

2022

Informe de  
**ASESORAMIENTO  
y TRANSFERENCIA**

**096-22**

NO-2022-103320198-APN-DNI#INIDEP

27/09/2022

**PROSPECCIÓN ACÚSTICA DEL AREA DE VEDA DE  
PUERTO YERUÁ EN EL RÍO URUGUAY- JUNIO y  
JULIO DE 2022**

Federico Castro Machado, Bruno V Menna, María G Cascallares y Ariel G Cabreira

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
**Argentina**



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN  
Y DESARROLLO PESQUERO

# PROSPECCIÓN ACÚSTICA DEL AREA DE VEDA DE PUERTO YERUÁ EN EL RÍO URUGUAY- JUNIO y JULIO DE 2022

Federico Castro Machado<sup>1</sup>, Bruno Victorio Menna<sup>1</sup>, María Guadalupe Cascallares<sup>12</sup> y Ariel Gustavo Cabreira<sup>1</sup>

- (1) INIDEP - Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero  
(2) CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

## Resumen

En el siguiente informe se detallan los resultados obtenidos durante dos prospecciones acústicas realizadas en el Río Uruguay durante junio y julio de 2022. El río Uruguay, junto con los ríos Paraná, Paraguay y otros cursos fluviales forman la cuenca del Plata. El área de veda ubicada en cercanías de Puerto Yerúa (Provincia de Entre Ríos, República Argentina) es un área caracterizada por la presencia de ejemplares de la especie migradora Surubí pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*). A partir del análisis de las dos prospecciones, se pudo concluir que en el área de veda se concentran altas densidades de peces en comparación con las observadas en zonas adyacentes.

## Palabras Clave

Río Uruguay, hidroacústica y surubí pintado

## Introducción

La utilización de ecosondas para la detección y cuantificación de organismos acuáticos constituye actualmente una de las metodologías más utilizadas para el monitoreo de la abundancia y distribución de los recursos pesqueros. Un muestreo acústico se caracteriza principalmente por su alta resolución espacio-temporal, lo que permite prospeccionar grandes áreas en un corto período de tiempo. Por tal motivo, constituyen la metodología más adecuada para obtener imágenes sinópticas sobre la distribución espacial de peces.

El río Uruguay, junto con los ríos Paraná, Paraguay y otros cursos fluviales, forma la cuenca del Plata. Tiene sus orígenes en Brasil, y su desembocadura en el Río de la Plata, luego de una longitud de 1.800 Km. Su curso transcurre por territorio brasilero, forma parte del límite entre Argentina y Brasil y en su último tramo es límite entre Argentina y Uruguay. El aprovechamiento principal que se hace del río es la generación de energía hidroeléctrica, por medio de la represa Salto Grande (propiedad de Uruguay y Argentina). La Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) es el organismo internacional creado por ambas repúblicas dirigida para lograr una administración conjunta del río.

El área de veda localizada en cercanías de Puerto Yerúa (Provincia de Entre Ríos, República Argentina) es un área que se presenta pozones, caracterizado por un ahondamiento del río donde sus aguas corren más lentas. Se ha relevado detalladamente esta zona mediante técnicas acústicas y se ha descrito que en estas áreas se concentran ejemplares de la especie migradora Surubí pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*). El Surubí pintado es un recurso pesquero importante ya que es objetivo de la pesca artesanal y deportiva. Desde 2008 se han realizado varios relevamientos hidroacústicos demostrando que existe una concentración importante de peces en el área de veda en comparación a zonas adyacentes.

En el mes de mayo de 2022 se comenzaron a efectuar reuniones entre CARU, INIDEP y DINARA dirigidas a actualizar el equipamiento hidroacústico disponible en el Gabinete de Hidroacústica del INIDEP. Por tales motivos, la CARU oficializó una inversión para adquirir una licencia (de carácter perpetuo) que permitió la activación de un tranceptor de la ecosonda que condescendió la posibilidad de operar en banda ancha, para adquirir información con mayor detalle y resolución vertical. Durante los meses de junio y julio se realizaron dos prospecciones dirigidas a detectar y evaluar la distribución de las principales concentraciones de surubí pintado en el área de veda y zonas adyacente.

Durante la primera salida, las actividades se centraron en detectar las concentraciones de dichos organismos utilizando dos patrones de muestreo, transectas en forma de zig-zag transversales a la batimetría. De esta manera, se asistió a los pescadores deportivos proporcionando información de la ubicación de los ejemplares con la finalidad de incrementar la tasa de captura, marcación y liberación de los mismos. Durante la segunda experiencia, se realizó un muestreo mediante transectas paralelas siguiendo la batimetría, concentrando el esfuerzo de adquisición de la zona de los pozones. En esa ocasión, además de ubicar a los individuos, se realizó una estimación de la abundancia (en número de individuos y biomasa) en el área de los pozones.

## Materiales y métodos

### *Conceptos básicos relativos a la aplicación del método acústico*

El método hidroacústico consiste en el uso de una ecosonda que emite impulsos sonoros a intervalos regulares durante un recorrido planificado. El sonido transmitido se propaga por la columna de agua y es retrodispersado por los blancos (peces, fondo, etc) que encuentra dicho frente de onda durante su viaje. Posteriormente estos rebotes son captados por equipamiento en forma de “ecos”.

