

Segmentación automática en imágenes RGB aplicando la técnica *Fuzzy C-means* de la morfología matemática para la ayuda de la fotoidentificación de cetáceos

Cesar Muñoz Pérez¹, Diego Cabrera Padilla¹, B. E. Carvajal-Gómez¹,
F.J. Gallegos-Funes², Diane Gendron³

¹Instituto Politécnico Nacional,
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, México

²Instituto Politécnico Nacional,
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México

³Instituto Politécnico Nacional,
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México

becarvajal@ipn.mx

Resumen. Los cetáceos son mamíferos que son un componente importante de los ecosistemas marinos, por lo que es importante para aumentar el interés y el conocimiento de estos animales. La identificación de los cetáceos se puede realizar mediante la observación de sus patrones a través de su forma aleta caudal. En este trabajo se presenta el algoritmo de segmentación Fuzzy C-means (FCM) para imágenes en el espacio de color RGB de la ballena azul en el mar de Cortés, México. El FCM es uno de los algoritmos de agrupamiento utilizados con mayor frecuencia debido a su eficacia, y en conjunto con morfología matemática se comprueba que las imágenes se segmentan aun teniendo como ruido de fondo el cielo y la mar..

Palabras clave: Patrones de aleta dorsal, FCM, morfología matemática, ballena azul.

1 Introducción

Para identificar algunas especies se realiza a través de marcas artificiales; como etiquetas, tatuajes, o alguna marca otra realizada a propósito como la eliminación de una sección de piel [9], haciendo de esto una marca permanente. Las marcas naturales son únicas para cada animal, siendo un método muy fiable, a menos que el animal pierde sus marcas [9]. La aplicación de marcas artificiales, sin embargo, es invasiva porque el animal normalmente debe ser capturado y manejado al ser marcado y, a menudo recapturado para poder ser identificado [9]. En consecuencia, este método podría ser difícil y costoso de usar, posiblemente perjudicial para la salud o el comportamiento del animal [9]. La fotoidentificación (photo-id) es un método el cual mediante el uso de fotografías adquiridas en el hábitat natural del animal, son

utilizadas para localizar las marcas naturales de los animales, estas marcas suelen ser: cicatrices, patrones de pigmentación en la piel, en el pelo, en el hocico, patrones de aletas dorsales o caudales para el caso de los cetáceos. El uso de marcas naturales para identificar a los individuos de una especie tiene muchas ventajas, por ejemplo; este método es no invasivo y de bajo costo, dos cualidades que pueden explicar y justificar su amplia utilización en el estudio del comportamiento de los cetáceos [9], agregando también que el individuo puede ser identificado desde una distancia sin llegar a interferir directamente en la iteración del cetáceo con su hábitat natural. En la mayoría de las veces la fotoidentificación es hecha manualmente por una persona que puede tener poca experiencia o ser nuevo en el área esto puede tomar mayor tiempo en la realización de la fotoidentificación realizada por un experto, generando además un error adicional al ya esperado. Por ejemplo, en la fotoidentificación manual de las imágenes de los delfines, cuando se encuentra los contornos de las muescas de la aleta del delfín, algunas de estas características son omitidas ocasionando un bajo rendimiento en la clasificación e identificación de los delfines correctamente. Por esta razón, existe una dependencia directa con el experto causando que los resultados varíen. En muchos sistemas de identificación asistida por ordenador semiautomáticas cada nueva imagen requiere un pre-procesamiento manual (por ejemplo, recortar, mejorar, el brillo y contraste) aumentando el tiempo, también puede requerir la formación, la introducción de la subjetividad y error en el resultado [11].

