

ASPECTOS DE LA TOPOGRAFÍA SUBMARINA DE LA ISLA DE LA PALMA Y SU INFLUENCIA SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINA

Laura Martín García¹, Carlos Sangil¹, Laura Concepción¹,
Raúl Fernández de León¹ y Jacinto Barquín Díez²

Resumen: Existe una relación directa entre las características físicas del terreno que determinan el tipo de hábitat y la biodiversidad marina bentónica. Aspectos como la profundidad, la rugosidad, la pendiente o la orientación pueden determinar la presencia y abundancia de determinadas especies. En este trabajo se presenta la base de datos en forma de mapas temáticos de las características del terreno de los fondos marinos de La Palma hasta los 50 metros de profundidad así como el análisis de su influencia en las especies marinas que se distribuyen en las costas de la isla.

Palabras claves: sistema de Información Geográfica (SIG), bionomía, topografía submarina, heterogeneidad, La Palma, Islas Canarias.

INTRODUCCIÓN

Antes de la aparición de las primeras escrituras ya se utilizan los mapas para establecer distancias, recorridos o localizaciones. Es por ello que la cartografía ha resultado ser una herramienta indispensable, utilizada con innumerables finalidades informativas e intelectuales, pero principalmente actuando como imagen del territorio que facilita la orientación durante los traslados por distintos puntos del espacio, tanto marino como terrestre.

En los años 60 cuando se produce un drástico cambio en la utilidad de los mapas. Roger Tomlinson utilizó un sistema informático para crear mapas y analizar vastas cantidades de información en el inventariado y gestión de amplias áreas rurales de Canadá (Wright et al. 2000). Determinó que este nuevo sistema de integración de datos digital era la mejor alternativa para el desarrollo de planes de gestión y lo denominó «Sistema de Información Geográfica» (SIG)³.

Un SIG es un conjunto de software, hardware y datos, elaborados para adquirir, manipular, seleccionar, analizar, almacenar y representar datos georreferenciados, con el fin de resolver problemas de gestión y planificación del territorio.

¹ Consorcio Insular de la Reserva Mundial de la Biosfera La Palma. C/ Avenida Marítima 3, Santa Cruz de La Palma, cp. 38700. Islas Canarias, España. biodiversidad@lapalmabiosfera.es.

² Departamento de Biología Animal (Zoología), Universidad de La Laguna. C/ Astrofísico Francisco Sánchez s/n. La Laguna, cp. 3820. Islas Canarias. España.

³ Geographic Information System (GIS).

rio. Diversos autores, como Burrough & McDonnell (1998) o Suryanarayana (2005), dan distintas definiciones, aunque en su mayoría son coincidentes o complementarias.

Los SIG son herramientas muy versátiles que se vienen aplicando en distintos campos de la gestión de los recursos, sean naturales (conservación, reservas), o de origen humano (catastro, planificación, obras). En los estudios marinos se aplican con éxito en la acuicultura (Close et al. 2006) y en el manejo y conservación de espacios protegidos (Zharikov et al. 2005) entre otros usos.

En Canarias, una de las obras pioneras en la confección de mapas ecológicos para fines científicos es «Vegetación y Flora Forestal de las Canarias Occidentales» de Ceballos & Ortuño (1951), donde se exponen esquemas, mapas y perfiles de los principales tipos de vegetación potencial de las Canarias occidentales.

En el medio marino, una de las primeras iniciativas en la aplicación de la cartografía se llevó a cabo 1987 en el proyecto «Evaluación cuantitativa y cartografía de los campos de algas y praderas de fanerógamas marinas del litoral canario» (Wildpret et al. 1987). Posteriormente en 1997 con el proyecto «Levantamiento de la carta batimétrica y de bionomía bentónica de la futura reserva marina del Mar de las Calmas (El Hierro) y su integración en un sistema de información geográfica (SIG)» (Barquín et al. 1997) se aplicó la tecnología SIG y se trazaron las líneas batimétricas de la Reserva Marina del Hierro y se hicieron numerosos perfiles bionómicos mediante buceo autónomo. A pesar de utilizar métodos rudimentarios, dicho proyecto fue el primer intento de creación de un SIG marino en aguas de Canarias. Seguidamente, fue necesario elaborar una base de datos georreferenciados para el proyecto «Delimitación de las futuras Reservas Marinas de la Isla de la Palma» (Barquín et al. 1999), donde se estudió el litoral de Fuencaliente correspondiente a un perímetro de 20 Km para plantear diversas propuestas de reservas marinas.