En particular, el método denominado eointegración (Forbes and Nakken, 1974; MacLennan and Simmonds, 1992), se basa en el uso de una ecosonda calibrada (Foote *et al.*, 1987) para obtener mediciones absolutas del “coeficiente volumétrico de retrodispersión sonora” o  $s_v$ , el cual representa la contribución ecoica de todos los blancos presentes en ese volumen. Se ha demostrado que existe proporcionalidad lineal entre el parámetro  $s_v$  y la cantidad de blancos por unidad de volumen (Foote, 1983), es decir que:

$$\rho_v \propto s_v$$

donde:

$\rho_v$ : densidad de individuos en peces/mn<sup>2</sup>

$s_v$ : coeficiente de retrodispersión por unidad de volumen (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

El factor de proporcionalidad entre ambas variables se conoce como la sección equivalente de retrodispersión sonora del blanco ( $\sigma_{bs}$ ) o su equivalente logarítmico, la Intensidad de Blanco Acústico (TS) (Clay and Medwin, 1977) y representa la capacidad del blanco (por ejemplo, los peces) para retrodispersar sonido en el medio. Por lo tanto, al dividir el coeficiente de retrodispersión volumétrica ( $s_v$ ) por el valor del eco individual de los peces, se obtiene la densidad de individuos correspondiente:

$$\rho_v = s_v / \sigma_{bs}$$
$$( TS = 10 \times \log \sigma_{bs} )$$

donde:

$\sigma_{bs}$ : sección equivalente de retrodispersión sonora (m<sup>2</sup>)

TS: intensidad de blanco acústico (dB)

Para cada emisión de la ecosonda, se calcula la intensidad sonora acumulada sobre la columna de agua o sobre un determinado rango de profundidades ( $s_A$ ), el cual de manera simplificada puede definirse como:

$$s_A = \bar{s}_v \times \Delta R$$

donde:

$s_A$ : coeficiente de retrodispersión sonora de la columna de agua ( $m^2/mn^2$ )

$\Delta R$ : altura de columna de agua (m)

Para estimar entonces la densidad media de organismos en un cuerpo de agua determinado, se requiere prospeccionar el mismo con una ecosonda calibrada y así obtener el valor medio del  $s_A$  correspondiente a ese ambiente. Para ello, los valores de eco-integración obtenidos en cada una de las emisiones sonoras son promediados al completarse una cierta distancia recorrida o “intervalo de promediación”. Estos valores constituyen las “unidades muestrales” de la prospección. El proceso se repite sistemáticamente a lo largo de todo el recorrido, el cual deberá seguir una cierta estrategia de muestreo espacial, de forma tal de obtener una cobertura estadísticamente representativa de la totalidad del ambiente a evaluar.

De forma simplificada, la abundancia de organismos resulta entonces:

$$\bar{s}_{A_j} = (1/n) \times \sum_{i=1}^n s_{A_i}$$

$$\bar{s}_A = (1/N) \times \sum_{j=1}^N \bar{s}_{A_j}$$

$$\hat{\rho}_A = \bar{s}_A / \sigma_{bs} \quad ; \quad \hat{U} = \hat{\rho}_A \times A$$

donde:

$n$  : número total de emisiones sonoras en un intervalo de recorrido

$s_{A_i}$  : valor de ecointegración para una emisión sonora ( $m^2/mn^2$ )

$\bar{s}_{A_j}$  : valor de ecointegración promedio para un intervalo del recorrido ( $m^2/mn^2$ )

$N$  : número total de intervalos del recorrido de la prospección

$\bar{s}_A$  : valor medio estimado del coeficiente de ecointegración ( $m^2/mn^2$ )

$\hat{\rho}_A$  : valor medio estimado de la densidad de individuos ( $1/mn^2$ )

$A$  : área de la superficie del cuerpo de agua ( $mn^2$ )

$\hat{U}$  : abundancia estimada de individuos (número de individuos)

En este proceso, el parámetro TS también es clave para la estimación absoluta de la abundancia de organismos por métodos acústicos. Existen diferentes métodos para determinar el valor de TS de los peces (Foote, 1987; Foote 1991). En este caso se realizaron mediciones in situ del TS de los peces durante el desarrollo de la prospección.

### *Equipamiento utilizado*

Las prospecciones acústicas se realizaron mediante embarcaciones propulsadas con motores fuera de borda. El instrumental utilizado consistió en una ecosonda científica de banda ancha portátil marca SIMRAD EK80 operando un transductor de haz dividido de 120 kHz en frecuencia y un ángulo de  $-3$  dB de  $7^\circ$ . Dicho transductor fue instalado a un costado de la embarcación por medio de un soporte que lo fijó a la borda y el cual estaba orientado verticalmente hacia abajo (Figura 1). El mismo fue remolcado a una velocidad constante de navegación de entre 3 y 5 nudos aproximadamente. La profundidad de operación del transductor acústico fue de 45 cm aproximadamente. La finalidad de instalarlo a dicha profundidad es evitar las interferencias provenientes de las burbujas generadas por el motor de la embarcación.

