

## ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE *Chamelea gallina* EN EL GOLFO DE CÁDIZ UTILIZANDO LA INFORMACIÓN ANGULAR DE LOS ECOS OBTENIDA POR UNA ECOSONDA DE HAZ PARTIDO

PACS: 43.30.+m, 43.30.Vh

Llorens-Escrich, Susana<sup>1,2</sup>; Román, Sara<sup>3</sup>; Morillo-Faro, Andrés<sup>1</sup>; Silva, Luis<sup>3</sup>; Pérez-Arjona, Isabel<sup>1</sup>; Delgado, Marina<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Institut d'Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres, Universitat Politècnica de València, C/Paranimf, 1, 46730 Valencia, España

<sup>2</sup>Instituto Español de Oceanografía (IEO), C.O. Murcia, C/el Varadero 1, Lo Pagan, 30740 Murcia, España

<sup>3</sup>Instituto Español de Oceanografía (IEO), C.O. Cádiz, Puerto Pesquero, Muelle de Levante s/n, Cádiz, 11006, Cádiz, España

**Palabras Clave:** *Chamelea gallina*, densidad poblacional, ecosonda, información angular, análisis textural de imagen

### ABSTRACT.

Knowledge of bivalve mollusc populations in the Gulf of Cádiz is necessary for the properly management of their fishery, especially since their catches have decreased in recent years. Project VENUS was a comprehensive study of the natural population of bivalves in the Gulf of Cádiz. Its goal was to achieve their sustainable management and the conservation of their associated habitats. In the framework of the project, underwater active acoustics was used with the aim of testing and adapting a method for estimating *Chamelea gallina* relative abundance. The methodology is based on image textural analysis of angle values assigned to seabed echo samples by a scientific echosounder with a 200 kHz split beam transducer. A relationship between textural features and *C. gallina* density was disclosed through analysis of data acquired in situ during a three day sea survey. These results are the basis for estimating comparatively the population density of *C. gallina* from acoustic information.

### RESUMEN.

El conocimiento de las poblaciones de moluscos bivalvos en el golfo de Cádiz es necesario para el manejo de su pesquería, más aún teniendo en cuenta que sus capturas han decaído en los últimos años. El proyecto VENUS ha estudiado la población natural de bivalvos en el golfo de Cádiz para su gestión sostenible y la conservación de sus hábitats asociados. En el marco del proyecto se ha utilizado la acústica submarina activa con el objetivo de evaluar y adaptar un método para estimar comparativamente la abundancia de *Chamelea gallina*. La metodología se basa en un análisis textural de imagen aplicado sobre los valores angulares de los ecos provenientes del fondo marino, éstos obtenidos por una ecosonda científica con un transductor de haz partido de 200 kHz. A partir de los datos obtenidos mediante un muestreo in situ, se ha estudiado la relación existente entre las variables texturales y la densidad de *C. gallina*. Estos resultados son la base para estimar la densidad de población de *C. gallina* a partir de información acústica.

### 1. INTRODUCCIÓN

La chirra, *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758), es un molusco bivalvo que habita entre los 5 y 20 m de profundidad enterrado en fondos arenosos, arenoso-fangosos a fangosos [1]. Esta especie

tiene gran importancia como recurso pesquero a lo largo de las costas Europeas [2]. Particularmente en las costas andaluzas supone casi el 25 % de la producción total de bivalvos [3]. En general, las capturas de *Chamelea gallina* han disminuido considerablemente, pudiendo deberse a diversos motivos, como las variaciones de factores ambientales o la sobreexplotación. Concretamente, en el golfo de Cádiz, donde la pesca de *C. gallina* se lleva a cabo mediante el uso de dragas hidráulicas, las capturas están cayendo en la última década [1] lo que ha propiciado la implantación de vedas estacionales de 6 a 8 meses de duración [2].