Desde entonces, en Canarias se han realizado varios estudios cartográficos en el medio marino centrados en las Cartas Náuticas que publica el Instituto Hidrográfico de la Marina, los mapas de tipología de fondos de las Cartas de Pesca del Instituto Español de Oceanografía y los estudios geofísicos de la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente que incluyen datos batimétricos. También se llevaron a cabo distintos trabajos en zonas concretas y localizadas, principalmente para delimitar algunas propuestas de espacios marinos protegidos (Brito 2003), valorar las comunidades submareales, como asesoramiento técnico para evaluaciones de impacto o, para ampliar el conocimiento de los ecosistemas marinos. A partir del comienzo de este siglo El Ministerio de Medio Ambiente español comenzó a realizar los estudios cartográficos de la mayo-

ría de las islas del Archipiélago para obtener, entre otros datos, un reconocimiento ecológico marino del litoral y una cartografía batimétrica con detalle. Entre Agosto de 2003 y Marzo de 2004 se lleva a cabo el «Estudio Ecocartográfico de la Isla de La Palma» (VV.AA. 2005) en el que se emplearon equipos de precisión para obtener una imagen fidedigna de los parámetros físicos, oceanográficos y ambientales de los fondos litorales.

En el presente trabajo se utilizan diversas técnicas SIG como herramientas para analizar el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), obtenido a partir de los datos batimétricos del estudio «Ecocartográfico de la Palma» con el fin de obtener nueva información que nos puedan explicar la distribución de las comunidades marinas litorales entre las cotas 0 y 50 m de profundidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

El hardware utilizado fue un Intel® Core™2 CPU con un procesador 2.13 Ghz, 2,0 Gb RAM y disco duro de 298 Gb ROM. Para el análisis se utilizaron los programas ArcGis 9.2 y ArcView 3.2 comercializados por la casa Esri. Para la creación del Modelo Digital de Elevaciones (MDT) se utilizó el programa Surfer 8.

Área de estudio

La Isla de La Palma se encuentra en el noroeste del Archipiélago de las Islas Canarias (España). Para este estudio se analizaron los datos batimétricos de los fondos marinos de toda la Isla desde 0 hasta 50 metros de profundidad, que resultó abarcar un área total de 9138,2 Ha. Debido a su origen volcánico, las islas presentan una plataforma litoral escasa, especialmente las islas más jóvenes como es el caso de la Isla de la Palma. Además ha sufrido sucesivas erupciones volcánicas recientes especialmente en la zona sur de la Isla que crearon fondos abruptos y rocosos, de gran pendiente y elevada complejidad ambiental.

Datos de origen

Para este estudio fue imprescindible contar con los siguientes datos procedentes del Estudio Ecocartográfico de La Palma:

- **Modelo digital de elevaciones.** Para su creación se utilizó la base de datos batimétricos obtenidos con la sonda Multihaz en el estudio Ecocartográfico de La Palma, con una densidad mínima de 5 x 5 metros. El método de gridding utilizado para levantar el MDT fue «Nearest Neighbor».