Este trabajo es motivado debido a los pocos sistemas de segmentación automática de cetáceos para agilizar el proceso de fotoidentificación. El primer paso en cualquier proceso de identificación de individuos u objetos, es el paso de la localización del individuo de interés dentro de la imagen, este proceso es conocido como segmentación de la imagen. Los algoritmos de segmentación de imágenes están basados en propiedades básicas de los niveles de gris de una imagen como son: discontinuidad y semejanza [13]. En este trabajo se presenta un método automático de segmentación de imágenes de cetáceos, el cual consiste en la técnica de agrupación o mejor conocido como *Fuzzy C-means* (FCM), integrando simultáneamente la erosión y la dilatación técnicas de morfología matemática. La técnica de agrupación se aplica a imágenes reales de la ballena azul en el mar de Cortés, México. El proceso de agrupación de objetos es un proceso, dentro del cual se van separando dichos objetos en una clase o clúster, de manera que, los objetos con un grupo o clase tienen una alta similitud, pero son muy diferentes a otros objetos. Esto significa que el límite entre grupos debe estar claramente definido. Sin embargo, en la práctica, los límites entre los grupos pueden no estar claramente definidos. Algunos objetos pueden pertenecer a más de una agrupación [17]. Un sistema de fotoidentificación debe de contar previamente con un pre-procesamiento con las siguientes características:

Precisión. ¿Con qué frecuencia el programa devuelve el contorno de aleta correcto, o incluye la forma de la aleta correcta en la parte superior de una lista de posibles candidatos?, y ¿qué tan fiable puede el programa sugerir que no hay coincidencias correctas en el catálogo actual?

Velocidad. ¿Cuánto tiempo se tarda en ingresar los datos de una fotografía a la computadora?, y, más importante, ¿cuánto tiempo se tarda el equipo para que coincida con una fotografía de entrada frente a un catálogo de un tamaño determinado?

Costo. ¿Cuál es el costo del hardware y software necesarios para implementar el sistema?

Por esta razón se propone el uso del algoritmo FCM para la segmentación de imágenes, el cual se comprobó durante la implementación y ejecución de la segmentación de la imagen del cetáceo, en menos de 2 segundos, además; de que este es de fácil implementación en hardware. El algoritmo FCM depende de la medida de la distancia entre los objetos. Comúnmente FCM utiliza la distancia euclidiana que supone cada objeto tiene la misma importancia [17]. El algoritmo FCM asigna a cada objeto de una imagen un valor de pertenencia a cada grupo y, por lo tanto, un conjunto de datos específicos que puede pertenecer a más de una clase. Este algoritmo realiza una suave partición de la información proporcionada por la imagen, por lo que, los objetos tienen ningún valor de pertenencia en todos los grupos. Agregando la dilatación y erosión, se puede delimitar de una mejor manera los bordes del cetáceo con el fondo de la imagen, debido a que se verificó que utilizando solamente FCM, quedaban algunas secciones menos delimitadas, es decir; toma secciones del fondo de la imagen. Generalmente, la tonalidad de la piel de la ballena azul tiende a confundirse con el fondo de la imagen compuesta por secciones de cielo, superficie del mar, brillo debido al reflejo del agua con el sol, características que suelen complicar el proceso de segmentación de la imagen del cetáceo para la ayuda en la fotoidentificación. El objetivo de este proyecto es la extracción del cuerpo del cetáceo de la imagen y eliminar todo aquello que no es de interés (el cielo y el mar) con el fin de hacer un análisis, que es para detectar el tipo de aleta dorsal con el mamífero para su identificación, comparación y clasificación.

2. Identificación de la ballena azul

Las imágenes usadas para el desarrollo de este proyecto fueron proporcionadas por la Dra. Diane Gendron (CICIMAR-IPN). Esta base de datos cuenta con un catálogo de 621 imágenes de la ballena azul en su hábitat natural. Una importante característica es el tipo de su aleta dorsal, la cual es de mucha ayuda para la realización de la fotoidentificación debido a que esta se encuentra la mayor parte del tiempo fuera del agua y se puede fotografiar rápidamente. Los diferentes tipos de aleta dorsal de la ballena son mostrados en la Figura 1.

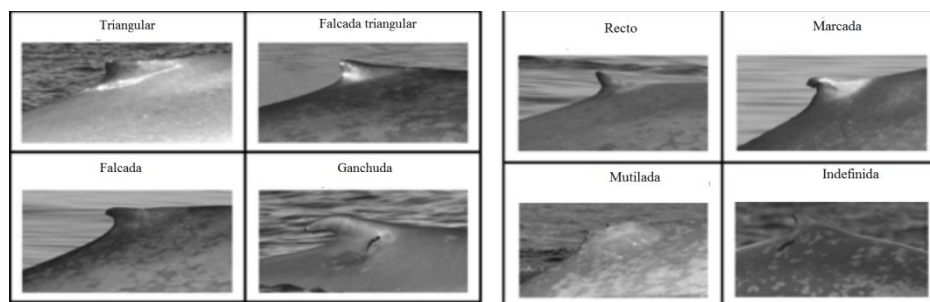


Fig 1. Diferentes tipos de aleta dorsal.