Así como los estudios sobre la dinámica de poblaciones y la biología de la especie son fundamentales para la gestión de la pesquería [1] [4], el conocimiento del stock pesquero es conveniente para la adecuación de las estrategias de gestión a los requerimientos del área. La estimación de stock en aguas españolas del golfo de Cádiz se ha llevado a cabo habitualmente a partir de los datos de las capturas y desde 2018 se han realizado muestreos dedicados a ello [5]. Cabe señalar que los muestreos directos son técnicas invasivas que requieren gran inversión de personal y de tiempo y, además, la representatividad de los datos se limita a puntos concretos. Por estos motivos, el desarrollo de métodos menos invasivos, de amplia cobertura y con menor relación coste/beneficio para la estimación de abundancia de *C. gallina* ha generado interés. La acústica submarina es ampliamente utilizada para el estudio del medio marino (por ejemplo para cartografiado del fondo [6], estimación de biomasa de especies pelágicas [7] o mapeo de praderas submarinas [8]) por ello se presenta como una posible alternativa para la estimación de abundancia de moluscos bivalvos. En relación a la bibliografía disponible sobre la detección acústica de moluscos bivalvos, en 2013, Sánchez-Carnero et al. [9] obtuvieron resultados satisfactorios de estimación relativa de densidad de navajas utilizando una ecosonda de haz partido a 200 kHz. Aplicaron un análisis textural de imagen [10] sobre ecogramas conformados por la información angular de los ecos provenientes del fondo marino y, a partir de las variables texturales calculadas, clasificaron las muestras obteniendo agrupaciones consistentes con la densidad de navajas. En 2019, Morillo et al. [11], llevaron a cabo una simulación numérica y medidas acústicas de *C. gallina* laboratorio con el fin de estudiar cómo bivalvos en el interior del sedimento pueden interactuar con las ondas acústicas emitidas por una ecosonda de haz partido alterando su eco. Para el análisis de los datos se aplicó la técnica propuesta por Sánchez-Carnero et al. [9].

Partiendo del interés en el desarrollo de técnicas eficientes y mínimamente invasivas para la evaluación de la abundancia de *C. gallina*, se ha llevado a cabo el presente estudio con el objetivo de evaluar el potencial de la metodología propuesta por Sánchez-Carnero et al. [9] para la estimación de la densidad de *C. gallina* in situ.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1. Muestreos in situ**

Se realizó una campaña oceanográfica que comprendió el muestro acústico y el muestreo directo de sedimento marino y de *C. gallina* en 5 estaciones de medida con diferentes densidades poblacionales de la especie.

La campaña se llevó a cabo en abril de 2019, en la zona Este del golfo de Cádiz y duró 3 días. En la Figura 1 se muestra el mapa con la localización de las 5 estaciones, denominadas como E2, E3, E5, E6 y E9. Las estaciones se encontraban entre 6 y 9 m de profundidad.

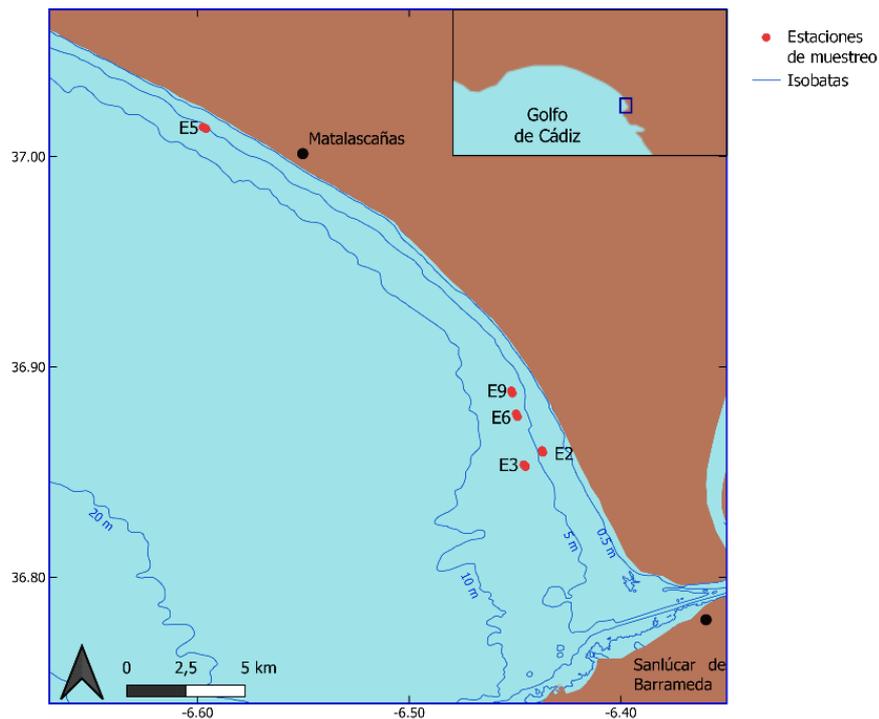


Figura 1 – Distribución espacial de las estaciones de muestreo en el Este del Golfo de Cádiz. (Isobatas obtenidas de [www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es))