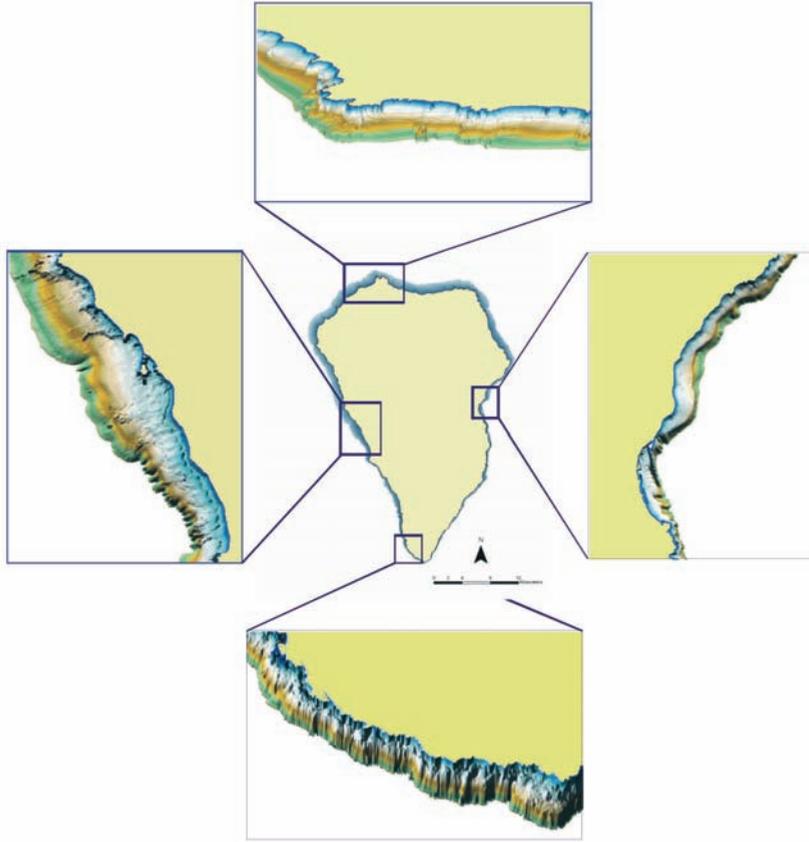


FIGURA 1.—Modelo Digital de Terreno (MDT) del litoral de la Palma desde 0 hasta 50 metros de profundidad y detalles de distintas áreas.

- **Tipo de sustrato.** Los distintos tipos de sustratos diferenciados en el Estudio Ecocartográfico, se agruparon en dos clases: sustratos blandos, que representan a los sustratos móviles (arenas finas, gruesas, muy gruesas y gravas) y los sustratos duros de mayor estabilidad, que incluyen las rocas y bolos.
- **Cartografía bionómica.** Se trata de una capa de información vectorial donde se representa la distribución de las comunidades marinas consignadas en la leyenda y encontradas durante los muestreos con cámara submarina. La relación de comunidades representadas fue:
 - Comunidades asentadas sobre sustrato arenoso.
 - Comunidades vegetales asentadas sobre sustrato rocoso.

- Comunidad de blanquizal con presencia del erizo diadema (*Diadema aff. antillarum*).
- Comunidad de coralígeno con presencia de coral negro (*Anthipatella wollastoni*)
- Comunidad de Anguilas jardineras (*Heteroconger longissimus*).
- Comunidad de *Halophila decipiens*.
- Comunidad de *Caulerpa prolifera* con presencia de la *Halophila decipiens*.
- Comunidad de coralígeno con presencia de gorgonias rojas y amarillas (*Leptogorgia ruberrina* y *L. viminalis*).

A partir de la integración de estas capas de información en un SIG es posible obtener variables nuevas sobre las características del fondo que puedan contribuir explicar la distribución de las comunidades marinas. Los parámetros obtenidos y analizados fueron la profundidad, la pendiente, la orientación, la fragmentación y la rugosidad.

La orientación es la dirección en la cual la pendiente es máxima en un punto determinado de la superficie. Es un parámetro ampliamente utilizado en estudios cartográficos del medio terrestre (Kremen et al., 1999; García-Rodríguez et al., 2008).

El índice de fragmentación, desarrollado por Monmonier (1974), describe la distribución espacial de clases temáticas para una determinada capa de información en un área definida. Es una herramienta GIS aplicada en la estimación de la complejidad ambiental. En este caso se aplicó con la profundidad para establecer aquellas zonas donde se producían mayores o menores cambios de profundidad, de esa forma se consigue determinar el nivel de heterogeneidad de la zona.

Para el cálculo de la rugosidad existen en la bibliografía diferentes técnicas SIG para obtener la rugosidad del terreno (Ardrón 2002; Felicísimo 1994). Sappington et al. (2007) creó el vector de medida de la rugosidad (VRM) para su uso en SIG que incorpora la heterogeneidad de la pendiente y el aspecto, utilizando la técnica de Hobson (1972). La medida de la rugosidad utiliza vectores normales (ortogonales) de dispersión tridimensionales sobre la faceta plana del terreno.

La biodiversidad se calculó con el índice de Shannon-Wiener (H') para cada una de las cuadrículas utilizando la cartografía bionómica del Estudio Ecocartográfico.

El conjunto de datos recopilados y generados se integraron dentro de cada una de las cuadrículas en las que se subdividió el litoral de La Palma desde 0 hasta 50 metros de profundidad de 500 metros de lado y utilizadas como unidad de análisis. Estas cuadrículas representan los valores medios de cada uno de las variables estudiadas.

