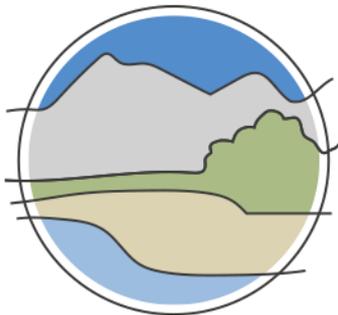




DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS DIFERENTES TIPOS DE HÁBITAT COSTEROS

Francisco Javier Gracia
María Aranda
Augusto Pérez-Alberti





DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS TASAS DE CAMBIO DEL PARÁMETRO 'SUPERFICIE OCUPADA' POR LOS DIFERENTES TIPOS DE HÁBITAT COSTEROS





Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

El presente documento fue realizado en el marco del proyecto *Establecimiento de un sistema estatal de seguimiento del Estado de Conservación de los Tipos de Hábitat en España*, promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollado entre 2015 y 2017.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Realización y producción

Tragsatec

Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo² y Juan Carlos Simón Zarzoso²

Autores

Francisco Javier Gracia Prieto³

María Aranda García³

Augusto Pérez Alberti⁴

Coordinación y revisión editorial

Olga Lamas Murúa²

Jara Andreu Ureta²

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan²

¹ Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

² Tragsatec. Grupo Tragsa

³ Universidad de Cádiz (UCA)

⁴ CRETUS. Universidade de Santiago de Compostela

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Gracia F J, Aranda M & Pérez-Alberti A. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los diferentes tipos de hábitat costeros. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 87 pp.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 638-19-088-X

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ESCALAS DE TRABAJO.....	8
3. FUENTES DE DATOS.....	10
4. DELIMITACIÓN DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LOS TIPOS DE HÁBITAT PRESENTES EN EL MEDIO COSTERO	17
4.1. Plataformas rocosas y acantilados.....	28
4.2. Grandes calas y bahías poco profundas.....	37
4.3. Playas.....	38
4.3.1. Playas estuarinas y llanos arenosos intermareales.....	43
4.3.2. Cordones relictos y <i>cheniers</i>	44
4.3.3. Arribazones y bermas de tormenta.....	44
4.3.4. Depósitos de desbordamiento	44
4.4. Dunas	44
4.5. Marismas.....	46
4.6. Marjales y lagunas costeras.....	48
4.7. Salinas	49
4.8. Estuarios mareales y rías.....	50
4.9. Deltas mediterráneos.....	57
5. REFERENCIAS	59
Bibliografía adicional de interés.....	60
ANEXO I. Cálculo de las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para al menos un tipo representativo de cada grupo de tipos de hábitat costeros	62
I.1. Introducción.....	62
I.2. Acantilados y plataformas rocosas.....	63
I.3. Grandes calas y bahías poco profundas.....	68
I.4. Playas.....	70
I.4.1. Playas estuarinas y llanos arenosos intermareales.....	71
I.4.2. Cordones relictos y <i>cheniers</i>	71
I.4.3. Arribazones y bermas de tormenta.....	72
I.4.4. Depósitos de desbordamiento	73
I.5. Dunas	74

I.6.	Marismas.....	77
I.7.	Lagunas costeras, marjales o albuferas	81
I.8.	Salinas	81
I.9.	Estuarios mareales y rías.....	82
I.10.	Deltas mediterráneos.....	84
I.11.	Referencias	87
	Bibliografía adicional de interés	87



1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los ecosistemas o tipos de hábitat costeros pueden diferenciarse los rocosos y los sedimentarios. Entre los tipos de hábitat costeros rocosos destacan los acantilados y las plataformas. Los primeros son laderas existentes en la costa con diferente grado de inclinación, modeladas sobre variadas formaciones rocosas. Generalmente están en recesión debido a la erosión marina en su base y la derivada del impacto de los agentes climáticos en su fachada de enlace con el continente. Existen acantilados que tienen en su frente plataformas expuestas a las mareas. Otras veces están asociados a playas de arena, cantos o bloques o se hunden directamente en el mar. Si al referirnos a acantilados marinos se entiende solo aquellas formas modeladas directamente por la acción marina, esto supondría que solamente se podría caracterizar como marina la base de lo que popularmente se conoce como acantilado, o sea cualquier ladera en la orilla del mar y, consecuentemente, afectada en mayor o menor medida por la acción del oleaje.

