

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 305**

21 Número de solicitud: 202230941

51 Int. Cl.:

G06Q 50/02 (2014.01)

G06V 20/05 (2012.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

28.10.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

04.06.2024

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

16.02.2025

Fecha de concesión:

06.03.2025

45 Fecha de publicación de la concesión:

13.03.2025

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE HUELVA (100.00%)
C/ Dr. Cantero Cuadrado, 6
21071 Huelva (Huelva) ES

72 Inventor/es:

GUTIERREZ ESTRADA, Juan Carlos;
PULIDO CALVO, Inmaculada;
PEREGRIN RUBIO, Antonio;
GOMEZ BRAVO, Fernando;
LOPEZ DOMINGUEZ, Samuel;
CASTRO GUTIERREZ, Jairo y
GARROCHO CRUZ, Alejandro

74 Agente/Representante:

RODRÍGUEZ QUINTERO, José

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y EQUIPO PARA LA ESTIMACIÓN AUTOMÁTICA DE BIOMASA DE PECES EN ESTEROS**

57 Resumen:

Procedimiento de estimación automática de la biomasa de peces criados en esteros, que comprende las etapas:

A. capturar una secuencia de vídeo-sonar a lo largo de un transecto en un estero con un sonar de imagen instalado en un vehículo submarino operado remotamente (ROV);

B. remuestrear y obtener imágenes estáticas del vídeo-sonar.

C. segmentar y clusterizar las imágenes estáticas remuestreadas.

D. estimar el número de peces en la balsa a partir de los datos extraídos de las imágenes remuestreadas; y

E. estimar la biomasa por intervalo de talla y la biomasa total contenida en el estero; y equipo para llevar a cabo dicho procedimiento que comprende un ROV; una computadora externa donde se ejecuta un programa informático con el que se obtiene la estimación automática de la biomasa de peces criados en el estero; y un cable de transmisión que conecta el ROV con la computadora.

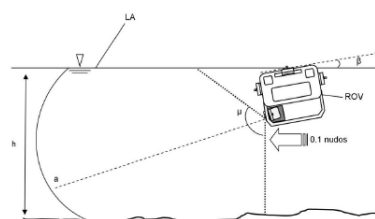


FIG.6

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 971 305 B2

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO Y EQUIPO PARA LA ESTIMACIÓN AUTOMÁTICA DE BIOMASA DE PECES EN ESTEROS

5

Campo del invento

El presente invento consiste en un procedimiento para la estimación automática de biomasa de peces en esteros o sistemas de acuicultura en tierra y en un equipo con el
10 que llevar a cabo dicho procedimiento, el cual se basa en la utilización de vehículos operados remotamente y sonar de imagen.

El campo de aplicación del presente invento se encuadra dentro de la tecnología para acuicultura semi-intensiva, más concretamente en el relativo a la evaluación automática y
15 en tiempo real de la biomasa y lotes de cultivo de peces engordados en esteros o balsas de cría en tierra.

Estado de la técnica

20 Como es sabido, los esteros mejorados son uno de los principales sistemas de cultivos acuícolas utilizados en España. Ha de entenderse como estero todo sistema de acuicultura en tierra como, por ejemplo, las balsas de cría de peces en tierra. Estos sistemas de cría de peces proporcionan una alta producción de alimento para consumo humano, con su importante factor económico, como también contribuye positivamente
25 desde el punto de vista de la conservación de los espacios naturales, ya que desarrollan su actividad en extensas explotaciones salinas abandonadas que son reacondicionadas y mantenidas para cultivar de forma sostenible peces de muy alta calidad.

En este sentido, es sabido que esta producción sostenible desarrollada en los esteros
30 mejorados proporciona una ventaja competitiva frente a sistemas intensivos de cultivo. Sin embargo, la consolidación de la producción en los esteros mejorados como una industria sólida y desarrollada depende en gran medida de la mejora y adaptación continua para hacer las instalaciones más eficientes y rentables. De esta forma, es necesario implementar procesos y procedimientos que faciliten el manejo de los peces en
35 los estanques, satisfaciendo los exigentes criterios establecidos de sostenibilidad, calidad alimentaria y productividad.

Teniendo en cuenta esta situación, un aspecto crucial que puede hacer peligrar la viabilidad de este tipo de instalaciones es la correcta cuantificación y control del número de peces y biomasa en la instalación. Este es un problema técnico que es abordado de una manera ineficaz, dado que los piscicultores saben cuántos peces se introducen en los estanques, pero desconocen la abundancia y distribución de la biomasa al final del ciclo de cultivo ya que la mortalidad es muy difícil de contabilizar y las tasas de crecimiento pueden ser muy diferentes entre los individuos, balsas e instalaciones. Esto dificulta enormemente el cálculo de lotes homogéneos de cultivo, lo cual es uno de los esenciales componentes de la producción de estas instalaciones.

De forma general, la estimación de la abundancia de peces en este tipo de instalaciones se ha afrontado desde el enfoque de obtener una muestra y extrapolarla al conjunto de la instalación. La obtención de esta muestra implica la gestión de la lámina de agua, la intervención de varios trabajadores durante un periodo de tiempo relativamente largo y, por tanto, un alto coste de manejo en la instalación. Por otra parte, este enfoque tan solo proporciona una instantánea de la abundancia y la biomasa en un momento determinado e implica un manejo de los peces y la balsa que introduce factores de estrés en la población de peces lo que supone un alto coste en mortalidad.

Una alternativa a esta aproximación es el uso de procedimientos no invasivos basados en análisis de vídeo y sonares multihaz o sonares de imagen integrados en vehículos submarinos operados remotamente (ROVs) de pequeño tamaño. La presente invención se centra en este tipo de tecnología.

Los vehículos operados remotamente (ROVs) son plataformas robóticas controladas por un operario que se utilizan fundamentalmente para el reconocimiento, inspección, observación y desarrollo de tareas específicas bajo el agua. Están normalmente constituidos por una plataforma marginalmente flotante sobre la que se instala un conjunto de motores o propulsores que permiten su desplazamiento a través del agua así como un conjunto de sensores.

La implantación de los vehículos operados remotamente (ROVs) en acuicultura se ha centrado hasta la fecha únicamente en instalaciones de cría en jaula en mar abierto.

Véase, a modo de ejemplo, lo divulgado en el artículo: <https://www.sintef.no/en/projects/netclean-247/> o lo divulgado en el artículo:

<https://www.sintef.no/en/projects/2012/development-of-rov-as-a-tool-for-automated-simulta/>. Pero ha de tenerse en cuenta que la implantación y el uso de vehículos

operados remotamente (ROVs) es inexistente su uso en balsas de cría en tierra. Esto es debido a que en mar abierto se pueden utilizar dado que están diseñados para inspección y reconocimiento, haciendo uso de cámaras de vídeo, y estos vehículos básicamente pueden comprobar el estado de las redes y sus anclajes. Sin embargo, en esteros o instalaciones en tierra no se han podido utilizar nunca debido a que las cámaras de vídeo no son operativas en estos ambientes debido a la turbidez del agua. Este es un problema técnico no resuelto hasta la fecha, y a este problema hace frente la presente invención.

Por otro lado, es sabido, el análisis de imágenes de vídeo es un procedimiento utilizado ampliamente en la industria agroalimentaria. Entrando más en detalle en el campo de la presente invención, en la acuicultura el análisis de imágenes es utilizado para estimar tallas y biomasa. No obstante, los sistemas existentes necesitan una imagen estática, nítida, capturada a una distancia fija o en su defecto tomada en aguas claras con buena iluminación. Véase este problema en, por ejemplo, lo divulgado en “*Using image analysis to predict the weight of alaskan salmon of different species*”. *Journal of Food Science* 75, 157-162 de Balaban et al. (2010); o lo divulgado en “*Estimation for fish mass using image analysis and neural network*”. *Computers and Electronics in Agriculture* 173, 105439 de Zhang et al. (2020).