RESULTADOS

Profundidad (Fig. 2A). Los fondos de La Palma carecen de una plataforma desarrollada especialmente en las zonas sur y sureste de la Isla, donde en apenas 150 metros de distancia a la costa se alcanza la profundidad de 50 metros. En cambio en el Norte es necesario recorrer 1500 metros para alcanzar esta cota.

Tipo de sustrato. El 68,6% de los fondos de la Isla son rocosos. Los fondos de arena se localizan principalmente en noreste de la Isla, frente a las costas de Puntallana y Santa Cruz de La Palma, y en el norte y noroeste de la isla, en el litoral de Puntagorda y Tijarafe. Sin embargo, los fondos del sur y sureste de la Isla son principalmente rocosos. Por otro lado, existe una relación entre el tipo de sustrato y la batimetría. Los primeros metros del litoral están ocupados principalmente por roca mientras que a mayor profundidad la superficie dominada por las arenas incrementa (Fig. 3B y Tabla 1).

Pendiente (Fig. 2B). El rango de variación de la pendiente en la isla es de 0 a 41,6°, con un valor medio de 6,7°. Los fondos más inclinados se encuentran en el litoral del este del municipio de Fuencaliente con un valor medio aproximado de 20°. Por el contrario, la vertiente norte de la isla es la que posee la plataforma menos inclinada con un valor medio de 3,0°.

Orientación (Fig. 2C). Puesto que la dirección de la máxima pendiente se corresponde con la orientación del litoral, los valores de orientación de los fondos se deben corresponder con la vertiente de la isla en la que se encuentra. Sin embargo, la zona norte de la isla presenta mayores diferencias en los valores de orientación, incluso con áreas cuya superficie se encuentra orientada hacia el sur. En los posteriores análisis se comprueba que existe una correlación significativa entre este parámetro y la distribución de algunas comunidades, lo que indica que éstas se concentran en determinadas vertientes de la Isla.

Fragmentación (Fig. 2D). El valor del índice de fragmentación varía entre 0 y 1. El valor máximo alcanzado en el área de estudio fue de 0,49, localizado en el litoral de Fuencaliente, Villa de Mazo y Los Cascajos. En la zona de El Mudo y Juan Adalid, en el litoral de Garafía, alcanzaron un valor de fragmentación elevado de 0,40. Las zonas menos fragmentadas se concentran en el norte de la Isla.

Rugosidad (Fig. 2E). Este parámetro presenta un rango de variación en la Isla de 0,000 a 0,036. En general, este parámetro coincide con el índice de fragmentación pero restringe las zonas de mayor rugosidad al litoral de Fuencaliente, especialmente en la Punta y en la zona del Puertito hasta la Punta del Prois en Mazo. También el litoral de Los Llanos de Aridane y en Juan Adalid y El Mudo en Garafía presentaban valores elevados de rugosidad y en menor medida en el

