

textOsFtextTOsFliningLFliningTLFtextosflininglftabulartabproportionalprosuperiorSup
superiorSup
fontspechyperref

TITLE

Author1

University

1. FOTO-IDENTIFICACIÓN DE LA BALLENA AZUL EN EL MAR DE CORTÉS

Dra. Carvajal-Gómez Blanca Esther,
Muñoz-Pérez Cesar Alejandro,
Reyes-Morales Ari Antonio,
Rivera-Fernández Josué Daniel,
Gallegos-Funes Francisco Javier,
Gendron Diane
Hernández Pérez Alberto
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas,
Instituto Politécnico Nacional

Resumen

Los mamíferos son un componente importante en los ecosistemas terrestre y marítimo, principalmente para los ecosistemas marítimos los cetáceos son de suma importancia, pero el conocimiento que se tiene acerca de estos es limitado. La identificación de estos individuos se puede realizar mediante la observación de sus patrones de pigmentación y forma de la aleta caudal estas se realizan mediante la foto-identificación, estos patrones se pueden ser observados a lo largo de toda la porción del lomo de la ballena. Palabras clave. Patrones de imágenes, foto-identificación, ballenas

Introducción

Los mamíferos son un componente importante en los ecosistemas terrestre y marítimo, principalmente para los ecosistemas marítimos los cetáceos son de suma importancia, pero el conocimiento que se tiene acerca de estos es limitado [1-3].

Los océanos cubren el 70 % de la superficie de la Tierra, o dicho de otra manera, una superficie que suma el doble de la superficie de Marte o de la Luna. Un porcentaje superior al 50 % de la superficie de la Tierra se encuentra por debajo de los 3,000 m de profundidad, con una media de 3,800 m. Las profundidades marinas son, por lo tanto, el mayor ecosistema del planeta y uno de los menos estudiados. Comprenden gran variedad de hábitats, desde el margen inferior de la plataforma continental hasta las zonas más profundas de las fosas marinas, cada uno tiene sus características físicas y geoquímicas definidas que sustentan una de las mayores biodiversidades del planeta [1-3].

Se distingue seis distintos tipos de datos que pueden ser utilizados en diversas combinaciones para entender su comportamiento de alimentación y ecología: (1) distribución y abundancia de los predadores a gran y pequeña escala; (2) los movimientos verticales y horizontales de los individuos a gran y pequeña escala; (3) la región oceanográfica física, el muestreo concurrente y/o a bordo para la recolección de datos; (4) medidas de disponibilidad de caza (abundancia y distribución), basado en series de datos, muestreo hidroacústico; (5) dieta del predador y (6) medidas de éxito de alimentación como el crecimiento, la supervivencia y la reproducción [1-3].

La identificación individual de las ballenas azules está basada en los patrones únicos de pigmentación y de la forma de su aleta dorsal. La identificación de estos individuos se puede realizar mediante la observación de sus patrones de pigmentación y forma de la aleta dorsal estas se realizan mediante la foto-identificación, estos patrones se pueden ser observados a lo largo de toda la porción del lomo de la ballena [referencia]. La técnica de la foto-identificación, aplicado a la ballena azul, ha mostrado ser

útil para investigar los patrones de movimiento, y la estimación de la abundancia de la población y las tasas de supervivencia a través de modelos de marca-recaptura.

Las ballenas azules son considerados en peligro de extinción en la Lista Roja de la UINC de especies amenazadas y tres subespecies son reconocidas en todo el mundo a pesar de la taxonomía de las ballenas azules del noroeste del Pacífico se encuentran de manera ambigua. La estimación de abundancia basadas en el método de captura-recaptura para el noroeste del Pacífico son alrededor de 2,000 ballenas azules. Los datos de recaptura fotográfica muestran algunas de estas ballenas que se están moviendo hacia el Golfo de California. La técnica estándar de foto-identificación consiste en ir tomando fotografías en ángulo perpendicular hacia a lo largo de la porción de los flancos derechos e izquierdos de el animal incluyendo la aleta dorsal y realizando su comparación entre ellos con las fotografías individuales estos tienen que ser clasificados dentro de varios patrones de pigmentación.