En cada estación de muestreo se delimitó un transecto de 150 m de longitud, a lo largo del cual se llevaron a cabo las medidas acústicas con al menos 3 repeticiones en cada estación. Para ello se utilizó un ecosonda de haz partido EK60 con un transductor de 200 kHz de Simrad. Se emitieron 10 pulsos (o pings) por segundo con una duración de 64  $\mu$ s a 150 W de potencia.

El transductor se dispuso en la banda de estribor de una embarcación a motor de 8 m de longitud, sumergido 50 cm. La velocidad de navegación se mantuvo en torno a los 3 nudos y junto con los datos acústicos se registraron datos de posicionamiento geográfico en tiempo real.

En el área central del transecto de cada estación se tomaron 3 muestras de sedimento utilizando una draga Van Veen de 1000 cm<sup>2</sup>, largada desde la misma embarcación que portaba el equipo acústico. De cada extracción, una muestra de 100 g se sometió a un análisis granulométrico mediante tamizado con el fin de conocer la distribución de tamaño de grano y con ello poder evaluar la influencia de la variabilidad de éste en el comportamiento de las variables acústicas.

Por último, a lo largo de cada transecto, se efectuó una pesca de *Chamelea gallina* mediante una embarcación comercial dispuesta con una draga hidráulica de 2.47 m de ancho. Dado que se registró la posición geográfica del recorrido y la apertura de la draga era conocida, se pudieron utilizar los datos de la captura para estimar la densidad poblacional de la especie en cada estación.

## 2.2. Procesado de datos acústicos

En primer lugar, se eliminaron los fragmentos de los datos acústicos que incluían cambios significativos de rumbo o de velocidad. También se eliminaron aquellos en los que el eco del fondo se había perdido, probablemente debido a una orientación oblicua del haz acústico con respecto al fondo a causa del oleaje.

En cada transecto se aplicó un algoritmo de detección del fondo sobre el ecograma basado en el establecimiento del comienzo del mismo una longitud de pulso antes de que se alcance el

máximo de energía del eco de cada ping. A continuación, en función de la posición de los ecos del fondo determinada a partir de los datos de energía, se modificaron los ecogramas que contienen los registros de valores angulares proa-popa (referidos como “ecogramas angulares” de aquí en adelante) de forma que las posiciones del fondo de todos los pings quedasen a la misma distancia.

Una vez alineados los ecogramas angulares, se aplicó el análisis textural de imagen propuesto por Haralick et al. [10] sobre los ecos provenientes de los primeros 50 cm del fondo. Dicho análisis textural es un procedimiento estadístico de segundo orden que resume la frecuencia relativa de la distribución de los tonos en los píxeles de una imagen. En el caso que aquí compete, cada muestra del eco es un píxel de la imagen a analizar. Este análisis parte de la generación de una matriz de co-ocurrencia simétrica obtenida a partir de los valores angulares normalizados (restando la media y dividiendo por la desviación típica de cada fila) y cuantificados en un número determinado de niveles. La matriz de co-ocurrencia contiene información sobre la fracción de cada posible combinación de valores entre pares de vecinos. Posteriormente se calcula la probabilidad de cada entrada de la matriz de co-ocurrencia, obteniendo la matriz de probabilidades. A partir de esta última matriz, se calculan trece variables texturales: Energía o segundo momento angular, contraste, correlación, varianza, momento de las diferencias inversas, suma promedio, varianza de la suma, entropía de la suma, entropía, varianza de la diferencia, entropía de la diferencia, entropía relativa normalizada y ángulo de la entropía (descritas en [10]). Además, tal y como hizo Sánchez et al. [9], se ha calculado una variable más, la lagunaridad, definida como la desviación típica de la matriz de probabilidades dividida por la media de la misma matriz.