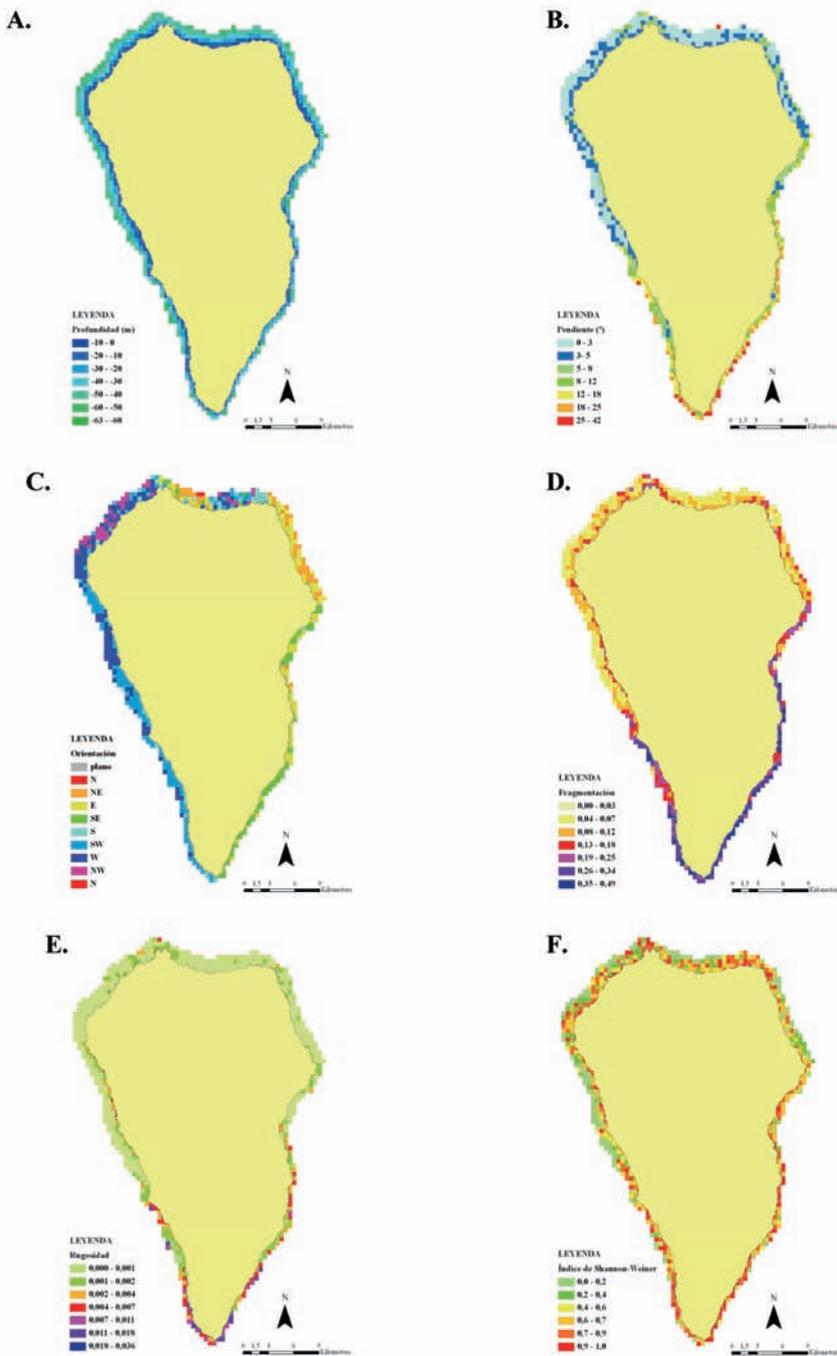


FIGURA 2.—Mapas donde se representan cada una de las variables estudiadas integradas en las cuadrículas.

litoral de Breña Baja y Alta. Como ocurre con la fragmentación, las áreas menos rugosas están en el Norte.

Biodiversidad (Fig. 2F). Los valores más elevados se encontraron en el litoral de Fuencaliente, Villa de Mazo, el norte de la Isla, especialmente en las puntas de Garafía y Barlovento.

Las relaciones entre estos parámetros topológicos y las comunidades bentónicas se explican en la tabla 1.

TABLA 1
Índices de correlación de Pearson entre las variables topológicas, la biodiversidad y las comunidades submareales

	Profundidad	Pendiente	Orientación	Fragmentación	Rugosidad	Sustrato duro	Sustrato blando
Índice de Shannon-Weiner (H')	,391(**)	,215(**)	-,050	,405(**)	,191(**)	,300(**)	-,348(**)
Com. asentadas sobre sustrato arenoso	-,140(**)	-,284(**)	,210(**)	-,267(**)	-,195(**)	-,152(**)	,462(**)
Com. de anguilas jardineras	-,369(**)	-,188(**)	-,024	-,174(**)	-,175(**)	-,286(**)	,571(**)
Com. de <i>Halophila decipiens</i>	-,021	,009	-,063	,025	-,016	-,028	,082(*)
Com. de <i>Caulerpa prolifera</i> y <i>Halophila decipiens</i>	-,035	-,010	-,092(*)	,026	-,044	-,079(*)	,135(**)
Com. vegetales asentadas sobre sustrato rocoso.	,262(**)	,043	-,083(*)	,115(**)	,094(*)	,249(**)	-,271(**)
Com. de blanquiazal	,109(**)	-,073	,192(**)	,032	-,068	,533(**)	-,133(**)
Com. de coral negro	-,126(**)	,173(**)	,078(*)	,167(**)	,106(**)	,262(**)	-,073
Com. de gorgonias rojas y amarillas	-,127(**)	-,071	-,064	-,055	-,052	,210(**)	-,051

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

DISCUSIÓN

La biodiversidad y la distribución de las comunidades mostraron estar correlacionadas al menos con alguno de los parámetros topológicos analizado. Las variables más determinantes en la distribución de las comunidades son el tipo de sustrato y la profundidad.