3. Imágenes digitales

Una imagen puede ser considerada como una función $f(x,y)$ la cual se ha discretizado tanto en coordenadas espaciales y como en el brillo. Una imagen digital es una matriz con índices de filas y columnas los cuales representan un punto en la imagen y su valor identifica el nivel de color en ese punto. Los elementos de estas matrices digitales son conocidos como píxeles [7]. Las imágenes digitales pueden ser presentadas en diferentes espacios de color, por ejemplo: RGB (rojo, verde, azul), HIS (matiz, saturación, intensidad), HSV (matiz, saturación, valor), CMYK (cyan, magenta, amarillo y negro), YCbCr (luminancia, cromancia en azul, cromancia en rojo) [7]. El desarrollo de la metodología propuesta en este trabajo se llevó a cabo inicialmente con imágenes en el espacio RGB y en escala de grises. Sin embargo, el mismo método se puede aplicar a otros espacios de color. Los resultados se analizaron con el fin de encontrar el mejor espacio de color para la segmentación de imágenes.

4. Método propuesto

El método propuesto se muestra en la Figura 2. Los pasos a seguir para la segmentación se describen más adelante. Este se verifica en la sección de prueba que el algoritmo propuesto es válido para cualquier tipo de imágenes obtenidas a partir de pruebas experimentales.

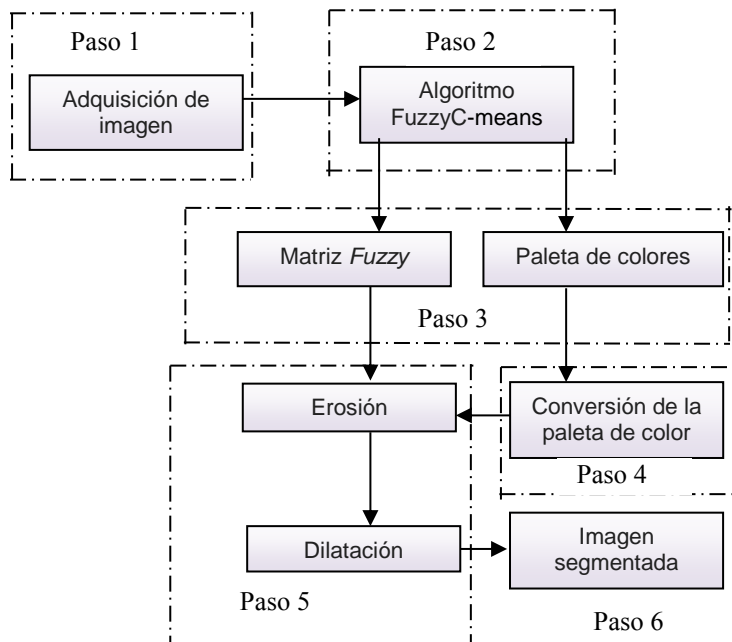


Fig 2. Diagrama a bloques del método propuesto.

- Paso 1. Adquisición de imágenes de los cetáceos.
- Paso 2. Se realiza el algoritmo FCM a la imagen original.
- Paso 3. Se obtiene de manera simultánea la matriz *fuzzy* y la obtención de la paleta de colores.
- Paso 4. Se conserva la paleta de color.
- Paso 5. Se realiza la erosión y la dilatación a la matriz *fuzzy*.
- Paso 6. Segmentación. En esta etapa la imagen se separa en cada uno de los objetos que lo hacen [13]. Las imágenes se toman en el formato RGB a la que se aplica un proceso digital que comienza con el algoritmo FCM para la segmentación y las operaciones de morfología matemática se aplican para eliminar completamente el ruido de la imagen.