El geógrafo francés André Guilcher (1963-1966) definía un acantilado como una ladera empinada (15°) y de altura variable, cubierta de vegetación, creada por la erosión marina a lo largo de una costa y cuya base está conectada por lo general a una plataforma de abrasión. Esta definición perduró durante mucho tiempo. Más reciente es la de Bird (2008), quien define acantilado como una pendiente pronunciada (generalmente superior a 40° , a menudo vertical y a veces saliente), que permite ver las formaciones rocosas. Para él, la mayoría de los acantilados costeros son fruto de la acción abrasiva de las olas, aunque algunos se habrían formado por el movimiento de fallas o por erosión fluvial o glacial. A las estrechas planicies rocosas existentes en la fachada costera se les denomina plataformas costeras (*shore platforms*), habiéndose abandonado el término plataformas de abrasión dado que en su modelado intervienen tanto los procesos mecánicos, caso de la abrasión o del arranque, como otros derivados de la alteración química o biológica.

Por su parte, los ecosistemas o tipos de hábitat costeros sedimentarios incluyen un conjunto de ambientes naturales en el contacto continente-océano caracterizados por la acumulación de partículas de diverso tamaño (ligada a la acción del viento, del oleaje, de las mareas o de las corrientes), así como áreas húmedas conectadas directa o indirectamente con el mar y genéticamente relacionadas con él. Los agentes físicos dinámicos que actúan sobre la franja litoral condicionan el estado energético, los aportes de nutrientes, la conectividad con otros ambientes, etc., de tal modo que constituyen factores limitantes de primera importancia para la generación, desarrollo y mantenimiento de un tipo de hábitat u otro (Davies 1973; Flor 2004). Así, las costas dominadas por el oleaje están sometidas a procesos marinos energéticos, cuya actuación puede dar lugar a la sedimentación de depósitos arenosos en forma de playas, pero no a la sedimentación de partículas arcillosas. Los depósitos arenosos pueden luego ser afectados por la acción eólica para originar dunas. En ambientes restringidos y protegidos de la acción del oleaje, las mareas aportan partículas finas de carácter arcilloso, cuya acumulación genera llanuras de fango que son luego colonizadas por la vegetación dando lugar a marismas. La dinámica litoral, muy activa, puede producir el cierre de entrantes costeros y la generación de lagunas, albuferas y humedales costeros de distinto tipo. Por último, la llegada al mar de corrientes fluviales da lugar a ecosistemas mixtos específicos, como deltas y estuarios, cuya dinámica está asociada a la relación entre los aportes fluviales, hídricos y sólidos, y los de origen marino.



Toda esta compleja casuística está relacionada con el carácter azonal de los ecosistemas costeros, no condicionados por el tipo de clima y ligados a procesos físicos naturales muy dinámicos y variables. A ello hay que añadir la interacción con todo tipo de ambientes y procesos continentales. El resultado es una amplísima variedad de ecosistemas y hábitat, así como un gran dinamismo y capacidad de cambio a corto, medio y largo plazo. Este fuerte dinamismo puede hacer que, en cuestión de meses o años, una playa aparezca o desaparezca, se genere o se destruya un sistema dunar, etc.

Conviene resaltar que en todos estos ecosistemas la naturaleza y dinámica del substrato es el factor limitante más importante. Si la costa recibe sedimento de manera estable y continuada, los distintos tipos de hábitat costeros se desarrollarán de manera natural (si no interviene de manera dramática la acción humana) ocupando la superficie: sucesiones de plantas, organismos excavadores, aves costeras nidificantes, pequeños invertebrados, etc., harán que en poco tiempo la biodiversidad crezca rápidamente, favorecida por los continuos aportes de nutrientes y por substratos favorables a la colonización. Sin embargo, si hay déficit sedimentario, las playas, dunas y marismas retrocederán y se erosionarán, y con ellas los tipos de hábitat desaparecerán inexorablemente.