El índice de diversidad de Shanon-Wiener (H') se encontró correlacionado positivamente con la profundidad, la pendiente, la fragmentación, la rugosidad y el tipo de sustrato. Por lo tanto, la biodiversidad se concentra principalmente en fondos poco profundos de sustratos duros de elevada pendiente, muy fragmentados y rugosos.

Las comunidades asentadas sobre sustrato arenoso se encuentran condicionadas por todas las variables, especialmente por la pendiente y la orientación. La

correlación entre la fragmentación y la rugosidad fue significativa pero con un valor negativo, es decir que los fondos arenosos se distribuyen en zonas poco rugosas y fragmentadas. No se encuentran limitados por la profundidad, ya que se pueden encontrar tanto en cotas altas como bajas, pero sí se trata de fondos de baja pendiente, principalmente entre 0° y 5°.

Los fondos de anguilas jardineras también presentaron correlación elevada con todas las comunidades, aunque son la profundidad y la presencia de fondos de arena las variables más importantes en su distribución. Las anguilas jardineras muestran predilección por los fondos profundos desde la cota de los 15 m (fig. 3B) a partir de la cual aumentan su abundancia hasta alcanzar valores máximos a los 50 m de profundidad. El estudio sólo se realizó hasta esta profundidad pero es probable que esta especie alcance mayor profundidad.

Las comunidades formadas por los macrofitos *Halophila decipiens* y *Caulerpa prolifera* fueron las que presentaron menor relación con las variables analizadas, únicamente con el tipo de sustrato y, en menor medida, con la orientación. Sin embargo, es probable que los valores no resulten significativos por la baja extensión que presentan estas comunidades en la Isla. En las figuras 3A y 4A la se observa que estas comunidades se distribuyen sobre fondos arenosos a partir de

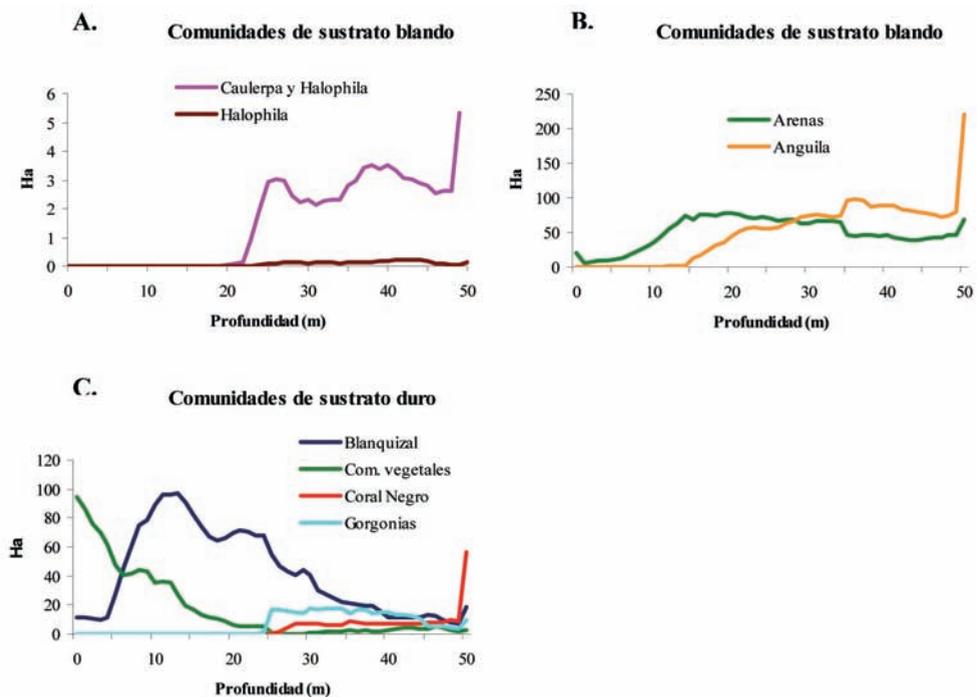


FIGURA 3.—Hectáreas ocupadas por cada comunidad en función de la profundidad (m).