Para el propósito del este trabajo, se han calculado las 14 variables para cada píxel, siendo cada uno de ellos el píxel central de un vecindario de 15 píxeles (5 vecinos horizontales y 3 verticales). Para generar la matriz de co-ocurrencia, no se han considerado los píxeles con valores alejados más de 2 desviaciones típicas de la media, se han cuantificado los valores angulares en 5 niveles y se han considerado únicamente las parejas de vecinos en dirección horizontal.

Dado el elevado número de píxeles y el coste computacional asociado, una vez calculadas las 14 variables, se ha calculado la media de cada una de ellas a partir de los píxeles comprendidos cada 7 pings (equivalente, aproximadamente a 1 m de recorrido del transecto). El conjunto de medias ha configurado el set de muestras de cada estación. Para cada estación se ha calculado la media y la desviación típica de cada variable. Por último, se ha analizado la relación entre los valores de las variables texturales y la densidad de *Chamelea gallina* mediante regresión lineal por mínimos cuadrados.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados de densidad de *C. gallina* en cada una de las estaciones de muestreo obtenidos de las pescas mediante draga hidráulica. Tal y cómo se pretendía, la densidad resultó tener una amplia variabilidad, desde la más baja de la E9 (2.42 ind·m<sup>-2</sup>) hasta la más alta de la E2 (87.03 ind·m<sup>-2</sup>), de manera que facilitó el estudio de la variación de las variables texturales con respecto a la densidad.

En cuanto a los resultados granulométricos, todas las estaciones presentaron características similares, clasificándose el sedimento como arenas muy finas, según la clasificación de Folk [12], en todos los casos. La alta similitud entre las distribuciones del tamaño de los granos de las diferentes estaciones de muestro es significativa para el estudio, pues permite descartar la granulometría como fuente principal de variabilidad entre las variables texturales que se calculan.

Tabla 1 – Densidad poblacional de *Chamelea gallina* en cada estación de muestreo.

Estaciones	Densidad <i>C. gallina</i> (ind·m <sup>-2</sup> )
E2	87.03
E3	37.76
E5	8.56
E6	34.63
E9	2.42

Una vez corregidos los ecogramas angulares igualando la línea de fondo y aplicado el análisis textural de imagen extrayendo un valor medio de cada variable textural cada 7 pings, se calculó la media y desviación típica de cada variable para cada estación de muestreo y se estudió la relación de las mismas con respecto a la densidad de *C. gallina* mediante ajuste por regresión lineal. Se observó que la relación entre 9 de las variables y la densidad eran estadísticamente significativas ( $p$ -valor < 0.05). Los resultados del ajuste por regresión lineal se presentan en la Tabla 2. En la Figura 2 se han representado los datos y el ajuste lineal de las 4 variables texturales cuyos ajustes mostraban un mayor coeficiente de determinación: Energía, entropía de la suma, entropía y lagunaridad.

Tabla 2 – Resultados de ajuste por regresión lineal de la media de las variables texturales (vT) respecto a la densidad de *C. gallina*. Se presentan los valores de la pendiente (a), la ordenada en el origen (b), el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ) y el  $p$ -valor.

vT	$vT = a \cdot \text{densidad (ind} \cdot \text{m}^{-2}) + b$			
	a	b	$R^2$	p-valor
Energía	$1.14e^{-04}$	0.11	0.96	0.0020
Contraste	$1.46e^{-03}$	5.27	0.49	0.1138
Correlación	$-6.09e^{-06}$	-0.25	-0.32	0.8713
Varianza	$5.65e^{-04}$	2.10	0.49	0.1156
Momento de las diferencias inversas	$1.39e^{-04}$	0.37	0.91	0.0072
Suma promedio	$-1.93e^{-03}$	5.77	0.56	0.0896
Varianza de la suma	$8.01e^{-04}$	3.12	0.42	0.1424
Entropía de la suma	$-2.39e^{-04}$	1.57	1.00	0.0000
Entropía	$-7.19e^{-04}$	2.36	0.95	0.0035
Varianza de la diferencia	$1.34e^{-03}$	1.50	0.94	0.0036
Entropía de la diferencia	$-1.23e^{-04}$	1.32	0.87	0.0131
Entropía relativa normalizada	$-6.16e^{-05}$	0.31	0.75	0.0371
Ángulo de la entropía	$-1.62e^{-04}$	0.74	0.95	0.0034
Lagunaridad	$9.31e^{-04}$	1.32	0.95	0.0028