Las fotos son usualmente tomadas durante la última respiración cuando la ballena se prepara para ir a lo profundo del océano. Dependiendo del comportamiento de las ballenas y de las condiciones marítimas, cuando se hacen algunos intentos de fotografía, no siempre es posible obtener una foto de manera correcta. Según la clasificación de Sears [2], estas fotografías muestran pequeñas porciones de la banda de la ballena lo cual son zonas problemáticas para su identificación y clasificación. Dado que no existe un programa para la ayuda de la comparación e identificación de las ballenas, esta se lleva a cabo de manera manual, lo cual puede resultar ser muy laborioso cuando el número de individuos es muy grande. Este proyecto de investigación en cooperación con el CICIMAR propone un método de comparación e identificación para la foto-identificación de las ballenas azules en el mar de Cortes.

2. Identificación de la ballena azul

Las fotografías se tomaron con una cámara de 35 mm réflex EOS Canon con unos lentes de teleobjetivo de 70-300, con una película en blanco y negro. Desde el año 2005, las fotografías empezaron a tomarse a color digital (imágenes RGB), estas pertenecen a una base de datos de imágenes de 621 ballenas contenidas en el catálogo de Baja California, las cuales fueron proporcionadas por la Dr. Diane Gendron y sus colaboradores. Distintos tipos de patrones de pigmentación han sido observados en las ballenas, estas pigmentaciones no cambian en el transcurso del tiempo, las cuales pueden considerarse como las huellas digitales de las ballenas azules. De este catálogo proporcionado el 57.2 % de las poses para las fotografías fueron tomadas en ambos lados de la ballena, mientras que el 23.8 % pertenecen al lado derecho de este y el 19.0 % pertenecen al lado izquierdo de la ballena[3].

Las variaciones de las tomas de las fotografías, los relieves de la pigmentación de la ballena, los diferentes tipos de aleta dorsal, el medio ambiente, genera que exista un procesamiento de depurado de las imágenes.

Existen diferentes tipos de pigmentación de las ballenas, las cuales se presentan a continuación, ver Figura 1.