4.1 Algoritmo Fuzzy C-Means

El algoritmo FCM es uno de las más populares técnicas de agrupación, este algoritmo fue desarrollado por Dunn [4] y, eventualmente, modificado por Bezdek [2] en 1981. El FCM es un algoritmo difuso e iterativo que forma parte de las técnicas de agrupamiento no supervisado y su objetivo es encontrar patrones o grupos en un determinado conjunto de datos, por lo que este tipo de patrones sirven para la clasificación de la información [16]. El principio de funcionamiento básico de este algoritmo es agrupar o separar los datos proporcionados en grupos llamados *clusters*. La ventaja de este algoritmo a otros que también trabajan en el principio de agrupación o *clustering*, es que los datos pueden estar suficientemente cerca de dos grupos de tal manera que es difícil etiquetar cualquiera de estos. El FCM es un algoritmo desarrollado para resolver estos problemas, por lo que un conjunto de datos de partición suave y restringido, es decir; con estas particiones en que todos los datos tienen un grado de pertenencia para todos los grupos, y la suma de estos grados de pertenencia es igual a 1. Para el desarrollo de esta investigación se presentan 2 grupos: el primero correspondiente al cuerpo de la ballena azul y el segundo contiene la información del mar [9]. Supongamos que X es un conjunto de datos y un elemento perteneciente a X es x_i , se dice que una partición $P = \{C_1, C_2, \dots, C_C\}$ donde c indica el número de clusters. Se decide que P es una partición suave y restringido de X cuando se cumplan las siguientes condiciones [6]:

$$\forall x_i \in X \quad \forall C_j \in P \quad 0 \leq \mu_{C_j}(x_i) \leq 1 \quad (1)$$

$$\forall x_i \in X \quad \exists C_j \in P \quad \text{tal que } \mu_{C_j}(x_i) > 0 \quad (2)$$

donde: $\mu_{C_j}(x_i)$ es el grado de pertenencia para la cual x_i pertenece al clúster C_j .

$$\sum_j \mu_{C_j}(x_i) = 1 \quad \forall x_i \in X \quad (3)$$

Al tener una partición suave y restringida, la función objetivo se da como se muestra a continuación:

$$J_m(P, V) = \sum_{i=1}^k \sum_{x_k \in X} (\mu_{C_i}(x_k))^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (4)$$

Donde, el parámetro m es un peso que determina el grado en que los miembros pertenecen al clúster, y V_i se llama prototipo o centroide que minimiza la función objetivo J_m . Una vez que se ha determinado el número de grupos, el valor de m debe ser calculado utilizando las funciones de pertenencia de la ecuación 5 y posteriormente actualizar los centroides utilizando la ecuación 6.

$$\mu_{C_i}(x) = \frac{1}{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\|x-v_i\|^2}{\|x-v_j\|^2} \right)^2} \quad 1 \leq i \leq k, x \in X \quad (5)$$

$$v_i = \frac{\sum_{x \in X} (\mu_{C_i}(x))^m x}{\sum_{x \in X} (\mu_{C_i}(x))^m} \quad 1 \leq i \leq k \quad (6)$$

Los pasos descritos anteriormente se repiten iterativamente hasta alcanzar el criterio de paro. Una vez aplicado el algoritmo FCM para las imágenes, se aplican las operaciones de morfología matemática para la eliminación de las regiones excedentarias que no son de interés.

4.2 Morfología matemática

Morfología matemática es una técnica bien establecida para el análisis de imágenes, con fundamentos matemáticos sólidos [16] que se encuentran con enormes aplicaciones en muchas áreas, principalmente el análisis de imágenes [14]. La mayor parte de las aplicaciones prácticas se basan en una combinación de un pequeño conjunto de operaciones llamadas: erosión y la dilatación. La morfología matemática se desarrolló inicialmente para imágenes binarias y más tarde en las imágenes generalizadas con valores de gris [15]. El instrumento fundamental en la morfología matemática es el elemento estructurante. Un elemento estructurante es simplemente como una configuración de píxeles en las que se define a partir de un origen [12].

Erosión. Es el resultado de la comprobación de si el elemento estructurante Y está totalmente incluido en el conjunto X . Cuando esto no sucede, el resultado de la erosión es el conjunto vacío. Se define de la siguiente manera [3]:

$$\varepsilon_B(Y) = X \ominus Y = \{x | Y_x \subseteq X\} \quad (7)$$

Cuando los objetos de la escena son más pequeños que el elemento de estructurante, estos desaparecen de la imagen.