El equipo acústico fue calibrado posteriormente a la primera prospección y durante la realización de la segunda etapa. La misma se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en Foote *et al.* (1987) para calibraciones con blancos acústicos estándar (esfera de tungsteno). El equipo estuvo conectado a un receptor GPS que permitió geo-referenciar la información adquirida mediante una interface de datos hacia la computadora PC tipo Notebook. Dicha computadora se utilizó como unidad de control de la ecosonda y para almacenar, en tiempo real en el disco rígido, los datos acústicos (eco-registros) adquiridos. El equipamiento operó mediante una batería de 12 V. La autonomía de carga de la misma permitió completar un día completo de trabajo. Al finalizar cada jornada de trabajo, se procedió a recargar la misma utilizando un cargador de baterías.



Figura 1. Instalación del equipamiento acústico

### ***Método de muestreo y procesamiento de los datos acústicos***

El muestreo acústico implementado consistió en una serie de recorridos en línea recta (transectas). Por razones de seguridad, solamente se trabajó en horas diurnas. El intervalo de promediación elegido, para procesar los datos de ecointegración de las transectas fue de 100 m. Como se mencionó anteriormente los patrones de recorrido fueron diferentes. La primera campaña consistió en transectas en zig-zag de costa a costa, perpendiculares a la batimetría. Durante la segunda, las disposiciones de las transectas fueron paralelas y siguiendo las isobatas de profundidad, intensificando el muestreo en las zonas donde se detectaron mayores concentraciones de surubíes.

La información acústica adquirida fue analizada en el Gabinete de Hidroacústica del INIDEP utilizando el programa de pos-procesamiento de datos acústicos Myriax Echoview (v.9) y programas SIG (Sistema de Información Geográfica). A partir de los ecogramas obtenidos se determinó la línea de fondo.

Con el objeto de discriminar los ecos de los peces de aquellos otros tipos de blancos, se establecieron varias pautas de análisis. En primer lugar, se estableció un umbral mínimo de aceptación para los valores de ecointegración ( $S_v = -60$  dB). De esta manera, se excluyeron de los análisis blancos débiles.

Manualmente se establecieron regiones espaciales de análisis sobre el ecograma, de forma tal que cada región contuviera los ecos de un pez o grupo de peces. Se definieron, de esta manera, más de 500 regiones de análisis de peces, obteniéndose para cada una de ellas los correspondientes valores medios de  $S_A$  y TS.

Lamentablemente no se realizaron muestreos directos de peces (por ej. mediante redes agalleras), necesarios para completar una correcta identificación de los coregistros (asignación por especies).

La densidad de peces de cada intervalo de promediación (100 m de recorrido) se obtuvo sumando las contribuciones de cada una de las regiones de análisis contenidas en el mismo. Estos valores denominados ESDU (*Elementary Sampling Distance Unit*) constituyen los “elementos muestrales”, a partir de los cuales se estima la densidad media de peces por estrato en cantidad de individuos por hectárea. Finalmente, a través del factor de área se calculó la abundancia correspondiente.

Para el análisis de la batimetría, los datos fueron corregidos sumando el calado de 45 cm del transductor. Se adquirió durante la prospección la detección de fondo de la ecosonda para cada disparo. Estos datos fueron analizados y filtrados para eliminar valores incorrectos.

### ***Experiencias de medición de TS - Prospección Julio***

Se realizó un experimento para la medición del TS (intensidad de blanco acústico) de surubí pintado dirigido a establecer su relación con la longitud de los individuos. Para esto, se aprovecharon los eventos de marcación de los ejemplares capturados para realizar la medición de su TS, de esta manera se combinaron las mediciones acústicas con el muestreo (longitud y peso) realizado durante la marcación.

La medición de TS requiere que el pez pase dentro del cono de sonido del transductor. Por esto, inicialmente se probó aproximándose a los individuos mientras estaban enganchados con el señuelo, midiendo de esta forma el TS de cuatro ejemplares; dos enganchados de la cola, uno del dorso y otro de la boca. Se realizó la medición del TS del señuelo utilizado por los pescadores (Figura 2), para ponderar su efecto sobre la medición de TS de los surubíes enganchados. El señuelo presenta un valor de TS acústico no despreciable, del orden de los -35 dB, que podría alterar la medición de los individuos, se decidió entonces realizar las mediciones de TS una vez que los surubíes capturados eran liberados. De esta manera se realizaron mediciones sobre 38 individuos.

Las mediciones obtenidas fueron analizadas mediante el programa Echoview aplicando rutinas para la generación de ecogramas virtuales de detección de blancos individuales y conformación de *fish-Relevamiento acústico Río Uruguay 2022*

*tracks*. De este análisis resultaron 24 mediciones de TS válidas. Con los valores promedio de TS de los *fish-tracks* válidos y los datos de longitud correspondientes a cada ejemplar se conformaron clases en función de los rangos de longitud y se realizó una regresión lineal entre el logaritmo decimal de la longitud media de la clase y el TS medio correspondiente.