[]@|@

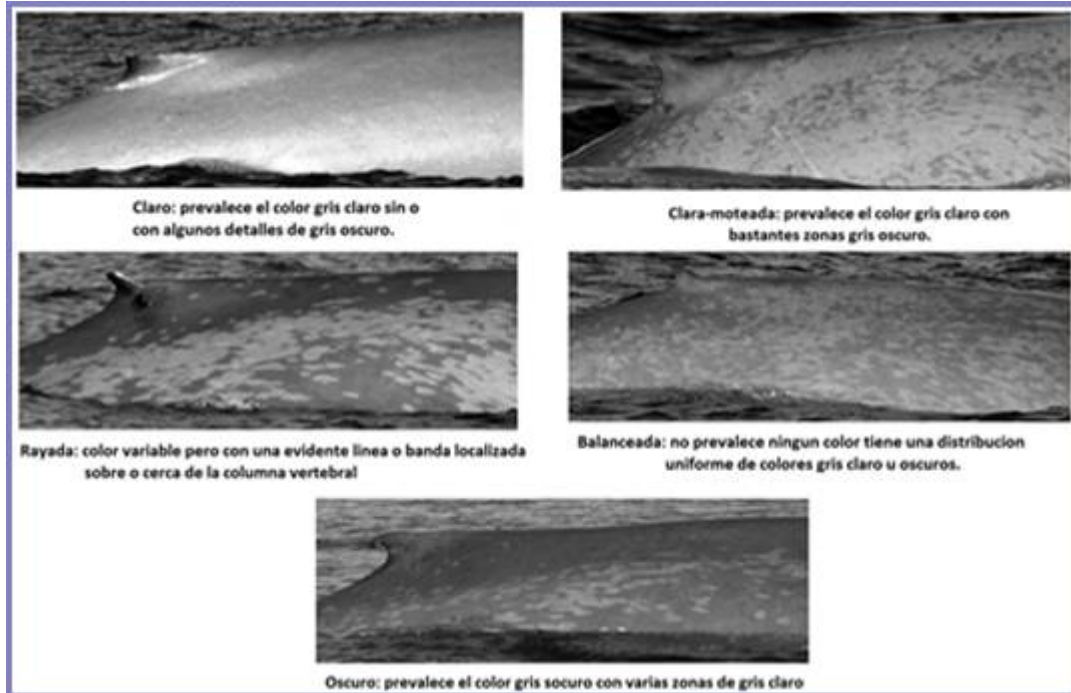


Figura 1. Diferentes tipos de pigmentación de la ballena azul

Dentro de la foto-identificación de las ballenas azules, existe un factor que es de gran importancia y utilidad para poder realizar la identificación de la ballena azul, la aleta dorsal, debido a que ésta extremidad de la ballena se encuentra fuera del agua la mayor parte del tiempo.

Existen diferentes tipos de aleta dorsal, como se podrá ver a continuación:

[]@|@

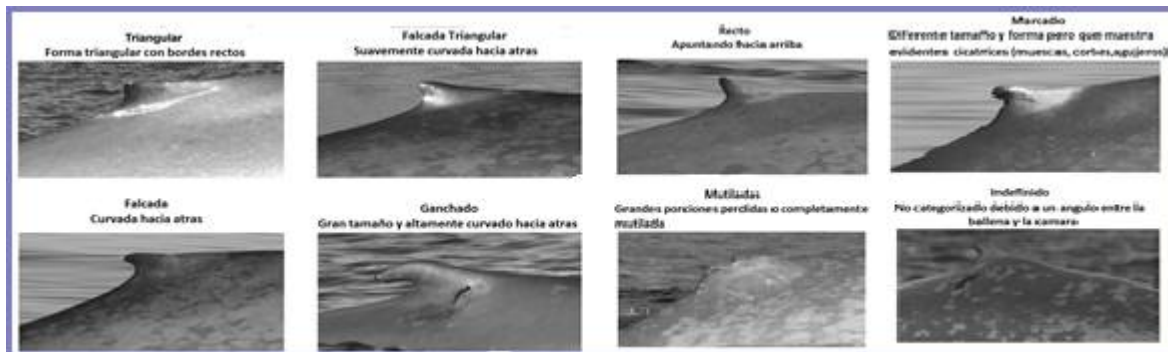


Figura 2. Diferentes tipos de aleta dorsal

Para poder realizar la identificación y la clasificación de la ballena azul, se empezaron a realizar pruebas de satisfacción con morfología matemática.

2.1. Morfología Matemática

La descripción básica de la Morfología Matemática descansa en la 'teoría de conjuntos' cuyos primeros trabajos se deben a Minkowsky Hadwiger. La continuación de estos trabajos de investigación, bajo la impulsión y reformulación de Matheron y Serra, se darían posteriormente a conocer bajo la denominación de Morfología Matemática, como una técnica no lineal de tratamiento de señales. La mayor parte de esta teoría ha sido desarrollada en el Centre de Morphologie Mathématique (CMM) de Paris. Actualmente, el ámbito y alcance de los procesamientos morfológicos es tan amplio como el

propio procesamiento de imágenes. Se pueden encontrar aplicaciones tales como la segmentación, restauración, detección de bordes, aumento de contraste, análisis de texturas, compresión, etc. [4].

2.1.2. Erosión

La transformación de erosión es el resultado de comprobar si el elemento estructurante Y está totalmente incluido dentro del conjunto X . Cuando esto no ocurre, el resultado de la erosión es el conjunto vacío. La erosión de un conjunto X por un elemento estructurante Y se define como el conjunto de puntos o elementos x , pertenecientes a X , de forma que cuando el elemento estructurante Y se traslada a ese punto, el elemento queda incluido en

$$X: \varepsilon_Y(X) = \{x | Y_x \subseteq X\} \quad \text{ec.1}$$

El efecto de una operación de erosión, hace desaparecer las estructuras de menor tamaño al elemento [4]. La erosión de una imagen f por un elemento estructurante Y se denota por $\varepsilon_Y(f)$ y se define como el mínimo (\wedge) de las traslaciones de f por los elementos s de

$$Y: \varepsilon_Y(f) = \bigwedge_{s \in Y} (f - s) \quad \text{ec.2}$$

El origen del elemento estructurante es un concepto importante, pues define la orientación de traslaciones. La erosión por elemento estructurante descrita anteriormente es posible observarse como los objetos de tamaño menor al del elemento estructurante desaparecen [4].