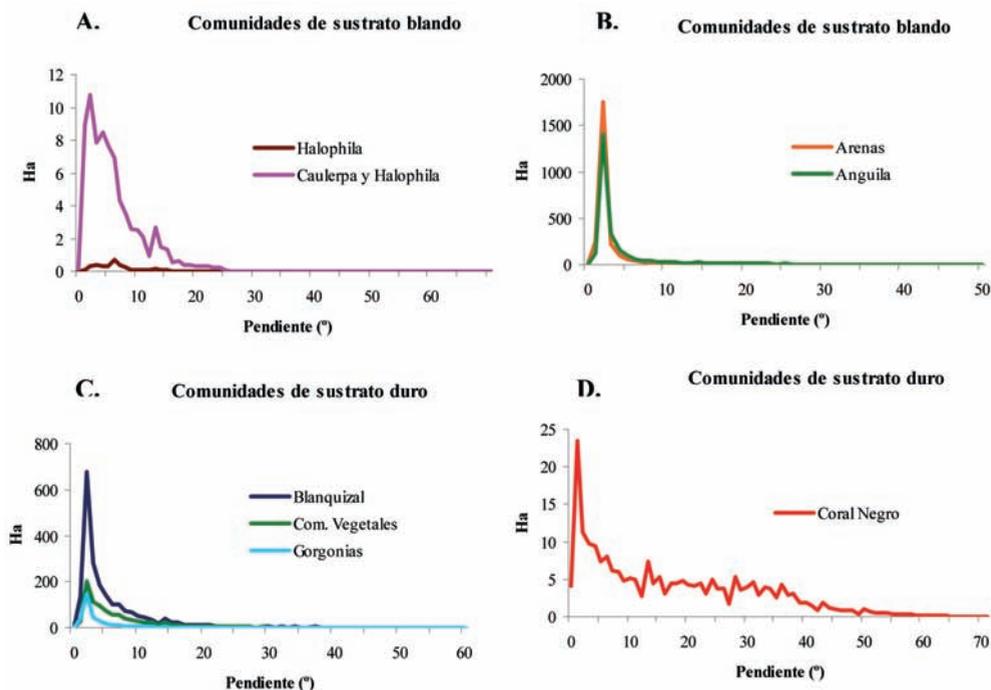


Figura 4.—Hectáreas ocupadas por cada comunidad según el grado de pendiente (°).

los 20 metros de profundidad, con pendientes que alcanzan los 11° en el caso de *Halophila decipiens* y hasta 27° en las comunidades de *Caulerpa prolifera*. En ambos casos los valores máximos se alcanzaron a los 3 ó 5° de pendiente.

Las comunidades vegetales asentadas sobre sustrato rocoso también se encuentran determinados por la profundidad y la presencia de fondos rocosos principalmente, aunque la correlación también fue significativa con la fragmentación y la rugosidad en menor medida. Se distribuyen en fondos de roca de poca pendiente, de 3° aproximadamente, y hasta los 25 metros de profundidad, aunque los valores máximos de ocupación los alcanzan en los primeros 5 m.

Los blanquiazales se distribuyen en fondos rocosos de poca profundidad, principalmente en la vertiente noroeste de la Isla, siendo estas las variables, la profundidad y la orientación, más determinantes en su distribución por el litoral de la Isla. Se distribuyen en un amplio rango de profundidades entre 5 y 50 m, y alcanza sus valores máximos de ocupación entre los 10 y 20 m.

Las variables más importantes en la distribución de las comunidades de coral negro son la profundidad, la pendiente, la fragmentación y la rugosidad. El ambiente característico de estas comunidades son los fondos rocosos profundos

a partir de los 25 m, de elevada pendiente, muy fragmentados y rugosos. Uno de los aspectos más característicos de estas comunidades es que pueden desarrollarse en fondos de hasta 55° de pendiente que corresponden a veriles o paredes muy inclinadas.

Las comunidades de coralígeno con gorgonias rojas y amarillas sólo se encuentran influidas por el tipo de sustrato y la batimetría, puesto que se encuentran generalmente sobre fondos duros (rocas, bloques y piedras) a partir de los 25 metros de profundidad. El resto de parámetros no son significativos para su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este trabajo se encuentran incluidos en el proyecto «MARCOPALMA: Sistema de Planificación y Ordenación del medio litoral de la isla de La Palma». Este proyecto cuenta con la financiación de la Fundación Biodiversidad (Ministerio de Medio Ambiente y Rural Marino), el Consorcio Insular de la Reserva Mundial de la Biosfera de La Palma, el Gobierno de Canarias y el Cabildo Insular de La Palma.