En la línea de lo indicado anteriormente, también es conocido lo divulgado en los documentos WO2012038415A1 y ES2649056A1 donde se describen métodos para la detección de peces que se basan en el uso de cámaras fotográficas convencionales y escáneres 3D para tomar una imagen de los individuos que pasan a través de conductos o canales con paredes transparentes y con circulación de aguas claras. Debido a estas características, estos métodos no pueden ser implementados de forma operativa en la acuicultura de esteros ya que éstos se desarrollan en zonas estuáricas donde, tal y como se ha indicado previamente, existe el problema de que el agua se caracteriza por un alto nivel de turbidez lo que inhabilita la posibilidad de capturar imágenes de los peces con la suficiente calidad.

También es conocido el uso de tecnologías de sonar dentro del sector agroalimentario. Centrándonos en el sector de la acuicultura, se conocen divulgaciones donde se indica que este tipo de tecnología se pueden utilizar para contar peces. Véase, por ejemplo, lo divulgado en “*Accuracy and precision of fish-count data from a ‘dual-frequency*

*identification sonar' (DIDSON) imaging system. ICES Journal of Marine Science 63, 543-555" de Holmes et al. (2006) donde se describe la utilización de un sistema de sonar de identificación de doble frecuencia (DIDSON) para evaluar y contar salmones rojos (*Onchorhynchus nerka*) en poblaciones que regresan a desovar en el río Fraser (Canadá). Asimismo, véase lo divulgado en "Automated acoustic method for counting and sizing farmed fish during transfer using DIDSON". Fisheries Science 75, 1359-1367 de Han et al.(2009) donde se describe la utilización del sistema DIDSON para el recuento y la estimación del tamaño de *Seriola quinqueradiata* de piscifactoría de gran tamaño criadas en jaulas marinas. Estos dispositivos proyectan un haz horizontal que permite reconstruir una imagen cenital del pez. A partir de estas imágenes un operario puede estimar la longitud del pez asociado a un grado de error. Estos sistemas permiten realizar un conteo absoluto de los peces en jaulas mediante el tratamiento de la información generada por el sonar con sistemas de análisis de imagen, pero tienen dos problemas que hacen que la tecnología no sea eficiente, uno es que requieren la intervención de un experto en análisis de imagen y además no estiman la biomasa, y el segundo es que el conteo se realiza a partir del sonar ubicado en una plataforma fija o es transportado manualmente por un operario.*

Habida cuenta de los antecedentes conocidos en el estado de la técnica, no es conocida la existencia procedimientos que permitan la evaluación automática de la biomasa en tiempo real de especies piscícolas cultivadas en esteros mejorados, ni es conocida el uso de sistemas no invasivos e integrados en vehículos submarinos de pequeño tamaño para ese fin. El problema técnico planteado es el de conseguir una estimación automática de biomasa de peces en esteros, donde es sabido las condiciones de poca visibilidad y luminosidad y, sobre todo, con altos grados de turbidez del agua. La presente invención solventa este problema y tiene la ventaja de describir un procedimiento no intrusivo y no destructivo que permite estimar de forma automática y en tiempo real la biomasa por tallas de peces en balsas de cultivo en tierra caracterizadas por el uso de aguas con un alto nivel de turbidez, para lo cual, se utiliza un vehículo operado remotamente adaptado a las necesidades y problemática de este tipo de instalaciones.

Explicación del invento

La invención consiste en un procedimiento que permite la estimación automática y en tiempo real de la abundancia y biomasa de peces criados en balsas de esteros mejorados a partir de la información obtenida de un sonar de imagen, estando dicho

sonar instalado en un vehículo submarino operado remotamente (ROV) configurado para las necesidades específicas de un estero.

- Es un procedimiento desarrollado en el seno del proyecto KTTSeaDrones (0622_KTTSEADRONES_5_E) –Conocimiento y transferencia de tecnología sobre vehículos aéreos y acuáticos para el desarrollo transfronterizo de ciencias marinas y pesqueras– cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER a través del programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020.
- Este procedimiento implica el uso de un equipo donde el vehículo el ROV es el componente principal. En el ROV se integra un sonar de imagen de última generación, y este vehículo está operado de forma remota y no invasiva desde el exterior de la balsa, estando conectado a través de un cable de transmisión de datos a una computadora (CPU) externa portátil en el que se encuentra implementado un programa informático para el control del ROV y para la estimación automática y en tiempo real de la abundancia y biomasa de peces. Por tanto, el procedimiento propuesto en esta invención, debido a la utilización de este equipo, hace que sea automático, no destructivo y no invasivo.
- La estructura básica del vehículo ROV comprende un chasis donde se acoplan unos flotadores y un tubo estanco que contiene la electrónica de control y de transmisión de datos. Adicionalmente, otro tubo estanco contiene una batería que suministra la energía necesaria al conjunto de motores que permite el desplazamiento del ROV a través de la superficie y columna de agua. Además, el ROV tiene la particularidad de comprender un chasis carga en su parte inferior donde se acopla un sensor con un sonar de imagen. La señal transmitida a la computadora desde este sensor permite reconstruir una imagen en tiempo real de los objetos y peces que se encuentran alrededor del ROV en total oscuridad o con niveles muy altos de turbidez del agua.
- Esto supone, por tanto, que al contrario de cómo se estima de forma tradicional la abundancia y biomasa en este tipo de plantas de acuicultura, es decir, en esteros o en balsas de cría en tierra, el cálculo de estos parámetros con esta invención no necesita de un manejo del volumen de agua contenido en la balsa, de la intervención directa de operarios ni de la extracción de una muestra de peces, y soluciona el problema de obtener datos en ambientes con elevado grado de oscuridad y niveles altos de turbidez en el agua.

Entrando en la explicación del procedimiento, ha de decirse que este comprende una pluralidad de etapas que se ejecutan consecutivamente. A modo de resumen, el procedimiento comprende las siguientes etapas generales:

5

En una primera etapa, se lleva a cabo una captura de una secuencia de vídeo-sonar a lo largo de un transecto longitudinal de la balsa en condiciones de muy baja o nula visibilidad debido a la alta turbidez del agua en este tipo de instalaciones. Estas condiciones del agua impiden la grabación de imágenes convencionales de vídeo.

10

La secuencia de vídeo-sonar es enviada a través del cable de transmisión de datos del ROV hasta una computadora o portátil donde, en una segunda etapa del procedimiento, la secuencia es remuestreada en imágenes estáticas.

15

En una tercera etapa, cada imagen estática obtenida es procesada mediante un programa informático implementado en la computadora. Este programa, constituido por una red neuronal artificial convolucional, permite segmentar y clusterizar la imagen, proporcionando una estimación del número de peces, así como una medida relativa del tamaño de cada uno de los peces detectados.

20

La siguiente etapa del procedimiento proporciona una aproximación de la abundancia total a partir de la información proporcionada por la red neuronal artificial y las características físicas de la balsa. Este dato sobre la población de peces contenida en la balsa es fundamental para la estimación de la biomasa por intervalo de talla y biomasa total que es llevada a cabo en una etapa final.

25

En la última etapa del procedimiento las mediciones generadas por el programa son transformadas en estimaciones reales de tamaño y peso del pez mediante relaciones experimentales número de píxeles-longitud y longitud-peso específicas para cada especie cultivada. Estas relaciones, conjuntamente con la estimación de la abundancia obtenida en la etapa anterior, proporcionan una distribución de biomasa por talla lo que permite al acuicultor planificar con mucha precisión la cantidad de alimento a suministrar así como establecer lotes de cultivo en tiempo real sin la necesidad de la intervención de ningún operario ni la extracción de ninguna muestra.

30

Se ha de tener en cuenta que, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones, el

término “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales.

Breve descripción de las figuras

5

Con el objeto de completar la descripción y de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se presenta un juego de figuras y dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo se representa lo siguiente:

- 10 **Figura 1.-** Muestra un esquema comparativo entre un procedimiento perteneciente al estado de la técnica actual donde dicho procedimiento es manual, destructivo e invasivo; y un procedimiento como el descrito en la presente invención donde el procedimiento es automático, no destructivo y no invasivo. En este sentido, se muestra ambos procedimientos para trabajos relacionados con doradas (*Sparus aurata*) criadas en
15 esteros mejorados.