En señales digitales o imágenes de escala de grises la noción de ínfimo pasa a denotarse mínimo. En este caso, la erosión es el mínimo valor de la función imagen en la ventana (dominio) definida por el elemento estructurante cuando su origen se sitúa en x (señales unidimensionales) ó (x,y) (imágenes). Para señales unidimensionales se puede definir la erosión como:

$$\varepsilon_Y(f)(x) = \min_{s \in Y} f(x + s) \quad \text{ec. 3}$$

Para imágenes la erosión puede ser definida como:

$$\varepsilon_Y(f)(x, y) = \min_{(s,t) \in Y} f(x + s, y + t) \quad \text{ec.4}$$

El resultado de la erosión en señales bidimensionales de escala de grises (imágenes) es una señal de menor valor, es decir, una imagen más oscura, puesto que la erosión pretende minimizar el valor de la señal que, en el caso de los grises tiene una definición [0,255].

2.1.3 Dilatación

El resultado de la dilatación es el conjunto de puntos origen del elemento estructurante Y tales que el elemento estructurante contiene algún elemento del conjunto X , cuando el elemento se desplaza por el espacio que contiene a ambos conjuntos:

$$\delta_Y(X) = \{x | Y_x \cap X \neq \emptyset\} \quad \text{ec. 5}$$

El efecto de una operación de dilatación puede describirse como un elemento estructurante Y de forma de disco circular que aumenta la definición del objeto X [4]. El valor de dilatación de un píxel (x,y) es el máximo valor de la imagen en la ventana de vecindad definida por el elemento estructurante cuando su origen se sitúa en (x,y) :

$$\delta_Y(f)(x, y) = \max_{(s,t) \in Y} f(x - s, y - t) \quad \text{ec.6}$$

El resultado de la dilatación en señales bidimensionales de escala de grises (imágenes) es, generalmente, una señal de mayor valor, es decir, una imagen más clara, puesto que la dilatación maximiza el valor de la señal.

2.3. Filtrado de las imágenes

En los filtros para el procesamiento de imágenes son principalmente usados para suprimir cualquiera de las frecuencias altas de la imagen, es decir suavizar la imagen, o la eliminación de las bajas frecuencias, es decir, mejorando la detección de bordes en la imagen [4-5]. Una imagen puede ser filtrada en cualquier dominio ya sea en el dominio de la frecuencia o en el dominio espacial. El primero involucra la transformación de la imagen en el dominio de la frecuencia, multiplicando este con la función del

filtro de la frecuencia y retransformar el resultado en el dominio espacial. La función del filtro tiene una forma tal como atenuar algunas frecuencias y mejorar otras. Por ejemplo, una función pasobajo simple es 1 para frecuencias inferiores a la frecuencia de corte y 0 para todas las demás. El proceso correspondiente en el dominio espacial es la convolución de la imagen de entrada $x(n,m)$, en donde m y n son las dimensiones de la imagen, junto con la función del filtro $h(2k-l)$ (conocido también como respuesta al impulso). Esta se puede escribir de la siguiente manera [4-5]:

$$x_{pasobajo}[k] = \sum_n \sum_m x[n,m] h[2k-l] \quad \text{ec. 7}$$

La convolución discreta puede ser definida como operación de “corrimiento y multiplicación”, donde recorremos el kernel sobre la imagen y se multiplica este valor con los valores correspondientes de los pixeles de la imagen.