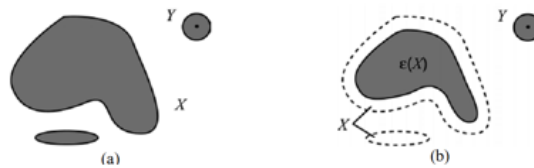


Fig 3. Efectos de la erosión.

Dilatación. La dilatación es la transformación dual a la erosión. El resultado de la dilatación es el conjunto de elementos de manera que al menos algún elemento de estructurante del conjunto B está contenido en el conjunto X , cuando B se mueve sobre el conjunto X :

$$\varepsilon_B(X) = X \oplus B = \{x | X \cap B_x \neq \emptyset\} \quad (8)$$

Esta operación representa un crecimiento progresivo del elemento estructurante llamado *passing* sobre el conjunto X , en el conjunto, esto no va a cambiar. Sin embargo, la frontera del conjunto X , pasando a B , el conjunto de resultados se

expandirá. La aplicación repetida de este operador podría degradar la imagen, haciendo coincidir la imagen completa a la dilatada [10].

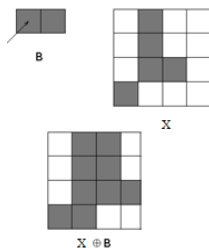


Fig 4. Efectos de dilatación.

5. Resultados

El algoritmo de FCM se puso a prueba para ayudar a realizar la fotoidentificación a través de la aleta dorsal de la ballena azul, esta aleta es importante debido a que se puede identificar casi a cualquier tipo de mamíferos que llegan hasta el mar de Cortés y ayudar a tener un registro de ellos cada año. Para el FCM todas las fotos que se utilizaron tienen diferentes condiciones de brillo y el tamaño de la imagen. El algoritmo también se demostró en diferentes categorías de imágenes, estas categorías se han propuesto y avalado por la investigación de la Dra. Diane Gendron (CICIMAR-IPN). En la Tabla 1 se muestran los promedios de los resultados obtenidos a partir del algoritmo FCM, además; se visualizan los resultados cualitativos y cuantitativos de este algoritmo en un primer momento se muestra la segmentación manual, en segundo lugar se muestra la imagen obtenida con el algoritmo FCM desarrollado a partir de la foto original. La implementación de este algoritmo se hizo con Matlab™ y finalmente se muestra una comparación entre la imagen de algoritmo FCM y la segmentación manual, la obtención de cuatro parámetros que ayudaron a mostrar cómo eran iguales ambas imágenes. Los resultados de rendimiento se calculan a partir de las segmentaciones manuales del primer observador como una realidad de la imagen. Para ver el rendimiento del método propuesto, se consideran cuatro casos: dos clasificaciones correctas y dos errores de clasificación. Las clasificaciones son: verdadero positivo (TP), falso positivo (FP), falso negativo (FN), y verdadero negativo (TN). Mediante el uso de estas métricas se obtienen diferentes medidas de rendimiento como el siguiente [15, 16]:

$$\text{Especificidad} = TN / (TN + FP) \quad (9)$$

$$\text{Sensibilidad} = TP / (TP + FN) \quad (10)$$

$$\text{Precisión} = (TP + TN) / \text{píxeles correspondientes al cetáceo} \quad (11)$$

la especificidad (Sp) es la capacidad de detectar los píxeles no de cetáceos, la sensibilidad (Se) refleja la capacidad de un algoritmo para detectar el borde de cetáceos, la precisión (ACC), se mide por la relación entre el número total de píxeles clasificados correctamente (suma de los verdaderos positivos y verdaderos negativos)

por el número de píxeles de la imagen de los cetáceos , y el valor predictivo positivo o tasa de precisión da la proporción de píxeles de cetáceos identificados y que son verdaderas [1, 8], es la probabilidad de que un pixel de cetáceos identificado es un positivo verdadero. La similitud (S_i) en el contexto de este proyecto, se ha definido como una función de la precisión y de sensibilidad, con el fin de comparar los resultados obtenidos de manera más directa. La similitud de una imagen segmentada con la realidad (de la imagen segmentada manualmente) se define en la ecuación 12 [5],

$$Similitud = 1 - \frac{\sqrt{(1 - precision)^2 + (1 - sensibilidad)^2}}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

La presentación de la máxima similitud con la realidad sobre la segmentada manualmente, el valor comprendido está entre 1 y 0, cuando se presenta la similitud mínima con la segmentada manualmente.