Como se puede observar en dicha figura, en un procedimiento conocido en el estado de la técnica se requieren las siguientes etapas:

ET1: manejo de la lámina de agua e intervención de varios operarios, con una toma de muestra mediante despesque.

- 20 ET2: sacrificar los peces capturados.

ET3: pesar los peces capturados.

ET4: calcular una talla y peso medio a partir de la muestra.

ET5: extrapolar la talla y peso medio a la balsa teniendo en cuenta el número de individuos introducidos inicialmente y la mortalidad contabilizada.

- 25 Consiguiéndose finalmente (OF) el ajuste de las dosis de pienso y el cálculo de los lotes de cultivo.

Sin embargo, con el procedimiento objeto de la presente invención, las etapas son las siguientes:

- 30 ETAPA A: capturar una secuencia de vídeo-sonar de al menos un transecto de la balsa de cultivo con un sonar de imagen instalado en un vehículo submarino (ROV).

ETAPA B: remuestreo de las imágenes de vídeo-sonar en imágenes capturadas estáticas.

ETAPA C: segmentación y clusterización de las imágenes sonar.

- 35 ETAPA D: estimación del número de peces en la balsa.

ETAPA E: estimación de la biomasa por clase o intervalo de talla y biomasa total.

Consiguiéndose finalmente (OF) el ajuste de las dosis de pienso y el cálculo de los lotes de cultivo.

Figura 2.- Muestra una vista en alzado lateral del vehículo submarino operado remotamente (ROV) con el que se obtienen los datos iniciales necesarios para el desarrollo del procedimiento objeto de la presente invención.

Figura 3.- Muestra una vista en alzado frontal del vehículo submarino operado remotamente (ROV)

Figura 4.- Muestra una vista cenital de una balsa de cultivo donde un ROV, conectado mediante un cable de transmisión de datos a una computadora externa realiza un transecto y toma datos para el desarrollo del procedimiento.

Figura 5.- Muestra una vista lateral de la balsa, acorde con lo mostrado en la figura anterior.

Figura 6.- Muestra un detalle ampliado de la figura anterior.

Figura 7.- Muestra un ejemplo **(A)** de procesamiento de una imagen de sonar mediante una red neuronal convolucional (CNN) compuesta de un codificador y un decodificador a partir de la cual se obtiene una imagen binaria de salida; y muestra un ejemplo **(B)** de procesamiento de una imagen de sonar de entrada mediante una red neuronal convolucional y posterior clusterización para obtener una imagen binaria en escala de grises, donde en esta imagen binaria se detalla como calcular la altura en píxeles de un pez i.

Figura 8.- Muestra la recta de regresión obtenida experimentalmente que, a modo de ejemplo, muestra la relación lineal entre la altura del pez a la altura de la pelvis (H; cm) y la longitud furcal (LF; cm) de doradas criadas en balsas de esteros mejorados; asimismo se muestra la relación entre la altura en píxeles en la imagen sonar y la altura real del pez.

Figura 9.- Muestra en la imagen **(A)** la recta de regresión obtenida experimentalmente que, a modo de ejemplo, permite ver la relación entre la longitud furcal del pez (LF; cm) y el peso fresco (PF; g) de doradas criadas en balsas de esteros mejorados; y, además, en

la imagen **(B)** se muestra el gráfico de frecuencias por intervalos de tallas de 1 cm de los peces identificados en las imágenes sonar capturadas (barras grises) y del número de peces ajustado a la densidad estimada en la etapa “E” de estimación del número de peces en la balsa del procedimiento (barras negras); y, además, muestra como calcular la biomasa asociada a cada intervalo de talla y la biomasa total contenida en la balsa.

Descripción detallada de un modo de realización del invento

El procedimiento para la estimación automática y en tiempo real de la biomasa de peces contenida en una balsa en tierra mediante el análisis de las imágenes obtenidas a partir de un sonar multihaz instalado en un vehículo submarino de pequeño tamaño comprende las etapas (Fig.1):

- A. Capturar una secuencia de vídeo-sonar a lo largo de al menos un transecto en una balsa de cultivo de peces con un sonar de imagen instalado en un vehículo submarino operado remotamente (ROV) de pequeño tamaño
- B. Remuestrear y obtener imágenes estáticas del vídeo-sonar.
- C. Segmentar y clusterizar las imágenes estáticas remuestreadas.
- D. Estimar el número de peces en la balsa a partir de los datos extraídos de las imágenes remuestreadas.
- E. Estimar la biomasa por clase o intervalo de talla y la biomasa total contenida en la balsa de cría.

Entrando en un mayor grado de detalle en cada etapa:

ETAPA ‘A’: Capturar una secuencia de vídeo-sonar de un transecto de la balsa de cultivo con un sonar de imagen instalado en un vehículo submarino operado remotamente (ROV) de pequeño tamaño

Previo al registro del vídeo-sonar se instala en posición vertical un sonar de imagen de última generación en la parte inferior de un ROV de pequeño tamaño (véase Fig.2-5), y se define el equipo necesario para el desarrollo de dicho procedimiento, donde el equipo comprende el citado ROV.

El ROV requerido para el desarrollo de la presente invención tiene la particularidad de disponer de una configuración que le permite poder operar en esteros, frente a otros

vehículos submarinos conocidos que son operados en aguas con buena visibilidad. Para poder operar en esteros, este ROV es una estructura compacta que comprende dos elementos particulares:

- un cuerpo (1) flotante que es una estructura abierta que comprende
 - 5 o un tubo estanco superior (2) dispuesto longitudinalmente que alberga y protege un módulo de control electrónico (3);
 - o al menos un flotador (4) dispuesto en cada costado del tubo estanco superior (2) y fijado a las caras laterales del cuerpo (1);
 - o al menos un tubo estanco inferior (5), dispuesto debajo del tubo estanco superior (2), donde el tubo estanco inferior comprende una fuente de alimentación eléctrica (6), como puede ser una batería;
 - 10 o al menos un motor (7) dispuesto en cada costado del tubo estanco inferior (5) y fijado a las caras laterales del cuerpo (1); y
- un sonar de imagen (8) dispuesto en posición vertical en una extensión inferior (9)
 - 15 que sobresale del cuerpo (1) del ROV por su parte inferior, donde el sonar (8) es fijado a la extensión inferior mediante una pletina (10).

Esta configuración de ROV permite solventar dos aspectos esenciales para la toma de datos y el desarrollo del procedimiento, por un lado, el cuerpo flotante permite que el ROV se pueda desplazar por toda la superficie de la lámina de agua (LA), independientemente de la profundidad y condiciones de la misma; y, por otro lado, el poder disponer del sonar sumergido y ajeno al cuerpo flotante del ROV, este se puede configurar y tomar muestras de una forma más nítida que si estuviera integrado, como es lo normal, dentro del mismo cuerpo del ROV.

El equipo requerido para ejecutar el procedimiento comprende, además de un ROV como el descrito previamente, una computadora (11) externa donde se ejecuta el programa informático con el que se obtiene el resultado final objeto de la presente invención, y un cable de transmisión (12) que conecta el ROV con la computadora (11).

En una posible realización particular del ROV, el sonar (8) es un sonar de imagen multihaz de última generación modelo *Oculus Blueprint M750D*; donde el sonar se ancla verticalmente por medio de una pletina en forma de L (10) atornillada a la extensión inferior (9) y con una inclinación (α) de entre 10° y 35° del eje longitudinal respecto a la horizontal y dirigido hacia el fondo de la balsa, frecuencia de escaneo de entre 1 y 1.5 MHz, alcance máximo de 5 m y configurado para propagación del sonido en ambiente de

agua salada.