2.3.1 Wavelets

Se puede decir que el punto de partida matemático que conduciría a la teoría wavelet parte de Joseph Fourier (1807), con sus teorías del análisis de frecuencia. Él afirmaba que cualquier función $f(t)$ periódica cada 2 es el resultado de la suma ponderada de senos y cosenos siguiente:

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\omega_0 t + b_k \sin k\omega_0 t \quad \text{ec. 8}$$

La primera mención de “wavelet” aparece en el apéndice de la tesis de Alfred Haar (1909), convirtiéndose en el primer referente a las wavelets, al trabajar con funciones de soporte compacto, es decir, que se anulan fuera de un intervalo finito. En 1930 Paul Levy notó en una de sus aplicaciones sobre el movimiento Browniano que la Wavelet de Haar era más apropiada para la descomposición de la señal que el tratamiento a través de senos y cosenos de Fourier[4-5]. En 1946, Gabor había obtenido la Short Time Fourier Transform (STFT), la cual permite analizar una pequeña sección de la señal en:

- Componentes de altas frecuencias usando pequeñas ventanas, o bien.
- Componentes de bajas frecuencias usando ventanas más anchas.

El inconveniente es que una vez elegido el tamaño de ventana de tiempo, este es el único que se le aplica a toda la señal. En la década de los 80, Grossman y Morlet definieron las Wavelet en el contexto de la física cuántica. En esta misma década Stephane Mallat dio un salto importante a través de su trabajo sobre el procesamiento digital de señales. Por otro lado, Meyer construyó la primer Wavelet no trivial la cual era continuamente diferenciable. Ingrid Daubechies se apoyó en el trabajo de Mallat para construir un grupo de funciones básicas ortogonales de Wavelet, las que resultan ser, la más depurada versión de las Wavelets y pilar de las Wavelets actuales y sus aplicaciones [4-5].

2.3.1. Definición de wavelet

Una ‘ wavelet ’ es una pequeña onda cuya energía está concentrada en tiempo. Tiene una forma de onda característica que es oscilante, que permite hacer análisis en tiempo y frecuencia. Es una herramienta importante para el análisis de fenómenos transientes, no estacionarios ó variantes en el tiempo. Una Wavelet es una forma de onda de duración limitada.

2.3.2. Transformada Wavelet Haar

La transformada de Haar se considera la precursora de la transformada wavelet y el primer paso en la construcción de sus algoritmos de aplicación, al tratarse de una primera base de funciones muy sencillas y con importantes propiedades como la ortonormalidad, que permite una descomposición y reconstrucción perfecta de señales. Se trata de una de las transformaciones más sencillas que se puede aplicar a una señal y cuyo objetivo es descomponer la citada señal en dos subseñales de dimensión mitad que la inicial y llamadas subseñal aproximación (obtenida calculando promedios o tendencias) y subseñal detalle (obtenida calculando diferencias o fluctuaciones) [4-5]. Si se parte de una señal discreta

$f \in \mathbb{R}^N$ tal que: $f=(f_1,f_2,f_3,\dots,f_N)$ ec.9

los componentes de la subseñal aproximación vienen dados por la expresión:

$$a_m = \frac{f_{2m-1} + f_{2m}}{\sqrt{2}} \quad \text{ec. 10}$$

mientras que los componentes de la subseñal detalle (o fluctuación) son:

$$d_m = \frac{f_{2m-1} + f_{2m}}{\sqrt{2}} \quad \text{ec. 11}$$

para $m = 1, 2, 3, \dots, N/2$, Se puede entender que la señal de entrada es dividida en dos subseñales: una de promedios (a) y otra de detalles (d) y que a partir de ellas se puede restaurar la señal original. Se interpreta que la señal de tendencia o promedios a es una representación de resolución menor de la señal inicial y que las diferencias o detalles d es la información necesaria para pasar de esa representación grosera o aproximada a la señal inicial original (Tsolmon, 2003) [4-5].