BIBLIOGRAFÍA

- BARQUÍN, J., G. GONZÁLEZ, M. RODRÍGUEZ, A. CRUZ, C.A. HERNÁNDEZ, A. SANCHÓ, A. BRITO & P. PASCUAL, 1999. *Delimitación de las futuras reservas marinas de la Isla de La Palma. Informe Final*. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de Canarias. 94 pp.
- BARQUÍN-DIEZ, J., A. BRITO, J. NÚÑEZ, F. LA ROCHE, J. J. BACALLADO, J. REYES, I. J. LOZANO, G. GONZÁLEZ, J. M. FALCÓN & A. BÁEZ 1997. *Informe final del proyecto de investigación: «Levantamiento de la carta batimétrica y de bionomía bentónica de la futura reserva marina del Mar de las Calmas (El Hierro) y su integración en un sistema de información geográfica (SIG)»*. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de Canarias. Departamento de Biología Animal (Zoología y Ciencias Marinas), Universidad de La Laguna. 94 pp.
- ARDRON J. 2002. «A GIS Recipe for Determining Benthic Complexity». En Breman J. *Marine Geography: GIS for the Oceans and Seas*. ESRI. California. pp. 169-175.
- BRITO, A. 2003. *Resultados del Proyecto de investigación «Estudio sobre la delimitación y caracterización ecológica de los espacios propicios para la creación de reservas marinas en la isla de La Gomera»*. Consejería de Agricultura y Pesca del Gobierno de Canarias. Sin publicar.
- BURROUGH, A. & MCDONNELL, R. A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. 299 pp.
- CEBALLOS L.& ORTUÑO, F., 1951. *Vegetación y flora forestal de las Canarias Occidentales*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 433 pp.

- CLOSE, C. H. & G. BRENT-HALL. 2006. «A GIS-based protocol for the collection and use of local Knowledge in fisheries management planing». *Journal of Environmental Management* 78: 341-352.
- FELICÍSIMO, A. M. 1994. *Modelos Digitales del Terreno*. Ed. Pentalfa. Oviedo. 118 pp.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, M. J., J.A. MALPICA, B. BENITO & M. DÍAZ. 2008. «Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression». *Geomorphology*. 95: 172-191.
- HOBSON, R. D. 1972. *Surface roughness in topography: quantitative approach. Spatial analysis in geomorphology*. R. J. Chorley, editor. Harper and Row, New York, USA. 221-245.
- KREMEN, C., V. RAZAFIMAHATRATRA, R. P. GUILLERY, J. RAKOTOMALALA, A. WEISS & J. RATSISOMPATRARIVOS. 1999. «Designing the Masoala National Park in Madagascar Based on Biological and Socioeconomic Data». *Conservation Biology*, 13 (5): 1055-1068
- MONMONIER, M. S., 1974. «Measures of Pattern Complexity for Choropleth Maps». *The American Cartographer* 1 (2): 159-169.
- SAPPINGTON, J. M., K. M. LONGSHORE & D. B. THOMPSON, 2007. «Quantifying Landscape Ruggedness for Animal Habitat Analysis: A Case Study Using Bighorn Sheep in the Mojave Desert». *Journal of Wildlife Management*. 71: 1419-1426.
- SURYANARAYANA, A., V.S. AMIT. 2005. «GIS analysis for the marine enviromental data off Karnataka coast». *Environment International*, 32: 180-190.
- VV.AA. 2005. Informe del proyecto «Estudio ecocartográfico del litoral de la Isla de La Palma (Tenerife)». Dirección General de Costas. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- WILDPRET DE LA TORRE, W., M. C. GIL-RODRÍGUEZ & J. AFONSO-CARRILLO. 1987. *Evaluación cuantitativa y cartografía de los campos de algas y praderas de fanerógamas marinas del litoral canario. Consejería de Agricultura y Pesca del Gobierno de Canarias*. Sin publicar.
- WRIGHT, D. & D. BARTLETT, 2000. *Marine and Coastal Geographical Information Systems*. Taylor & Francis. London. 315 pp.
- ZHARIKOV, Y., G. A. SKILLETER, N. R. LONERAGAN, T. TARANTO & B. E. CAMERON. 2005, «Mapping and characterising subtropical estuarine landssapes using aerial photography and GIS for potential application in wildlike conservation and management». *Biological Conservation*, 125: 87-100.