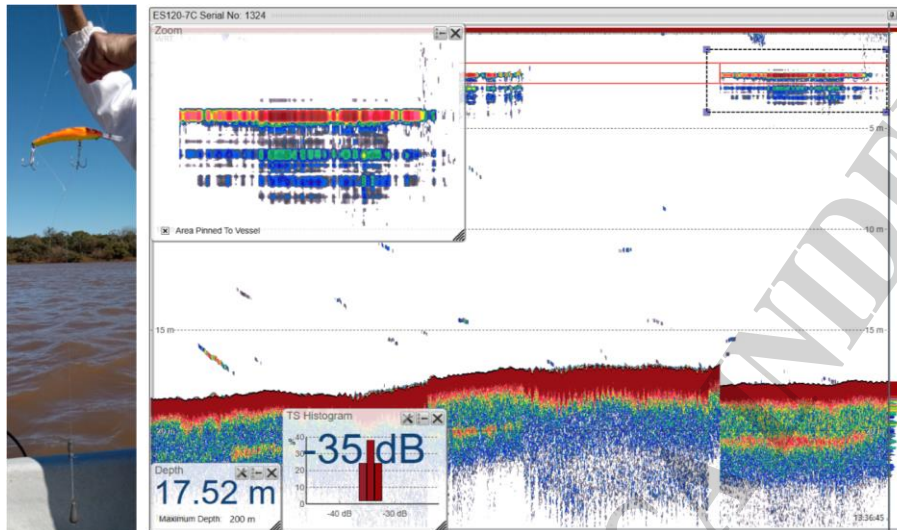


Figura 2. Medición de TS del señuelo utilizado por los pescadores; en la imagen de la izquierda se muestra el arreglo realizado para ubicar el señuelo dentro del cono de sonido del transductor y en la imagen de la derecha se muestra un ecograma de TS obtenido durante las mediciones en el que se aprecia el eco significativo del señuelo, con un TS de -35 dB.

## Resultados

### *Prospección Junio - Distribución espacial de los de peces*

La Figura 3 muestra la distribución espacial de los coregistros asignados como surubí obtenido durante la primera prospección. Los círculos amarillos indican la posición de los individuos.



Figura 3. Distribución espacial de los coregistros asignados como surubí.

La información adquirida mediante la ecosonda permitió asistir en tiempo real a los pescadores deportivos proporcionándoles información de la ubicación de los ejemplares. De esta manera, se logró incrementar la tasa de captura, marcación y liberación de los mismos.

**Prospección Julio - Estimación de abundancia de peces**

La Figura 4 muestra los valores de densidad acústica obtenidos. Los círculos rojos son proporcionales a los valores de coeficiente de retrodispersión por unidad de área. La Tabla 1 resume las estadísticas de la estimación de abundancia de peces calculada. La abundancia total de peces para la zona prospectada fue de 22.302 peces. figuras 5 a 13. Predominaron particularmente los ecoregistros de peces aislados cerca de veriles, también se observaron ecos individuales de individuos apoyados sobre el fondo del río (Figuras 5 a 13). Asimismo, se pudo observar la presencia de troncos sumergidos, vegetación, etc. sobre el fondo.



Figura 4. Valores de densidad acústica asignados como surubí. Los círculos rojos son proporcionales a los valores de coeficiente de retrodispersión por unidad de área.

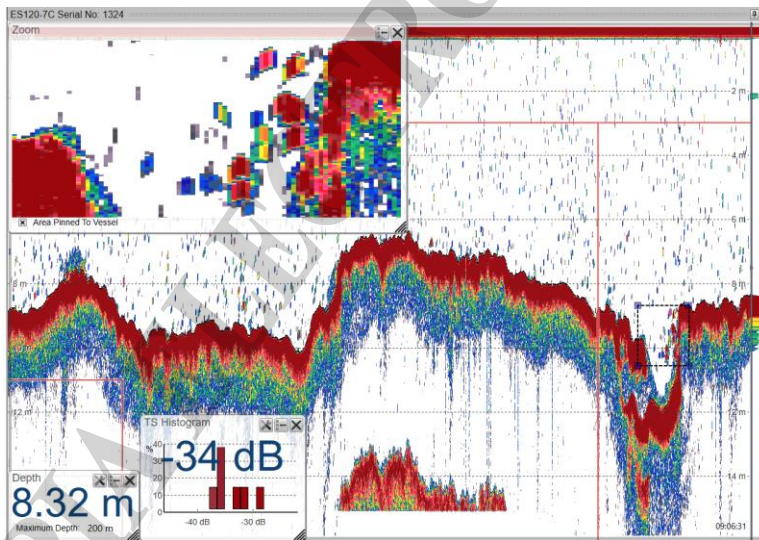


Figura 5. Registro de blancos individuales cercanos al veril de un pozón.