La inclinación (α) óptima del sonar respecto al eje horizontal es de 22.5°. Esto es debido a que el avance operacional del ROV produce un cabeceo (β) máximo de 10° hacia adelante, lo que sitúa el haz inferior del sonar casi en la perpendicular respecto al fondo; y se establece un alcance (a) óptimo del haz en 4.5 m ya que esto permite establecer una escala lineal entre el número de píxeles y el tamaño real de un objeto sumergido. Esto es consecuencia de la profundidad media (h) de las balsas de cultivo (1.5 m - 2 m) (Fig.6).

Configurados ROV y sonar se registra un vídeo-sonar a lo largo de un cuádruple transecto (véase concretamente Fig.4-5) de una distancia (d) equivalente a 2/3 del eje longitudinal de la balsa de cría. Se selecciona este método ya que el número de peces que se pueden registrar por unidad de tiempo es mucho mayor que con una técnica de estación de censo y porque es menos susceptible a los sesgos causados por los movimientos de los peces. Un cuádruple transecto de 2/3 de la longitud de la balsa equivale a un volumen de muestreo (VM) de:

$$VM = \frac{2\pi \cdot R_d}{360} \cdot \alpha \cdot h \cdot \frac{8}{3} LB$$

donde R_d es la longitud de alcance del haz del sonar, α es el ángulo de apertura en el eje horizontal, h es la profundidad promedio de la balsa y LB es la longitud de la balsa. Para una balsa estándar de 7500 m³, con una densidad media de cría de 0.49 kg/m³, un cuádruple transecto de 2/3 de la longitud máxima de la balsa supone un volumen de barrido que es de aproximadamente un 10% del volumen total de la balsa. Esto garantiza el registro de una muestra equivalente a 367 kg de peces, lo cual es un 8% superior al tamaño de una muestra necesaria para estimar correctamente el tamaño de la población con un nivel de confianza estadística del 95%.

Los parámetros preferentes de operación de desplazamiento del ROV son:

- desplazamiento en superficie en flotabilidad positiva. Esto hace que el sonar quede totalmente sumergido a una profundidad constante de 35 cm, lo que reduce considerablemente el número de interferencias sonoras detectadas consecuencia de la baja profundidad (h) de la columna de agua en la balsa. Este desplazamiento en superficie facilita al operador la maniobra del ROV a lo largo de las líneas de transecto, y permite, frente a otros ROV submarinos conocidos, el poder operar en un estero;

- velocidad máxima de desplazamiento de 0.1 nudos (0.51 m/s). Esta velocidad en superficie provoca un cabeceo máximo de 10°, como consecuencia del diseño hidrodinámico del ROV, lo que inclina el eje principal de emisión del sonar hasta los 32.5°. Una inclinación del sonar de 32.5° supone un barrido completo de la columna de agua 60.6 cm por delante del ROV desde la superficie hasta el fondo de la balsa. Esto garantiza el registro en vídeo-sonar de todos los peces que se desplacen por delante del ROV a una distancia máxima de 4.5 m.
- alcance máximo del haz del sonar fijado a 4.5 m. A esta distancia y teniendo en cuenta la profundidad de las balsas de cría se obtiene una sombra acústica pequeña, una relación lineal entre el número de píxeles y el tamaño real [Tamaño real (cm) = 2/3 número de píxeles] así como una imagen lo suficientemente definida como para tallar con precisión cada pez.
- apertura vertical (μ) del sonar establecida en 130°. Esta apertura del haz garantiza el registro de todos los peces que se desplacen por delante del ROV desde la vertical de la posición del sonar hasta 41.7 cm si el ROV está en una situación estática o hasta 60.6 cm si el ROV se está desplazando a una velocidad máxima de 0.1 nudos.

ETAPA 'B'. Obtención de imágenes estáticas a partir de las imágenes de vídeo-sonar registradas

En el caso de densidades de cría superiores a 0.49 kg/m³ la captura de imágenes estáticas a partir de los vídeo-sonar registrados es de una imagen cada 8 segundos. Este periodo de tiempo se corresponde con la detección promedio de un individuo dentro del haz de emisión del sonar nadando a una velocidad equivalente al 50% de la velocidad crítica de natación ($V_{crítica} = 0.80$ cm/s) de una dorada (*Sparus aurata*) de 20 cm de longitud total.

ETAPA 'C'. Análisis de las imágenes sonar mediante técnicas de segmentación y clasificación

Como puede verse en la Fig.7, cada una de las imágenes estáticas capturadas (7.1) en la **ETAPA 'B'** es segmentada mediante su introducción en un programa informático del tipo Red Neuronal Convolucional (CNN) o autocodificador con arquitectura U-NET implementado en la computadora (11) definida anteriormente, y que, además, integra el programa informático de control del ROV.

Un autocodificador es un tipo específico de red neuronal capacitado para aprender representaciones densas de los datos de entrada llamadas representaciones latentes. Luego esta representación latente es decodificada de nuevo de manera que la entrada reconstruida sea lo más parecida posible a la salida deseada. La arquitectura U-NET está configurada específicamente por un codificador (7.2) que comprime los datos de entrada con el objetivo de obtener las características de los datos contenidos en las imágenes sonar. La salida proporcionada por el codificador es lo que se denomina capa oculta del autocodificador o código (y). De esta forma, para una entrada x:

$$y = f(x) = f(Wx + S)$$

donde W es una matriz de pesos y S es el sesgo asociado.

El codificador (7.2) va seguido de un decodificador (7.3) que reconstruye la imagen sonar de entrada a partir de las características aprendidas en el codificador. Para ello, la entrada al decodificador será la salida del codificador (y), de tal forma que:

$$REC = g[f(x)] = g[W'y + S']$$

donde REC es la imagen reconstruida, W' es una matriz de pesos y S' el sesgo asociado.

Una configuración óptima para el análisis de las imágenes generadas por el sonar de imagen es:

- Un codificador (7.2) conformado por una doble convolución 3x3 con un valor de paso de desplazamiento del filtro de 1 ($Paso_{Filtro}=1$). Por tanto, el tamaño de la imagen (número de píxeles) de salida será:

$$Imagen_{Salida} = \frac{Imagen_{Entrada} - Filtro}{Paso_{Filtro}} + 1$$

- Cada convolución es seguida de una unidad lineal rectificada (ReLU) que es una función de activación o rectificador conocida como función *softplus*:

$$f(x) = \ln(1 + e^x)$$

- Tras cada convolución se inserta una operación de agrupación 2x2 para lo cual se utiliza una función del tipo *Max Pooling*.
- Un decodificador (7.3) conformado por una deconvolución 3x3 del mapa de características, una concatenación con el correspondiente mapa de características del codificador y dos convoluciones 3x3 seguidas de una ReLU. Se utiliza una convolución 1x1 para asignar el vector de características al mapa de segmentación deseado y hacer posible la comparación de la imagen original con

la reconstruida por la red neuronal.

Con la CNN se obtiene una imagen binaria (7.4), en la que a los píxeles correspondientes a lo que a priori son peces se les asigna el valor 1 y a los correspondientes al fondo se le asigna el valor 0. Las imágenes binarias se convierten en una imagen en escala de grises (7.5) utilizando la transformación de distancia euclidiana. Así, cada píxel correspondiente a un pez se sustituye por la distancia euclidiana al píxel más cercano correspondiente al fondo, lo que permite clusterizar o etiquetar cada elemento de la imagen. Para separar los diferentes peces detectados en las imágenes sonar se aplica el algoritmo de detección de fronteras *watershed*. El algoritmo *watershed* asigna a cada uno de los mínimos locales detectados en la imagen etiquetas diferentes. A partir de dichos mínimos locales el algoritmo analiza los píxeles conectados en las imágenes binarias entre el paso p y el paso $p+1$ lo que permite la identificación del número específico de peces en cada imagen. Sobre cada pez detectado y etiquetado en cada imagen se contabiliza el número máximo de píxeles en el eje vertical (y_i) (7.6). Para una distancia de alcance del haz del sonar de 4.5 m existe una relación lineal entre el número de píxeles en el eje vertical y_i y la altura real, por ejemplo, de una dorada (*Sparus aurata*) a la altura de las aletas pélvicas H de:

$$H = \frac{2}{3}y_i$$

La imagen (A) (Fig.7) muestra una representación simplificada de la estructura de una red neuronal convolucional (CNN) y la imagen (B) (Fig.7) muestra el resultado de la detección automática sobre una imagen digital de sonar. Esta imagen final se puede utilizar en los siguientes pasos, habiéndose solventado el problema existente en el estado de la técnica de la turbidez y/o escasa visibilidad presente en el agua de los esteros.