La transformada wavelet de Haar (1910) emplea una base de funciones que es la más antigua y simple base ortonormal conocida y que presenta una serie de ventajas como su simplicidad, sus soportes muy pequeños y el hecho de usar funciones scaling y wavelet que no se superponen para un determinado nivel, aunque presenten poca utilidad en aplicaciones como edición de curvados y animación por su falta de continuidad (Stollnitz, 1995). La transformada wavelet de Haar se puede expresar en forma matricial como el producto $T = H \cdot F \cdot H \cdot T$, siendo F la imagen de entrada de tamaño $N \times N$, H la matriz de transformación de $N \times N$ y T el resultado de la transformación. La matriz de transformación H de 2×2 es [4]:

$$H_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{ec. 12}$$

Esta base de funciones define el banco de 2 filtros FIR (Finite Impulse Response) que satisface las condiciones de los QMF (QuadratureMirrorFilters). Los coeficientes de los filtros QMF de análisis $h_0(n)$ y $g_0(n)$ son los elementos de la primera y segunda fila de la matriz H_2 respectivamente.

2.3.3 Transformada Wavelet Discreta

La transformada Wavelet discreta está íntimamente ligada al análisis de multi-resolución, es decir, la observación de la señal en distintas frecuencias [5], lo que permite tener un mejor panorama de dicha señal y facilita su cálculo rápido cuando la familia de wavelets es ortogonal [4-5]. La señal discreta debe pasar a través de una serie de bancos de filtros espejo en cuadratura, dichos filtros son: Filtro Pasa Bajas y Filtro Pasa Altas.

La señal resultante de cada filtro es diezmada por un factor de 2. A este proceso de filtrado y diezmado sucesivo se le conoce como codificación en sub-banda, Figura 9. Dicha operación se interpreta de la siguiente manera [5]:

$$x_{altas}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n] \quad \text{ec. 13}$$

$$x_{bajas}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n] \quad \text{ec. 14}$$

donde $x_{bajas}[k]$ y $x_{altas}[k]$ son las salidas de los Filtros Pasa Bajas (F.P.B.) y Pasa Altas (F.P.A.), respectivamente, $g[2k-n]$ representa la respuesta al impulso del F. P. A y $h[2k-h]$ es la respuesta al impulso del F. P. B, sub muestreado por un factor de 2 como expresado en la Figura 3 [5].

[]@!@

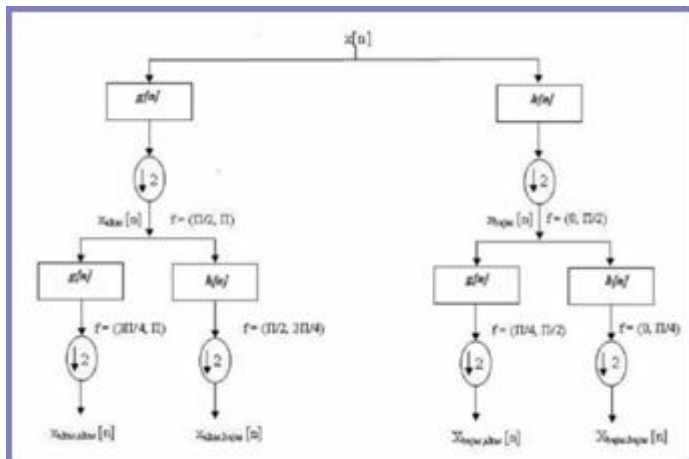


Figura 3. Banco de filtros para codificación en sub- bandas

Cada descomposición, divide a la señal original en cuatro sub-imágenes, cada una tiene un tamaño de un cuarto del tamaño de la imagen original. Las imágenes son colocadas de acuerdo a la posición de cada sub-banda en una partición de dos dimensiones del plano de la frecuencia. Existe más de una extensión de la DWT en el plano complejo, los trabajos de Lawton y Lina en muestran que el trabajo realizado por Daubechies representa una buena opción. El valor complejo de las wavelets simétricas de Daubechies (SDW) ha sido usado para aplicaciones tales como: ampliación, restauración y codificación de imágenes [4-5].