Tabla 1. Resultados obtenidos a partir de la técnica propuesta de segmentación.

<i>Tipo de aleta</i>	<i>Tiempo de procesamiento (seg)</i>	<i>Si(%)</i>	<i>Fuzzy C-Mean</i>		
			<i>Sp(%)</i>	<i>Se(%)</i>	<i>ACC(%)</i>
Ganchuda-ND	1.633	89.4813	96.077	86.8471	93.6305
Ganchuda clara	1.15	83.3155	90.477	80.7410	86.4039
Ganchuda clara moteada	1.5	78.7697	80.3055	78.5373	80.5325
Ganchuda rayada	2.0	70.2405	73.3529	69.0546	71.4756

Tabla 2. Resultados obtenidos a partir de la técnica K-means.

<i>Tipo de aleta</i>	<i>Tiempo de procesamiento (seg)</i>	<i>Si(%)</i>	<i>K-Mean</i>		
			<i>Sp(%)</i>	<i>Se(%)</i>	<i>ACC(%)</i>
Ganchuda-ND	5.3745	88.8453	96.2618	85.5975	93.5643
Ganchuda clara	4.9442	85.6447	98.6170	83.8277	90.2452
Ganchuda clara moteada	4.8854	80.7697	81.5578	83.2071	81.3250
Ganchuda rayada	4.9442	73.0257	78.0527	70.1536	76.4721

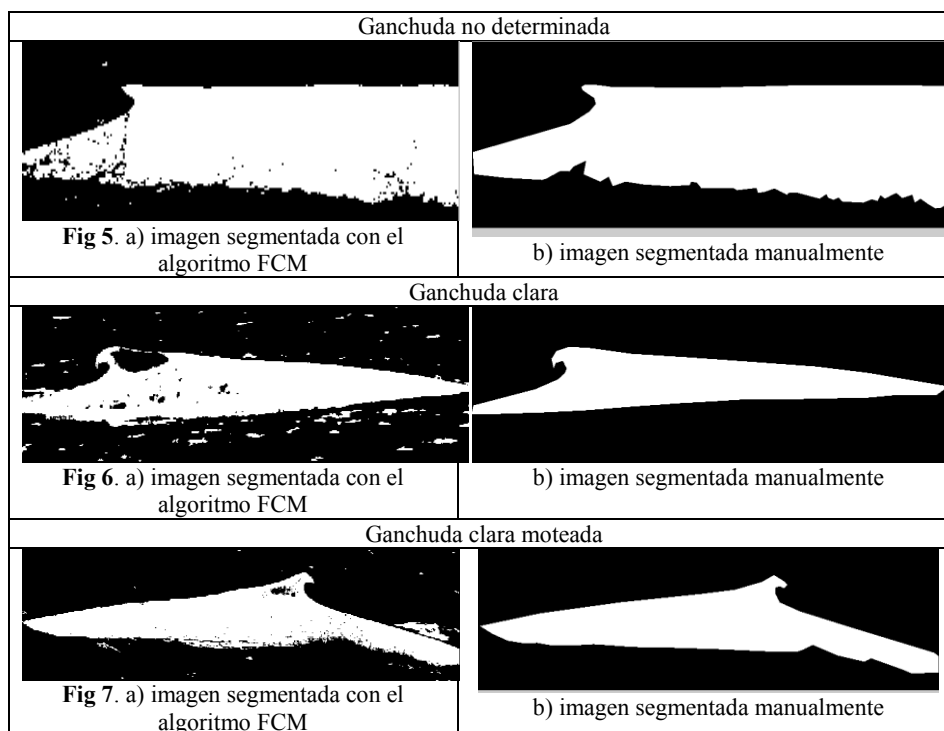
Del catálogo compuesto por 400 imágenes, se observaron los siguientes resultados para la categoría de "ganchuda clara" se obtuvieron que las 100 imágenes de prueba los resultados son superiores a 86% en la prueba de precisión, debido a que el color de la piel de la ballena, es uniforme y más claro que el color del agua del mar de Cortés, México.