25 **ETAPA 'D'.** Estimación del número de peces en la balsa

Se aplica un modelo numérico para estimar el número de peces en la balsa a partir de la densidad calculada. La densidad promedio (DP; peces/m³) se estima a partir de las imágenes capturadas del vídeo-sonar como:

$$DP = \left(\sum_{i=1}^j (114.59 \cdot n_{c,i}) \cdot (R_d^2 \cdot \alpha \cdot h)^{-1} \right) / j$$

30 donde $n_{c,i}$ es el número de peces detectados en la imagen i ($1 \leq i \leq C$); R_d es el radio de detección del transductor ($R_d=4.5$ m); α es el ángulo que determina la apertura del haz

del transductor del sonar en el plano horizontal (siendo en este caso $\alpha=20^\circ$); $h(m)$ es la profundidad media de la lámina de agua de la balsa de cultivo; y j es el número de imágenes C capturadas a partir del vídeo-sonar cada 8 segundos. A partir de la densidad estimada, el número N de peces totales contenidos en la balsa se estima como

5 $N=DP \cdot VT$, donde:

$$VT = h/3 (S_F + S_{LA} + \sqrt{S_F \cdot S_{LA}})$$

siendo $VT(m^3)$ el volumen de agua almacenado en la balsa; $S_F(m^2)$ la superficie del fondo de la balsa; y $S_{LA}(m^2)$ la superficie de la lámina de agua.

10 **ETAPA 'E'.** Estimación de la biomasa por clase o intervalo de talla y biomasa total para un cultivo, por ejemplo, de doradas (*Sparus aurata*) en esteros mejorados

Se aplica un modelo numérico para estimar la longitud furcal LF de las doradas a partir de la altura real a nivel de las aletas pélvicas del pez detectado en cada imagen capturada del vídeo-sonar, obteniéndose una relación del tipo $y=a+bx$, siendo a y b los coeficientes de la ecuación. A modo de ejemplo no limitativo de la invención (véase Fig.8), se muestra el gráfico de regresión que permite estimar la longitud furcal, por ejemplo, de una dorada, a partir de la altura en píxeles registrada en la imagen sonar con $LF(cm)=1.96+2.53 \cdot (2/3 \text{ altura en píxeles})$, $R=0.97$, $r^2=0.94$, donde R es la correlación lineal de Pearson y r^2 es la proporción de varianza explicada. Esta ecuación de regresión fue obtenida a partir de una muestra compuesta por 57 doradas capturadas en una balsa de cría con una densidad de cultivo de 0.49 kg/m^3 .

25 Se definen k intervalos de longitud furcal LF de 1 cm. Cada pez identificado en las imágenes capturadas del vídeo-sonar y para el que se ha estimado la LF es contabilizado en su intervalo de talla correspondiente (véase Fig.9 – (9.1)). Para cada intervalo q de talla se calcula su proporción p_q respecto al total de peces i detectados en todas las imágenes capturadas j del vídeo-sonar:

30
$$p_q = \frac{\text{Peces en el intervalo } q \text{ de talla}}{\sum_{C=1}^j n_{C,i}}$$

De esta forma se calcula el número de peces ajustado a la densidad específica de la balsa como $p_q \cdot N$ (véase Fig.9 – (9.2)) donde N es el número total de peces estimados en la **ETAPA 'D'**. A modo de ejemplo no limitativo de la invención, en la imagen A (Fig.9) se

muestra el gráfico de regresión que permite estimar el peso fresco de un pez a partir de la longitud furcal con $PF(g)=0.0089 \cdot LF^{3.25}$, $R=0.99$, $r^2=0.98$, donde R es la correlación lineal de Pearson y r^2 es la proporción de varianza explicada. Esta ecuación de regresión fue obtenida a partir de una muestra compuesta por 57 doradas capturadas en una balsa de cría con una densidad de cultivo de 0.49 kg/m^3 .

Posteriormente se extrapola la biomasa B_q de un intervalo q de talla con la siguiente expresión (véase Fig.9- (9.3)):

$$B_q = p_q \cdot N \cdot 0.0089 \cdot LF_q^{3.25}$$

Por tanto, la biomasa total (B_t) contenida en la balsa se calcula como el sumatorio de todas las biomasa correspondientes a cada intervalo q de talla: $B_t = \sum B_q$ (véase Fig.9- (9.4)), de modo que se obtiene la estimación de la biomasa, en este caso de doradas, en un estero de forma automática, no destructiva y no invasiva, frente a los métodos tradicionales donde el proceso es manual, destructivo e invasivo (véase de nuevo Fig.1).

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de estimación automática de la biomasa de peces criados en esteros, que comprende las etapas:

- 5 A. capturar una secuencia de vídeo-sonar a lo largo de al menos un transecto en una balsa de cultivo de peces con un sonar de imagen (8) instalado en un vehículo submarino operado remotamente (ROV);
- B. remuestrear y obtener imágenes estáticas del vídeo-sonar.
- C. segmentar y clusterizar las imágenes estáticas remuestreadas.
- 10 D. estimar el número de peces en la balsa a partir de los datos extraídos de las imágenes remuestreadas; y

 donde la densidad (peces/m³) se estima a partir del promedio de densidades detectadas en las imágenes capturadas y que es dependiente del radio de detección del transductor del sonar, del grado de apertura (α) del haz del transductor del sonar en el plano horizontal, de la profundidad (h) promedio de la balsa de cría y del número de clusters diferenciados en cada imagen (7.5).

15 donde la densidad promedio (DP; peces/m³) se estima a partir de las imágenes capturadas del vídeo-sonar como:

$$DP = \left(\sum_{C=1}^j (114.59 \cdot n_{C,i}) \cdot (R_d^2 \cdot \alpha \cdot h)^{-1} \right) / j$$

20 donde $n_{C,i}$ es el número de peces detectados en la imagen i ($1 \leq i \leq C$); R_d es el radio de detección del transductor; α es el ángulo que determina la apertura del haz del transductor del sonar en el plano horizontal; $h(m)$ es la profundidad media de la lámina de agua de la balsa de cultivo; y j es el número de imágenes C capturadas a partir del vídeo-sonar cada 8 segundos;

25 donde a partir de la densidad estimada, el número N de peces totales contenidos en la balsa se estima como $N=DP \cdot VT$, donde:

$$VT = h/3 (S_F + S_{LA} + \sqrt{S_F \cdot S_{LA}})$$

siendo $VT(m^3)$ el volumen de agua almacenado en la balsa; $S_F(m^2)$ la superficie del fondo de la balsa; y $S_{LA}(m^2)$ la superficie de la lámina de agua;

30 y donde la longitud furcal real de un pez (y) es estimada a partir de número de píxeles en el eje vertical de cada cluster (x) (7.6) a través de una relación lineal del tipo $y=a+bx$, donde a y b son parámetros particularizados para cada tipo de pez en un estero.

E. estimar la biomasa por clase o intervalo de talla y la biomasa total contenida en la balsa de cría; donde la biomasa (B_q) de un número de peces cuyo tamaño está contenido en un rango de talla es estimado a partir de la longitud furcal (LF_q) promedio del rango de talla (q), la proporción en tanto por uno del número de peces (p_q) (9.2) en el rango considerado respecto al total de peces detectados en todas la imágenes capturadas y el número total de peces (N) contenidos en la balsa estimado a partir de la densidad, mediante una relación del tipo $B_q = p_q \cdot N \cdot a \cdot LF_q^b$ (9.3), donde a y b son parámetros particularizados para cada tipo de pez en un estero.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, donde la captura de la secuencia de vídeo-sonar se realiza con un sonar de imagen instalado en posición vertical con una inclinación (α) de entre 10° y 35° del eje longitudinal respecto a la horizontal y dirigido hacia el fondo de la balsa, frecuencia de escaneo de entre 1 y 1.5 MHz y alcance máximo de 5 m.