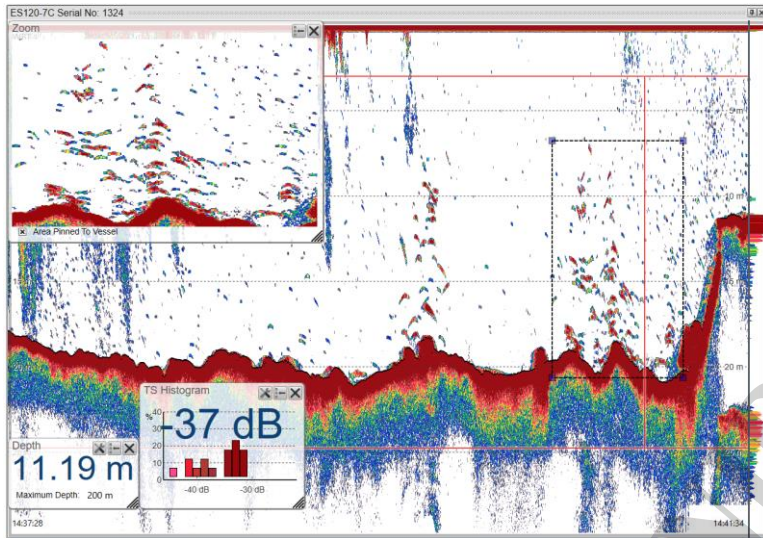


Figura 6. Registro de agregaciones de blancos individuales en un pozón.

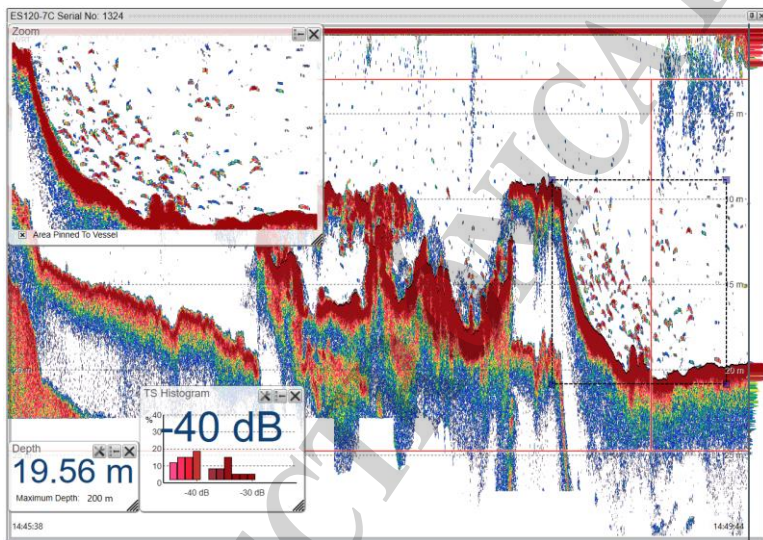


Figura 7. Registro de blancos individuales agregados cerca del veril de un pozón.

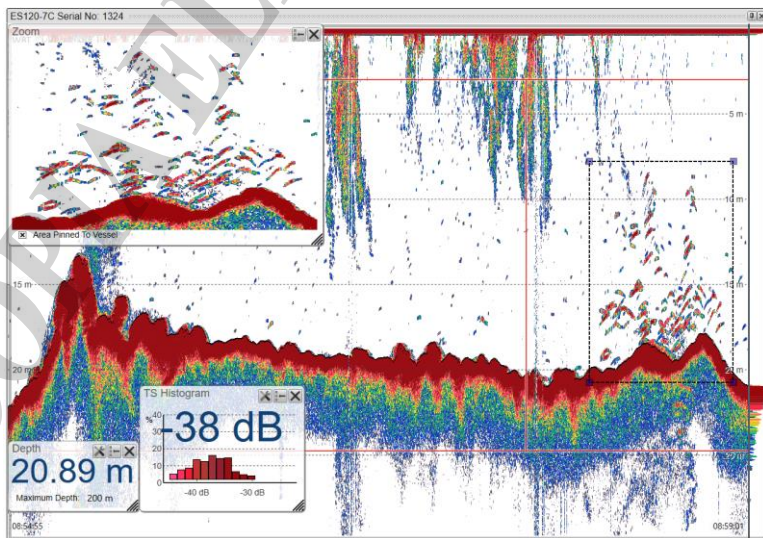


Figura 8. Registro de blancos individuales agregados a una profundidad de entre 10 y 18 m.  
Relevamiento acústico Río Uruguay 2022

