C.H. del Duero), Angel Nieva (C.H. del Guadiana) y Francisco Roldán (Junta de Extremadura). En la elaboración de los trabajos de campo han participado además Manuel A. Alcántara, Francisco Belén, Rafael Minaya, José A. Monteoliva y Luis Prieto. Se agradece también la colaboración prestada por Biosonics, Inc.

## REFERENCIAS

- ACKER, W. C., J. BURCZYNSKI, J. DAWSON, J. HEDGEPEETH & D. WIGGINS. 1999. Sea Technology. Digital Transducers: A New Sonar Technology, 31-35.
- CONAN, G. Y., U. BUERKLE, E. WADE, M. CHADWICK & M. COMEAU. 1988. *Geostatistical analysis of spatial distribution in a school of herring*. International Council for the Exploration of the Sea. Council meeting paper, 1988/D:21.
- ECKMANN, R. 1998. Allocation of echo integrator output to small larval insect (*Chaoborus* sp.) and medium-sized (juvenile fish) targets. *Fish. Res.*, 35: 107-113.
- FROUZOVÁ, J., J. KUBECKA & M. CECH. 1998. Bubble density in the open water of freshwater reservoirs: Consequence for fish stock studies. *Proceedings of the Fourth European Conference on Underwater Acoustics*. Alippi, A. and G.B. Cannelli (eds.): 281-286. CNR-IDAC. Rome.
- GARCÍA DE JALÓN, D., M. MAYO RUSTARAZO, B. GALLEGU & F. HERVELLA. 1993. Las comunidades piscícolas de los embalses de Madrid. Directrices para su gestión. *Ecología*, 7: 467-485.
- GERLOTTO, F. & P. FREON. 1992. Some elements of vertical avoidance of fish schools to a vessel during acoustic surveys. *Fish. Res.*, 14: 251-259.
- GERLOTTO, F., P. FREON, M. SORIA, P. H. COTTAIS & L. RONZIER. 1994. Exhaustive observation of 3D school structure using multibeam side scan sonar: potential use for school classification, biomass estimation and behaviour studies. *ICES C.M.* 1994/B:26 Ref. D. 12 pp.
- GUILLARD, J., D. GERDEAUX & J. M. CHAUTRU. 1990. The use of geostatistics for abundance estimation by echo integration in lakes: The example of Lake Annecy. *P.-V. Réunion. Cons. Perm. Int.*

- Explor. Mer.*, 189: 410-14.
- JAGTMAN, E., S. H. HOSPER, M. L. MEIJER & E. VAN DORK. 1988. The role of fish stock management in eutrophication control in shallow lakes in the Neatherlands. In: *Management of Freshwater Fisheries*. W. L. T van Densen, B. Steinmetz and R. H. Huges (eds.): 328-343. *Proceedings of an EIFAC Symp.* Göteborg, Sweden.
- JONES, I. S. F. & J. XIE. 1994. A sound scattering layer in a freshwater reservoir. *Limnol. Oceanogr.*, 39: 443-448.
- KNUDSEN, F. R. & H. SÆGROV. 2002. Benefits from horizontal beaming during acoustic survey: Application to three Norwegian lakes. *Fish. Res.*, 56: 205-211.
- KUBECKA, J. & M. WITTINGEROVA. 1998. Horizontal beaming as a crucial component of acoustic fish stock assessment in freshwater reservoirs. *Fish. Res.*, 35: 99-106.
- KUBECKA, J., J. FROUZOVÁ, M. CECH, J. PETERKA, H. A. M. KETELAARS, A. J. WAGENWOORT & M. PAPÁCEK. 2000. Hydroacoustic assessment of pelagic stages of freshwater insects. *Aquat. Living Resour.*, 13: 361-366.
- MACLENNAN, D. N. & E. J. SIMMONDS. 1992. *Fisheries Acoustics*. Chapman and Hall, London.
- SIMARD, Y. & F. GERLOTTO. 1990. Exploration of the applicability of geostatistics in fisheries acoustics. *CIEM/ICES Working group on Fish. Acoust. Sci. Technol.*, Rostock, April 1990. 27 pp.
- SWIERZOWSKI, A., M. GODLEWSKA & T. PÓLTORAK. 2000. The relationship between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental parameters in the Solina reservoir, Poland. *Aquat. Living Resour.*, 13: 373-377.
- YULE, D. 2000. Comparison of horizontal acoustic survey and purse-seine estimates of salmonid densities and sizes in eleven Wyoming waters. *North Am. J. Fish Manage.*, 20: 759-775.