3.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde hay un cuádruple transecto del ROV en la balsa de cría de peces, donde cada transecto es equivalente a $2/3$ del eje longitudinal de la balsa, siendo la velocidad máxima de desplazamiento en superficie del ROV de 0.1 nudos.

4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el remuestreo de imágenes estáticas a partir del vídeo-sonar se lleva a cabo cada 8 segundos.

5.- Procedimiento según la reivindicación 1, donde la segmentación de las imágenes estáticas se realiza con una red neuronal convolucional tipo U-NET configurada con un codificador (7.2) conformado por dos convoluciones 3×3 , cada una de ellas seguida de una unidad lineal rectificadora (ReLU) y una agrupación de 2×2 y un decodificador (7.3) conformado por una deconvolución 3×3 concatenadas con dos convoluciones 3×3 seguidas de una ReLU y una convolución 1×1 , obteniéndose una imagen binaria (7.4).

6.- Procedimiento según la reivindicación anterior, donde las imágenes binarias se convierten en una imagen en escala de grises (7.5) utilizando una transformación de distancia euclidiana, donde cada píxel correspondiente a un pez se sustituye por la distancia euclidiana al píxel más cercano correspondiente al fondo.

7.- Procedimiento según la reivindicación anterior, donde para separar los diferentes peces detectados en las imágenes sonar se aplica el algoritmo de detección de fronteras *watershed*.

5 8.- Procedimiento según la reivindicación anterior, donde el número de peces detectado en cada imagen es equivalente al número de clusters o agrupaciones de píxeles reconocibles tras el procesamiento de cada imagen con la red neuronal convolucional.

10 9.- Procedimiento según la reivindicación anterior, donde $\frac{2}{3}$ del número de píxeles en el eje vertical de cada cluster detectado en cada imagen equivale a la altura real a nivel de aletas pélvicas del pez.

15 10.- Procedimiento, según la reivindicación 1, donde para el caso de doradas criadas en esteros mejorados $a=1.96$ y $b=1.69$.

11.- Procedimiento, según la reivindicación 1, donde para el caso de doradas criadas en esteros mejorados $a=0.0089$ y $b=3.25$.

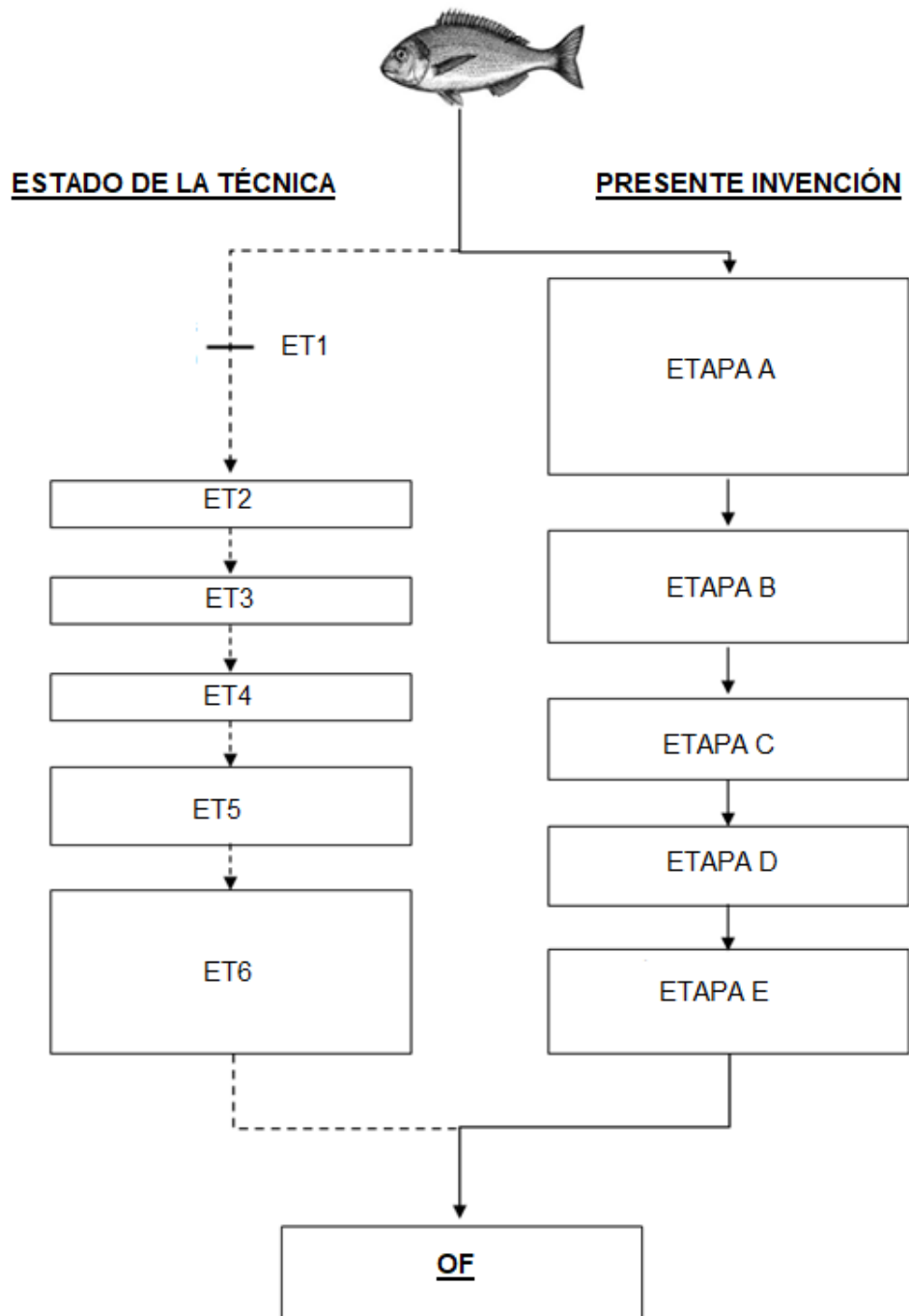


FIG.1

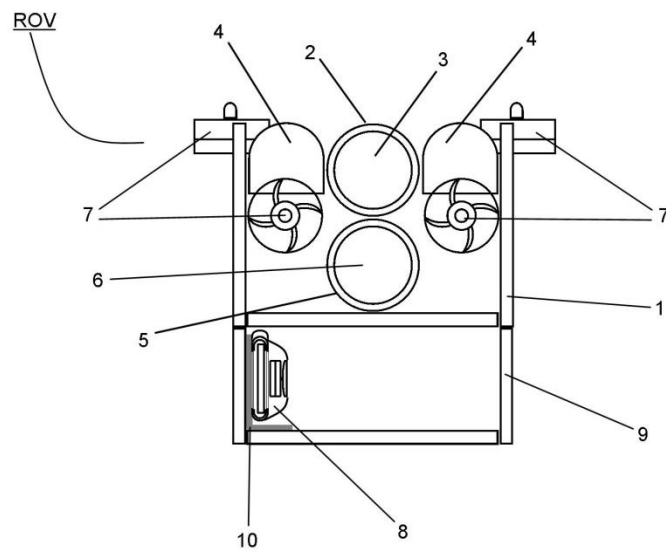
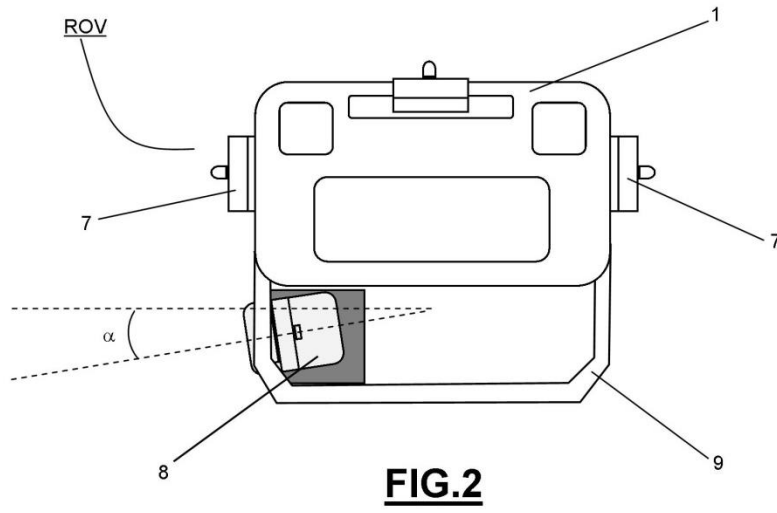