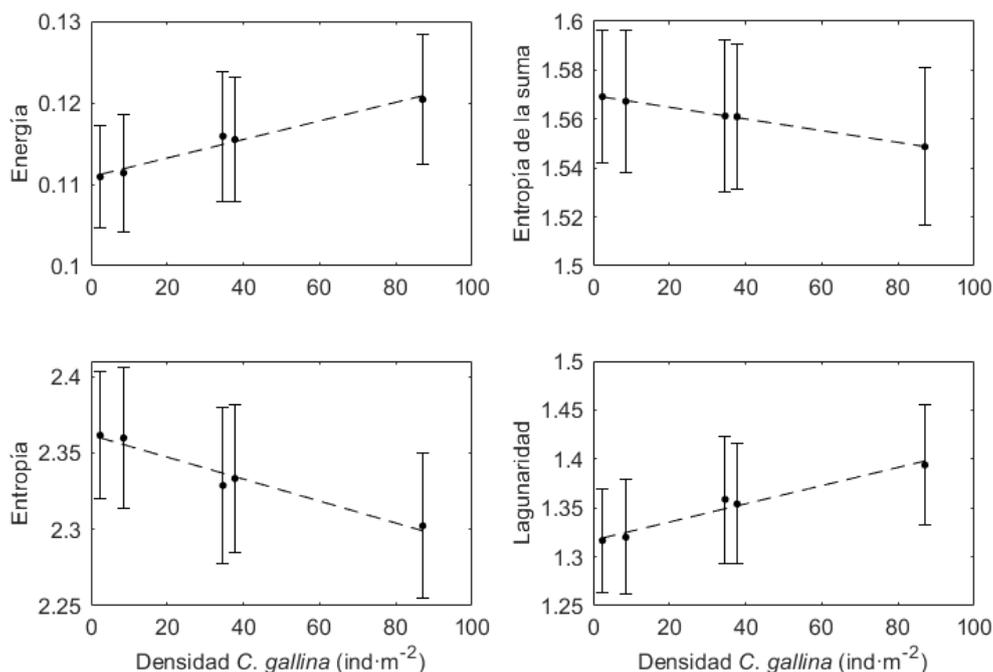


Figura 2 – Variación de 4 de las variables texturales respecto a la densidad de *Chamelea gallina* (medias, puntos negros; barras de error, líneas negras continuas) y ajuste del modelo lineal (línea negra discontinua).

Los resultados de regresión lineal muestran que existe una relación entre la densidad de *C. gallina* y 9 de las variables texturales. De este modo se establece que la densidad de individuos enterrados en el sedimento es capaz de afectar a las señales acústicas y por lo tanto se abre la posibilidad del uso de la acústica submarina para la estimación indirecta de la densidad de *C. gallina*.

Ha de tenerse en cuenta que, en este caso, las señales acústicas se han relacionado con densidades absolutas, sin embargo, esta relación puede cambiar debido a factores externos, como diferencias en las características del fondo, el tamaño de grano, la profundidad, la inclinación o la presencia de otras especies. Por esta razón la metodología se propone para evaluar la densidad de *C. gallina* comparativamente en la misma área a lo largo del tiempo o en diferentes áreas con condiciones similares. De la misma manera, se considera interesante el estudio del potencial de la metodología en un área de estudio más amplia, con mayor número de estaciones de muestreo y con una mayor variabilidad entre las mismas.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente estudio ha mostrado que existe una relación significativa entre 9 de las variables texturales extraídas de los ecogramas angulares y la densidad de *C. gallina*. De esta manera se ha validado una metodología de análisis que permite estimar, de manera comparativa, la densidad de *C. gallina* in situ a partir de la información angular proporcionada por una ecosonda de haz partido.

La relación entre las variables texturales de los ecogramas angulares y la densidad de *C. gallina* ha sido revelada para estaciones de muestreo cuya variabilidad ajena a la densidad de la especie era mínima. Por esta razón, por el momento, la metodología se propone para evaluar la densidad de *Chamelea gallina* comparativamente en la misma área a lo largo del tiempo o en diferentes áreas con similares condiciones del fondo marino.