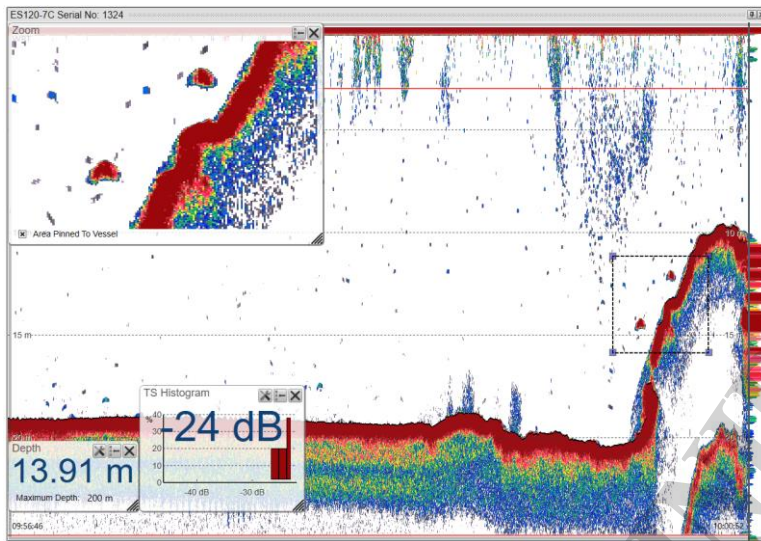


Figura 9. Registro de dos blancos individuales de individuos de gran tamaño sobre un veril a una profundidad media de 14 m.

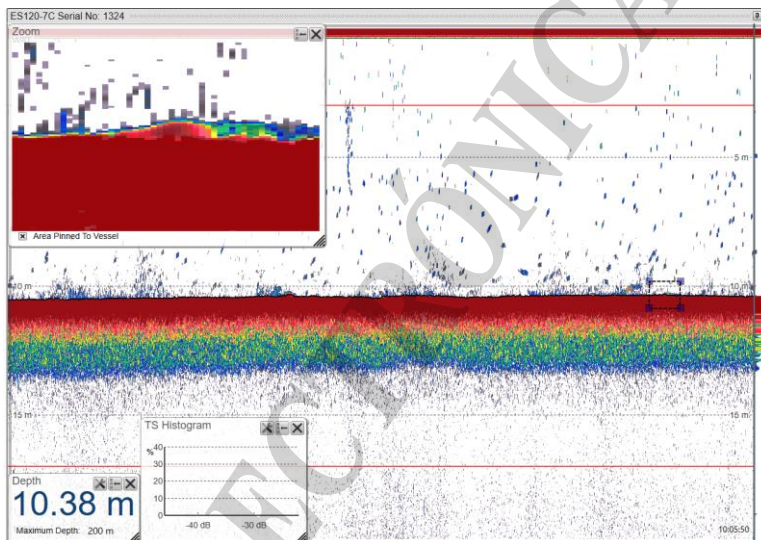


Figura 10. Registro de un individuo apoyado sobre el fondo.

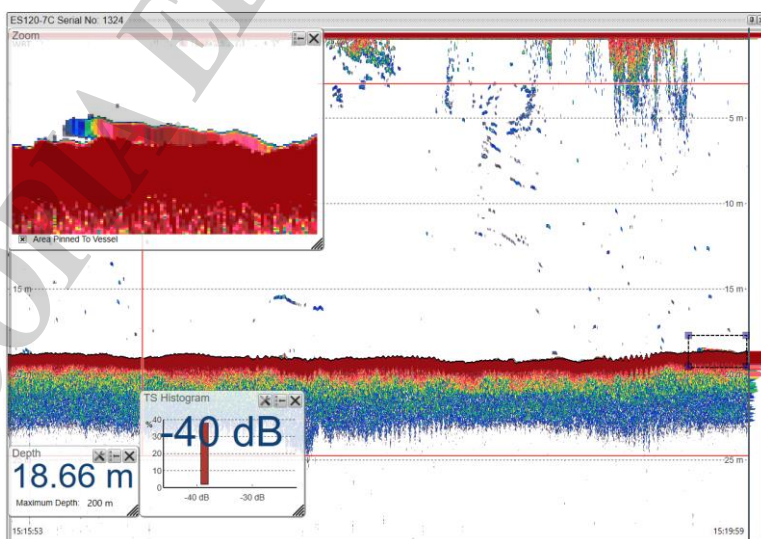


Figura 11. Registro de un individuo aproximándose al fondo.

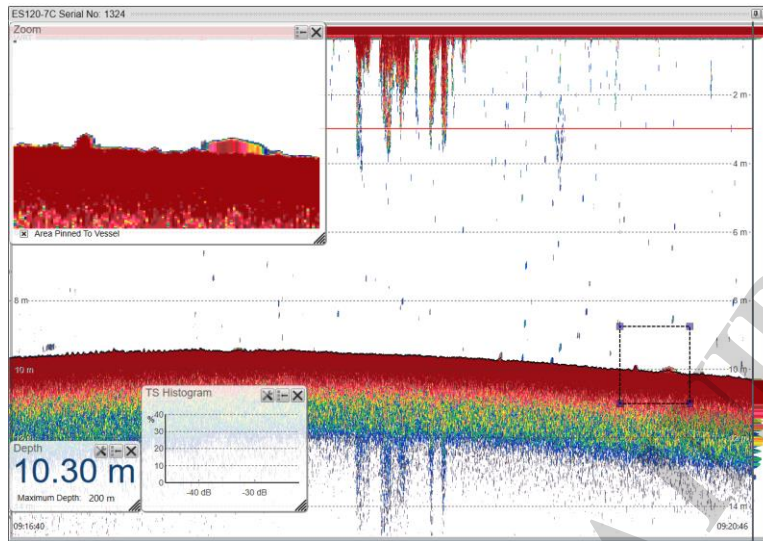


Figura 12. Registro de un individuo apoyado sobre el fondo.