FIG.3

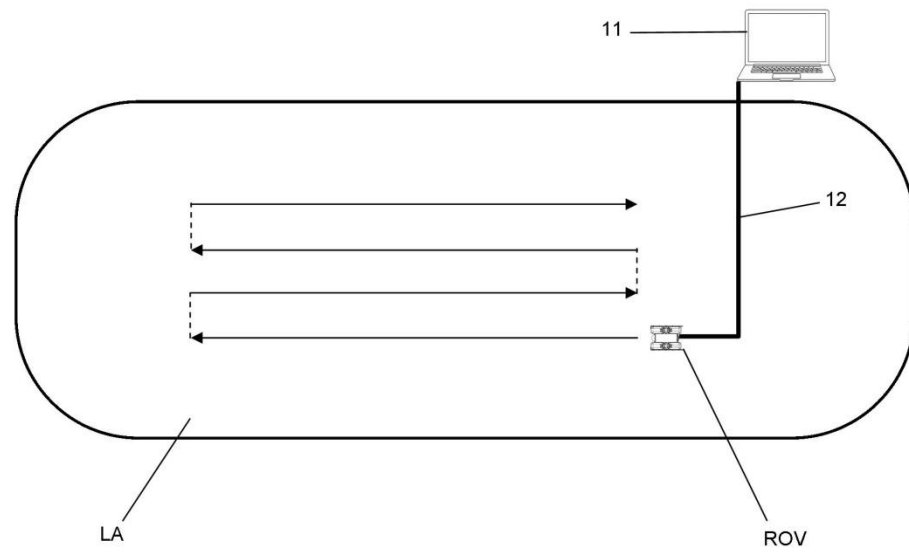


FIG.4

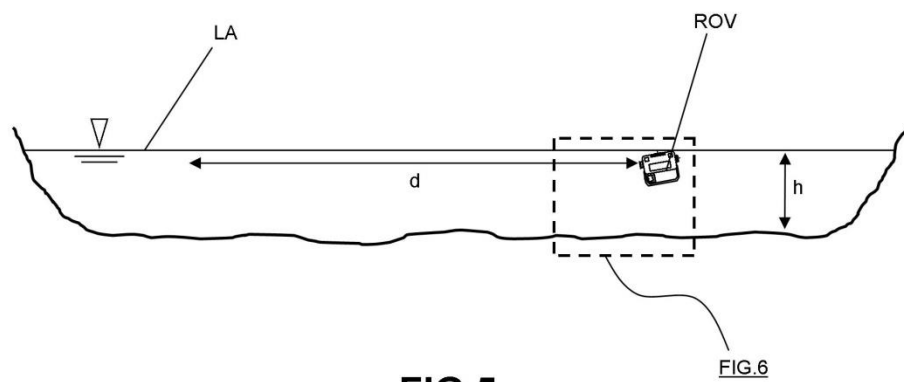


FIG.5

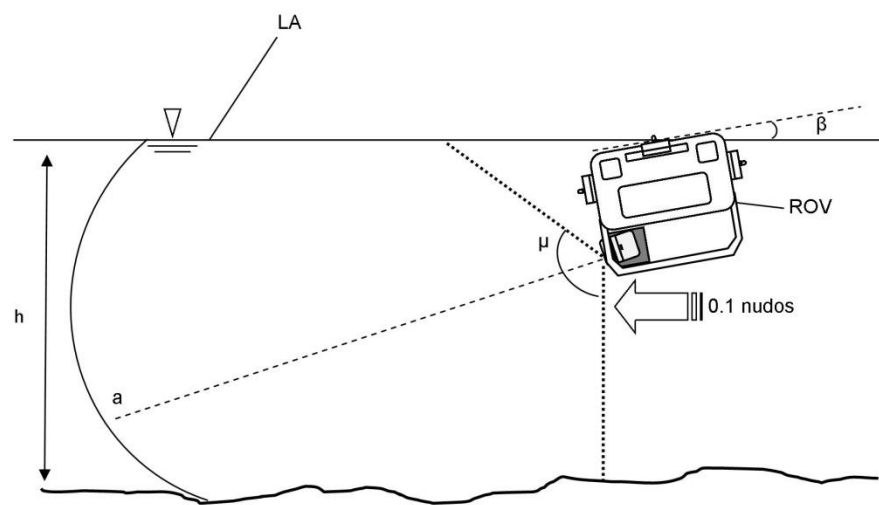


FIG.6