En la categoría de "ganchuda clara moteada", se obtuvo a partir de las 100 imágenes de prueba para esta categoría que el 33% de las imágenes tuvo un resultado superior al 80% en la precisión, esta prueba tuvo un porcentaje menor debido a que la

coloración de la piel de la ballena tienen a camuflajearse más con el azul oscuro del mar de Cortés, México.

Tabla 3. Resultados obtenidos a partir de la técnica de morfología matemática.

Tipo de aleta	Tiempo de procesamiento (seg)	Si(%)	K-Mean		
			Sp(%)	Se(%)	ACC(%)
Ganchuda-ND	1.9442	88.0012	86.3678	85.0901	83.6921
Ganchuda clara	2.3745	81.4197	85.1702	80.4279	90.0451
Ganchuda clara moteada	2.8854	90.6997	81.5377	83.7221	91.3751
Ganchuda rayada	2.9442	79.7612	79.5326	70.6754	76.0761



En la categoría de "ganchuda rayada" se obtuvo que el 0% de las 100 imágenes tomadas como prueba tuvo un resultado superior al 80% en la precisión, debido a que esta se camuflajea mejor con el color del agua del mar de Cortés.

En la categoría de "no determinada" se obtuvo que el 100% de las imágenes tuvo un resultado superior al 93% en la precisión, porque el cuerpo de la ballena estaba se encontraba a contra luz con el fondo azul del mar de Cortés. Los resultados mostrados en la Tabla 1 con la técnica propuesta se encuentran en algunos casos superior a la técnica de K-means que se muestran en la Tabla 2, la técnica de K-means muestra en

algunos casos un mejor rendimiento en sus resultados, sin embargo; la técnica de K-means tiene un consumo de procesamiento mayor tanto para la técnica propuesta Tabla 1, como los resultados mostrados en la Tabla 3 con morfología matemática. Siendo así la técnica propuesta una técnica con rendimiento intermedio con un tiempo de procesamiento inferior a los 2 segundos. A continuación se muestran los resultados visuales obtenidos con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación.

6. Discusión

El algoritmo aquí propuesto para la segmentación de imágenes reales, dio resultados satisfactorios. Estos servirán para poder identificar el tipo de aleta de la ballena azul con el fondo de la imagen. Este algoritmo puede implementarse en cualquier espacio de color para ir localizando los mejores resultados obtenidos. De los resultados experimentales expuestos en este trabajo, se puede ver que el método propuesto provee una mejor calidad en la segmentación de imágenes reales, explícitamente de los cetáceos en su hábitat natural, presentando resultados en promedio superiores al 80% en cetáceos clasificados como “clara” y “no determinada”. En los resultados visuales subjetivos mostrados en las Figuras 5, 6 y 7, se puede observar que las imágenes segmentadas conservan las características principales de la forma de su aleta, siendo esto de utilidad para finalmente realizar la fotoidentificación de estas en un sistema autónomo. La técnica de segmentación propuesta en este trabajo muestra resultados superiores en algunos casos con los tipos de aleta de Ganchuda No Determinada y Ganchuda rayada, lo que cumple con el compromiso de costo de consumo en el procesamiento de las imágenes, a diferencia de las técnicas mostradas en la Tabla 2 y 3.

7. Conclusión

Después de probar diferentes imágenes del catálogo de la base de datos del CICIMAR-IPN, el algoritmo FCM junto con morfología matemática conservara el contorno de la aleta dorsal y la forma del lomo de la ballena. Con se encontró el algoritmo FCM propuesto que se requiere necesita al menos cuatro iteraciones para tener una separación entre los diferentes grupos en las capas RGB, porque durante estas cuatro iteraciones el resultado de los grupos de comparación estabilizado, por lo que es posible utilizar recursos mínimos de hardware y así llevarlo a un dispositivo móvil. También se encontró en la prueba de precisión que si el resultado fue inferior al 80%, las imágenes obtenidas muestran el ruido que no permite distinguir entre el ambiente de la ballena y la ballena. Para obtener los mejores resultados, el algoritmo funcionó mejor con la categoría de la "clara" y "no determinada". Obteniendo la imagen aislada del cetáceo con el fondo de la imagen al momento que se realiza la identificación visual, el biólogo puede agilizar la clasificación de las fotos en sus catálogos e ir automatizando poco a poco la técnica de fotoidentificación. Conservando además la sección más importante al momento de realizar la fotoidentificación manual por parte de los biólogos expertos, que es la forma del