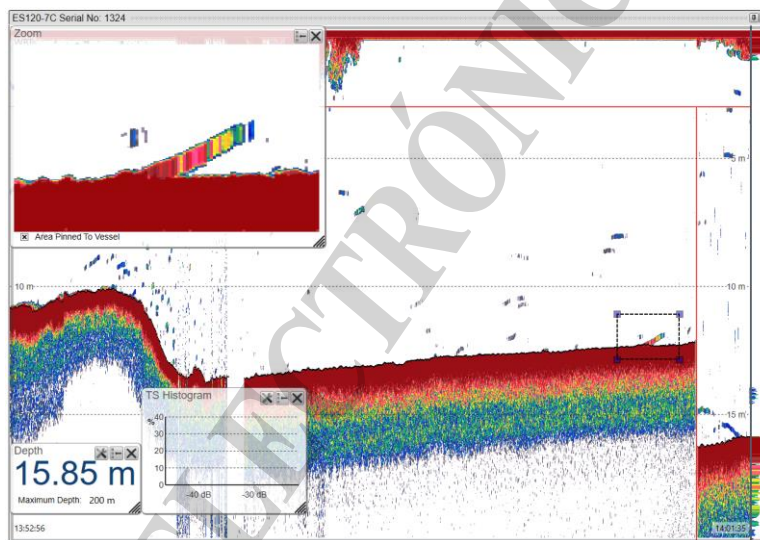


Figura 13. Registro de un individuo separándose del fondo.

### ***Mediciones de TS de surubí***

La realización de mediciones de TS de individuos de surubí pintado capturados para su marcación, permitió obtener una relación preliminar entre la longitud y el valor de TS, con una calidad de ajuste  $R^2=0,956$ . Las longitudes cubiertas fueron entre los 84 y 157 cm (Figura 14). Como se mencionó anteriormente, la determinación de esta relación es fundamental para realizar estimaciones cuantitativas de biomasa mediante el método acústico. Es importante destacar que resultaron sumamente importante dichas mediciones ya que no se cuenta con relaciones de referencia para la especie en estudio.

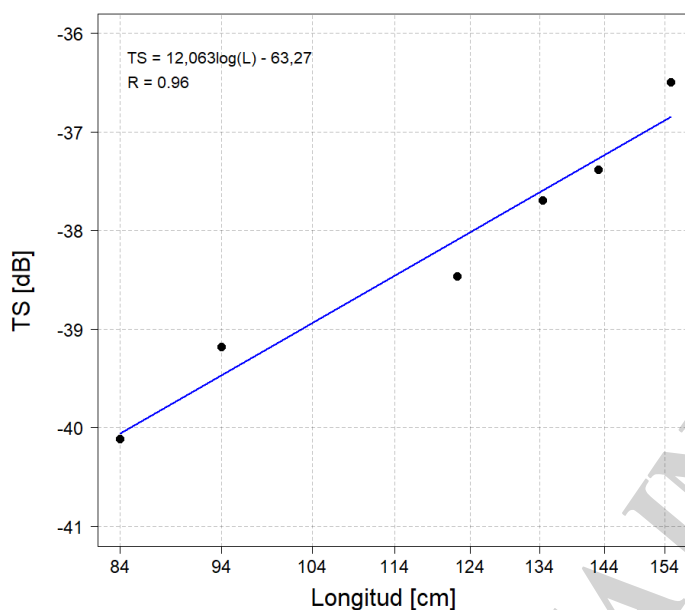


Figura 14. Mediciones de TS agrupadas en clases de longitud (puntos) y regresión lineal de ajuste (línea continua azul). Se presenta en el gráfico la relación resultante entre el TS y la longitud.

En cuanto al posible tamaño de los peces detectados por la ecosonda, en la Figura 15 se muestra la distribución de frecuencias de los valores de TS de todos los blancos individuales asignados a surubí durante la prospección. Los valores más frecuentes de TS fueron dentro del rango de -30 a -36 dB.

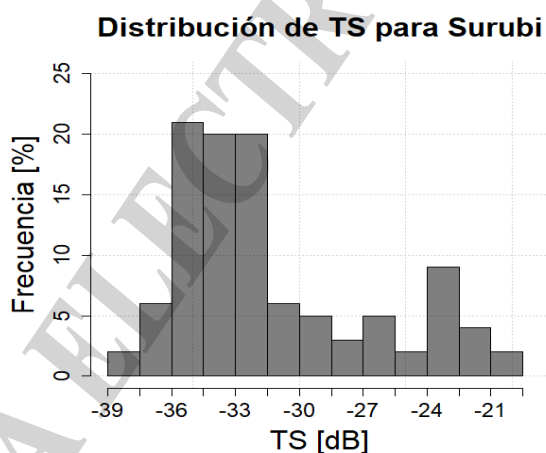


Figura 15. Distribución de frecuencias de los valores de TS para todos los blancos individuales detectados durante la prospección.