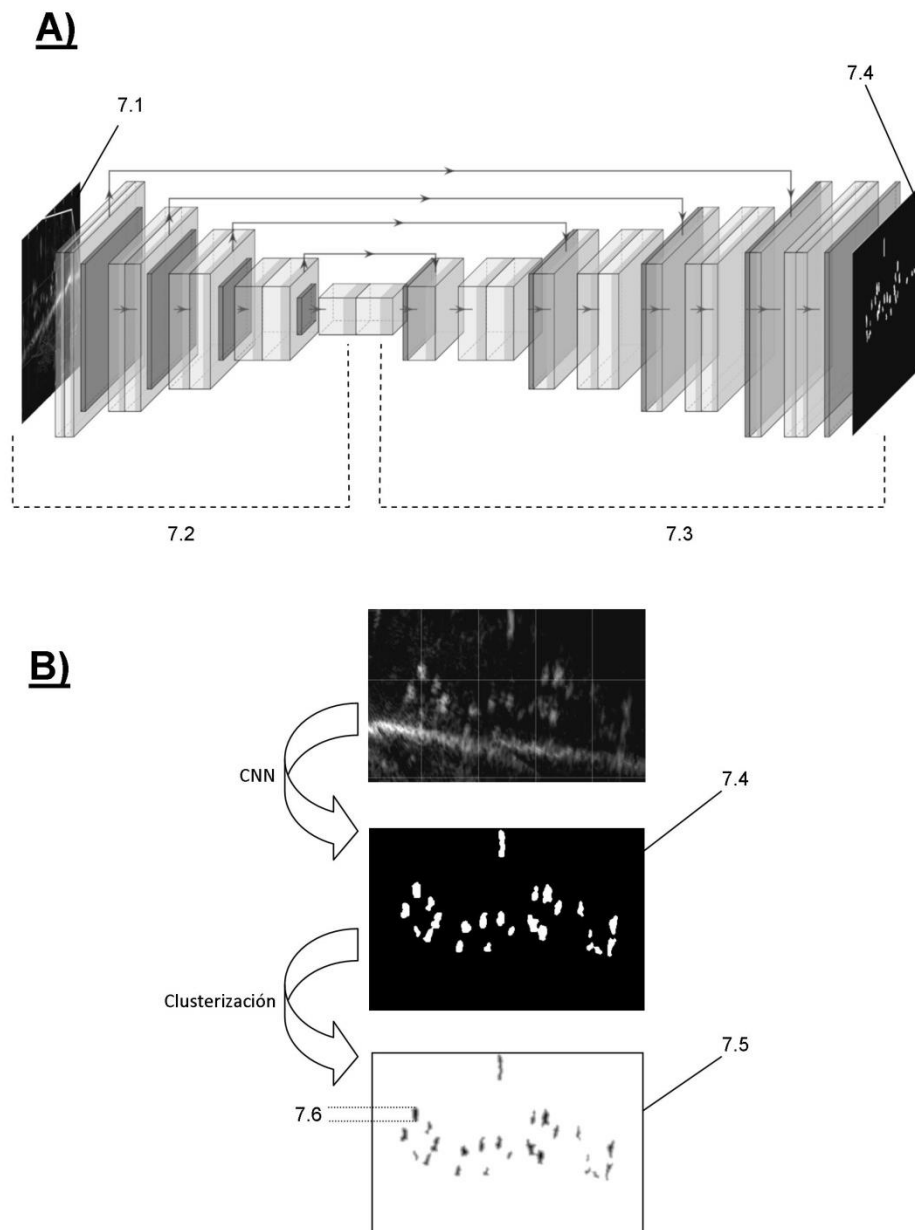


FIG.7

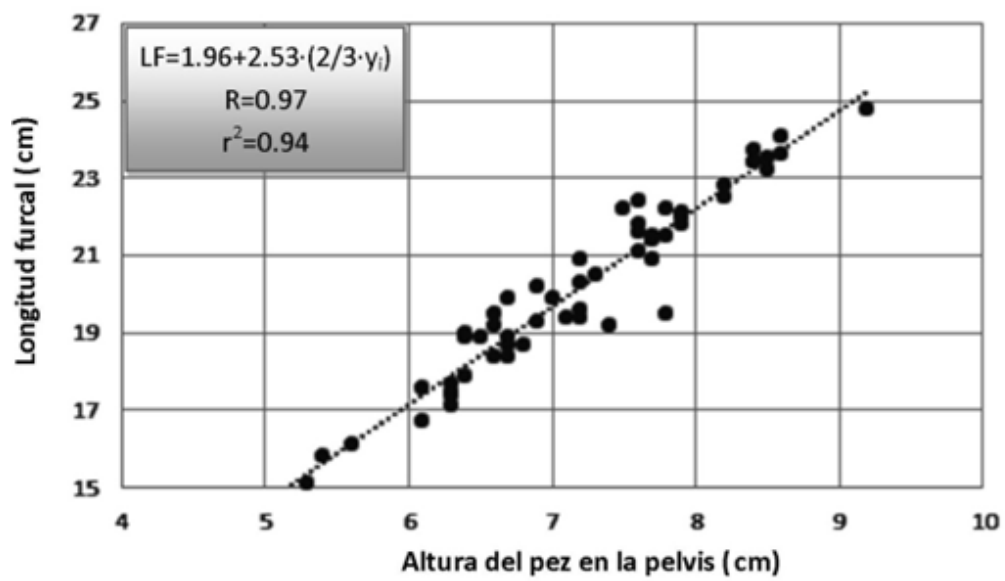
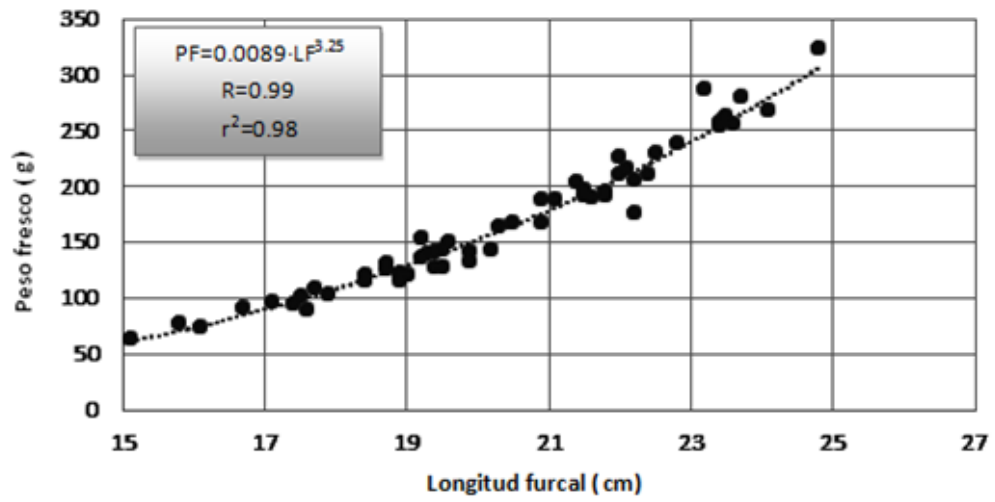


FIG.8

A)



B)

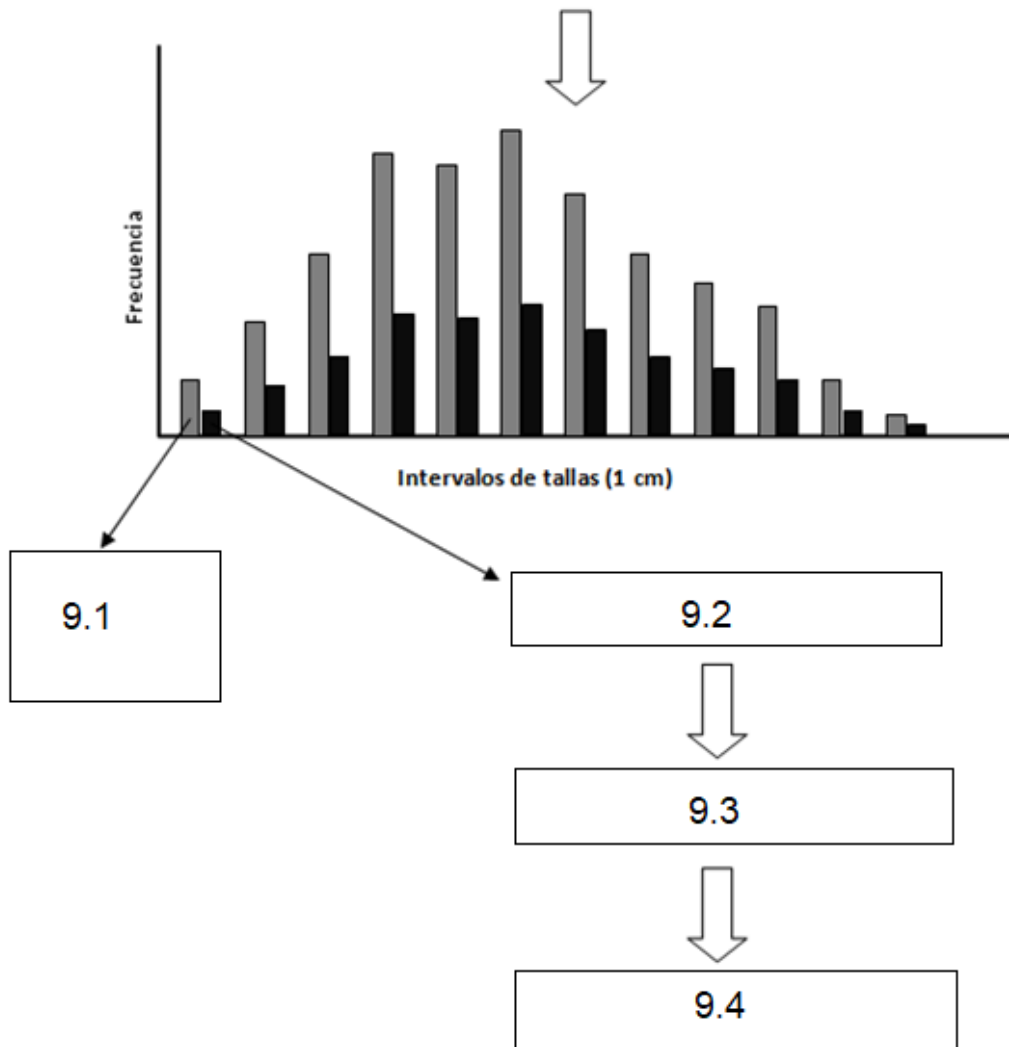


FIG.9