contorno de la aleta dorsal. Se comprobó además que el tiempo de ejecución de este algoritmo es menor a los 2 segundos. Los resultados mostrados en la Tabla 1 con la técnica propuesta se encuentran en algunos casos superior a la técnica de K-means que se muestran en la Tabla 2, la técnica de K-means muestra en algunos casos un mejor rendimiento en sus resultados, sin embargo; la técnica de K-means tiene un consumo de procesamiento mayor tanto para la técnica propuesta Tabla 1, como los resultados mostrados en la Tabla 3 con morfología matemática.

Agradecimientos. El equipo de trabajo agradece al IPN por las facilidades para el desarrollo de este trabajo en especial al M. en C. Arodi Carvalho Dominguez, de igual modo agradecemos a CONACYT en general por el soporte de esta investigación.

Referencias

1. Abdolhossein, F., Naghsh-Nilchi, A. R.: Automatic wavelet-based retinal blood vessels segmentation and vessel diameter estimation. *Biomedical Signal Processing and Control* 8, pp. 71–80 (2013)
2. Bezdek, J.C.: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA (1981)
3. Carvajal-Gómez, B.E., Gallegos-Funes, F.J., Casas-Pérez, C., Muñoz-Pérez, C., Reyes-Morales, A.A., Gendron, D., Hernández-Pérez, A.: Algoritmo de segmentación de imágenes reales de la ballena azul en el mar de Cortes.
4. Chattopadhyay, S., Pratihar, D.K., De Sarkar, S.C.: Performance Studies of Some Similarity-Based Fuzzy Clustering Algorithm. *International Journal of Performability Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 191–200 (2006)
5. Clinton, N., Holt, A., Scarborough, J., Yan, L., Gong, P.: Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, pp. 289–299 (2010)
6. De la Rosa Flores, R.: *Procesamiento de imágenes digitales*. Semana de la informática. Instituto Tecnológico de Puebla (2007)
7. Escalante-Ramírez, B.: *Procesamiento Digital de Imágenes*. (2006)
8. Fraz, M., Remagnino, P., Hoppe, A., Uyyanonvara, B., Rudnicka, A.R., Owen, C.G. and Barman, S.A.: Blood vessel segmentation methodologies in retinal images. A survey, computer methods and programs in biomedicine 108, pp. 407–433 (2012)
9. Gomez-Salazar, C., Trujillo, F., and Whitehead, H.: Photo-Identification: A Reliable and Noninvasive Tool for Studying Pink River Dolphins (*Inia geoffrensis*). *Aquatic Mammals*, pp. 472–485 (2011)
10. González, R.: *Digital Image Processing*. 2da edición, Ed. Prentice-Hall. (2001)
11. Individual Recognition of Cetaceans: Use of Photo-Identification and Other Techniques to Estimate Population Parameters. International Whaling Commission. Report of the International Whaling Commission, Special Issue 12.
12. Laganière, R.: *OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook*. (2011)
13. Martín, M.: *Técnicas clásicas de segmentación de Imágenes*. (2012)
14. Serra, J.: *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press. London, UK. (1984)
15. Sternberg, S. R.: “Grayscale morphology”. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 35, No. 3, pp. 333–355 (1986)
16. Yen, J., Reza, L., *Fuzzy Logic intelligence control and information*. Prentice Hall, pp. 351-362. New Jersey (1999)

Cesar Muñoz Pérez, Diego Cabrera Padilla, B.E. Carvajal-Gómez, F.J. Gallegos-Funes, et al.

17. Yujie, L., Huimin, L., Lifeng, Z., Junwu, Z., Shiyuan, Y., Xuelong, H., Xiaobin, Z., Yun, L., Bin, L. and Seiichi, S.: An Automatic Image Segmentation Algorithm Based on Weighting Fuzzy C-Means Clustering. Springer Link (2012)