3. Conclusión

Con la ayuda de los filtros y de la DWT, se obtiene un filtrado con buena detección de bordes de las imágenes de los cetáceos, para así determinar las características fundamentales para la identificación de estas. Esto aunado con el uso de la morfología matemática arrojó los siguientes resultados, a continuación se muestran cuatros imágenes obtenidas a partir de una imagen tomado del lomo de un ballena azul en el mar de Cortes. Ver Figura 4.

□@□

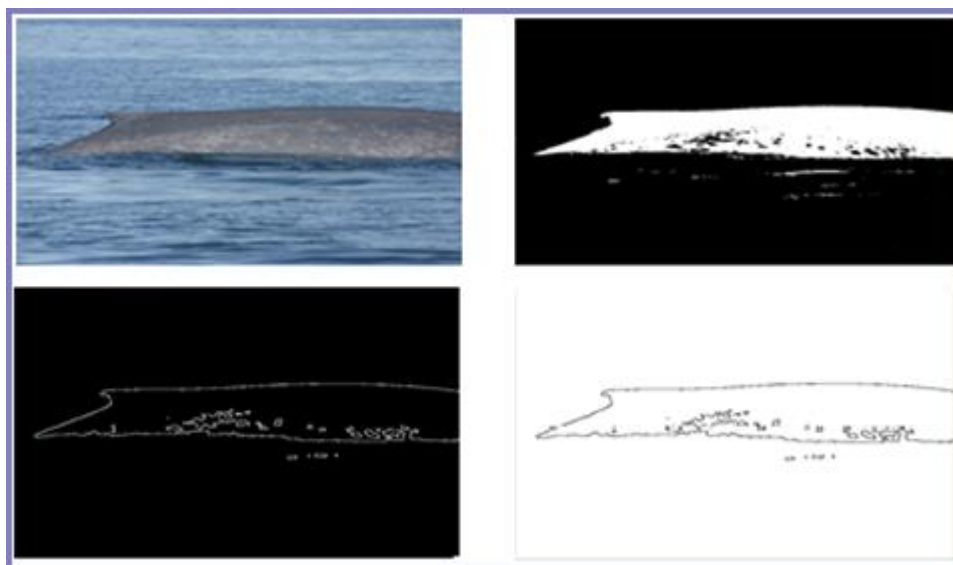


Figura 4. Resultados obtenidos con filtrado y morfología matemática

4. Agradecimientos

El equipo de trabajo agradece al IPN en general por el soporte de esta investigación.

5. Referencias

- [1] Croll, Donald A., Gendron Diane, "An integrated approach to the foraging ecology of marine birds and mammals", Deep-Sea Research II, Vol. 45, 1998, pp: 1353-1371.
- [2] Sears Richards, Gendron Diane, "Photographic identification of the blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of St. Lawrence, Canada", Rep. Int. Whal. Comm., Vol. 12, 1990, pp: 335-342.
- [3] Gendron Diane, Ugalde de la Cruz A., "A new classification method to simplify blue whale photo-identification technique", J. Cetacean Res. Manage., Vol. 12, 2012, pp: 79-84.
- [4] Walker, S. James, "A primer on wavelets and their scientific applications, ed. Chapman & Hall/CRC, 1999.
- [5] Carvajal-Gamez B.E., Funes-Gallegos F.J., Lopez-Bonilla J.L., "Scaling Factor for Energy Adjustment in RGB Images Applying Steganographic Methods", Computational Techniques and algorithms for Image Processing, Ramakrishnan S. (editor), 2010, Capitulo 13, editorial. Lambert Academic Publishing.

Referencias

- [1] <http://www.robotis.com/x/darwin/en>
- [2] Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc.
- [3] Técnicas de control para motores Brushless Comparativa entre conmutación Trapezoidal, conmutación Sinusoidal y Control Vectorial, Roger Juanpere Tolrà.

Referencias

- [1] Albert Einstein, Isaac Newton, Marie Curie, Galileo Galilei, Charles Darwin (*mayo - junio, 2025*) *La teoría de la evolución biológica. Boletín UPIITA. año 19, (108) 2025* liga del artículo