### Estimación de abundancia por métodos acústicos

Se calculó un valor total de ejemplares de surubí pintado, para el área prospectada, de 22.302 peces. La densidad promedio de peces fue de 68,52 peces/ha. A partir de los pesos individuales promedio, obtenidos de las capturas durante la pesca para marcación, se estimó una biomasa de 456,30 toneladas. Tabla 1

Tabla 1. Resultados de la estimación de abundancia de surubí pintado.

<b>Área estrato (mn<sup>2</sup>)</b>	
0,949	
<b>Densidades por milla náutica cuadrada</b>	
<b>Densidad media (peces/mn<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad media (ton/mn<sup>2</sup>)</b>
23.500,75	480,83
<b>Densidades por hectárea</b>	
<b>Densidad media (peces/ha)</b>	<b>Densidad media (ton/ha)</b>
68,52	1,40
<b>Individuos Totales</b>	<b>Biomasa Total (ton)</b>
22.302,22	456,30

### **Batimetría**

Las profundidades mínima y máxima obtenidas durante el recorrido fueron de 3 y 29,6 m respectivamente, siendo el valor promedio de 11,6 metros.

### **Discusión**

Queda demostrado que la implementación de técnicas hidroacústicas constituye un método eficiente para la detección y cuantificación de organismos acuáticos, puesto que permite estimar la abundancia y la distribución de los recursos ícticos.

El muestreo acústico realizado permitió prospectar el área de los pozones en un corto período de tiempo obteniendo imágenes sinópticas sobre la distribución espacial de peces.

A partir del análisis de las dos prospecciones, se puede concluir que en el área de veda se concentran altas densidades de peces en comparación con las observadas en zonas adyacentes. Asimismo, es importante destacar que los “pozones” poseen características muy particulares (batimetría) que no se observaron en otra parte del área de estudio.

A los fines de generar un mosaico batimétrico detallado de los pozones, se propondrá un diseño de muestreo con transectas más agrupadas que permita aumentar el volumen de puntos para futuras campañas y esa manera se favorecerá la resolución y el proceso de interpolación de la información adquirida.

En virtud de la actualización del equipamiento realizado, sería oportuno implementar experiencias adicionales tales como mediciones de ecos individuales (TS) de peces en jaulas (distintas especies y clases de longitudes). Estas mediciones, acompañadas de estudios sobre la morfometría de los individuos mediante tomografías, servirían para validar datos provenientes de simulaciones de modelos teóricos. Luego, a partir de los modelos computacionales se puede predecir la variabilidad de la intensidad del TS con la longitud u orientación de los peces, y de esa forma contribuir a la identificación específica de los registros detectados acústicamente.

Cabe destacar que durante en algunos momentos de la prospección se destinó tiempo para la adquisición de la información en formato FM (frecuencia modulada). Esto permitirá en un futuro aumentar la resolución vertical y realizar estudios de identificación de especies mediante la respuesta en frecuencia acústica.

Finalmente es importante enfatizar y se valora la reanudación por parte de CARU, las campañas acústicas en el marco del Programa de conservación de la fauna íctica y los recursos pesqueros del Río Uruguay.

## **Agradecimientos**

A los directores y personal de la CARU por la gestión realizada que permitió la compra de la licencia para actualizar el transeceptor del ecosonda portátil SIMRAD EK-80.

A los guías y pescadores deportivos que participaron durante las dos prospecciones transmitiendo su experiencia del área en estudio. Quisiéramos agradecer especialmente al Sr. Juan Pablo Godoy empleado de la Municipalidad de Puerto Yerúa por su participación y activa colaboración durante la segunda prospección.

A los choferes del INIDEP y la CARU, particularmente a los señores (Sergio Castillo y Diego Delgado) que permitieron el traslado del personal y del equipamiento acústico desde Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

## **Bibliografía**

- Clay, C. S. and H. Medwin. 1977. Acoustical oceanography. John Wiley & Sons, New York, NY. 544 p.
- Foote, K. G. 1983. Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. J. Acoust. Soc. Am., 73: 1932-1940.
- Foote, K. G. 1987. Fish target strengths for use in echo-integration surveys. Journal of the Acoustical Society of America, 82: 981-987.
- Foote, K. G., Knudsen, H. P., Vestnes, G., MacLennan, D. N., and Simmonds, E. J. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. International Council for the Exploration of the Sea Cooperative Research Report, 144: 57.
- Foote, K. G. 1991. Summary of methods for determining fish target strength at ultrasonic frequencies. ICES Journal of Marine Sciences, 48: 211-217.
- Forbes, S. T. y Nakken, O. 1974 - Manual de métodos para el estudio y la evaluación de los recursos pesqueros. Parte 2: Utilización de instrumentos acústicos para la localización de peces y la estimación de su abundancia. Manual FAO Cien. Pesq., 5. 144 p.
- MacLennan D. N. and Simmonds, E. J., 1992. Fisheries Acoustics. Chapman and Hall, London.