Con el fin de avanzar en la línea de investigación, se considera conveniente el estudio de la metodología propuesta en un área de mayor extensión, con un mayor número de estaciones de muestreo y una mayor variabilidad entre los tipos de fondo. De este modo, la validación del método supondría la obtención de una herramienta eficiente y de amplia cobertura de estimación de densidad de *Chamelea gallina* que podría implementarse como complemento a la gestión de la pesquería.

## AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer a los armadores y a las tripulaciones de la draga hidráulica PITI II y del buque oceanográfico Montenuovo Dos por su trabajo y apoyo en los muestreos. Este estudio ha sido realizado por el Instituto Español de Oceanografía en colaboración con el Institut d'Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres de la Universitat Politècnica de València como asesor técnico en el marco del proyecto VENUS (Estudio integral de los bancos naturales de moluscos bivalvos en el Golfo de Cádiz para su gestión sostenible y la conservación de sus hábitats asociados) financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional dentro del programa Interreg España-Portugal (POPTec).

## REFERENCIAS

- [1] M. Delgado, L. Silva y A. Juárez, «Aspects of reproduction of striped venus *Chamelea gallina* in the Gulf,» *Fisheries Research*, vol. 146, pp. 86-95, 2013.
- [2] I. Martínez-Pita y O. Moreno, «A method to predict the reproductive cycle of the striped venus clam *Chamelea gallina* based on the influence of environmental factors: Application in its fishery management,» *Fisheries Research*, vol. 245, p. 106133, 2022.
- [3] A. Galisteo, F. González, S. Naranjo, L. Abreu, M. T. Tosa, C. Alonso, R. Cobo y D. Espinosa, «Producción Pesquera Andaluza: año 2011. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Secretaría General Técnica,» *Serv. De. Publ. Y Divulg. Sevilla*, 2012.
- [4] M. B. Gaspar, A. M. Pereira, P. Vasconcelos y C. C. Monteiro, «Age and growth of *Chamelea gallina* from the Algarve coast (southern Portugal): influence of seawater temperature and gametogenic cycle on growth rate.,» *Journal of Molluscan Studies*, vol. 70, nº 4, pp. 371-377, 2004.
- [5] L. Silva, M. Delgado, M. Cojan, S. Rodríguez-Rua, S. Román, R. Blanco, E. García, A. Terrón y A. Collado, «Research and management as key drivers in the evolution of the fishery of striped venus (*Chamelea gallina*) in the Spanish waters of the Gulf of Cádiz,» *XX SIEBM, Braga (Portugal)*, 9-12 September 2019.
- [6] J. T. Anderson, D. V. Holliday, R. Kloser, D. G. Reid y Y. Simrad, «Acoustic seabed classification: current practice and future directions,» *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, nº 6, pp. 1004-1011, 2008.

- [7] J. Simmonds y D. N. MacLennan, *Fisheries acoustics: theory and practice.*, Blackwell Science Ltd, 2005.
- [8] M. U. Gumusay, T. Bakirman, I. T. Kizilkaya y N. O. Aykut, «A review of seagrass detection, mapping and monitoring applications using acoustic systems,» *European Journal of Remote Sensing*, vol. 52, nº 1, pp. 1-29, 2019.
- [9] N. Sánchez-Carnero, D. Rodríguez-Pérez, N. Zaragoza, V. Espinosa y J. Freire, «Relative infaunal bivalve density assessed from split beam echosounder angular information,» *OCEANOLOGIA*, vol. 56, nº 3, pp. 497-521, 2014.
- [10] R. M. Haralick, K. Shanmugam y I. Dinstein, «Textural Features for Image Classification,» *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*, vol. 3, nº 6, pp. 610-621, 1973.
- [11] A. Morillo, S. Llorens, I. Pérez-Arjona, V. Puig y M. Rodilla, «Detección acústica de bivalvos con técnicas "NARROW-BAND" Y "BROAD-BAND" con ecosondas de haz partido y simulación numérica,» *Revista de Acústica*, vol. 50, nº 1, pp. 3-9, 2019.
- [12] R. L. Folk, «The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature,» *The Journal of Geology*, vol. 62, nº 4, pp. 344-359, 1954.