Existen numerosos métodos para la delimitación del parámetro 'Superficie ocupada' por los diferentes tipos de hábitat litorales, tanto para costas rocosas como sedimentarias. Algunos de ellos aparecen citados en: Anders & Byrnes (1991), Danforth & Thieler (1992), Dolan *et al.* (1992), Garrote & Garzón (2004), Gibb (1978), Lorenzo *et al.* (2003) o Norcross *et al.* (2002).

2. ESCALAS DE TRABAJO

La definición de la superficie ocupada por un tipo de hábitat requiere su cartografía y el trazado de los límites que lo diferencian de otros tipos de hábitat limítrofes. Se trata, por tanto, de identificar el tipo de hábitat, distinguirlo de otros que estén en contacto con él, y delimitar este contacto mediante un sistema de representación cartográfica adecuado que permita asignar atributos a los polígonos diferenciados, calcular su extensión con una precisión adecuada, y superponer la extensión que va adquiriendo en fechas sucesivas, de cara a calcular las correspondientes tasas de cambio.

Para ello es necesario utilizar bases cartográficas georreferenciadas, ya sea un mapa topográfico o, mejor, una ortofotografía aérea vertical. Sobre esta base se deben trazar los límites de los tipos de hábitat y caracterizar los correspondientes polígonos, lo que se consigue mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (en adelante GIS, del inglés *Geographic Information System*), ya se trate de ArcGIS, gvSIG, QuantumGIS, etc.

Las dimensiones naturales de los distintos tipos de hábitat son muy diferentes y por ello requieren de un nivel de precisión y detalle que varía según el tipo de hábitat (Figura 1). En ese sentido, se propone una escala de trabajo específica para cada tipo de hábitat, que se refleja en la Tabla 1. Se han elegido cuatro escalas básicas, acordes con las dimensiones y alcance de los tipos de hábitat costeros y que, sin ser condicionantes numéricos inamovibles, sí suponen cuatro niveles de detalle que el técnico debe tener en consideración:



- **1:50.000** para tipos de hábitat de gran extensión en los que, o bien no se precisa de un gran nivel de resolución, o bien la información disponible no permite afinar con más detalle. Este es el caso de las praderas de fanerógamas marinas, como *Posidonia oceanica*, o las grandes calas y bahías poco profundas.
- **1:25.000** para tipos de hábitat de extensión mediana donde el nivel de resolución no es muy exigente. Se trata de los estuarios, depresiones intradunares o sistemas dunares cubiertos por bosques. En el caso de las depresiones intradunares podría ser necesario en algún caso aumentar el nivel de detalle.
- **1:10.000** para la mayor parte de los tipos de hábitat costeros, ya que habitualmente su extensión es reducida. En el caso de los acantilados y de las playas se trata de bandas o franjas de unas pocas decenas de metros como máximo, si bien excepcionalmente algunas playas pueden superar el centenar de metros, especialmente en el litoral atlántico. En el caso de dunas, lagunas costeras y marismas esta escala viene impuesta por la dificultad de diferenciar tipos de hábitat distintos a escalas mayores, ya que a menudo se distinguen por el tipo de cobertura vegetal dominante, cuyos parches o manchas pueden alcanzar a veces apenas unas pocas decenas de metros. Esta escala busca un equilibrio de compromiso entre el máximo detalle posible y la consideración práctica de poder cartografiar de manera sistemática largos tramos costeros en un tiempo razonable.
- **1:5.000** para algunos tipos de hábitat específicos que requieren un gran detalle o que aparecen habitualmente de manera muy aislada. Tal es el caso de la mayoría de las costas rocosas, algunas cubiertas vegetales en pequeñas franjas sobre acantilados, las cuevas semisumergidas, los parches aislados de vegetación en playas y marismas, o las pequeñas manchas de vegetación pionera sobre dunas embrionarias.

Las cuatro escalas son meramente indicativas y será la calidad de la fuente de información la que determine finalmente la precisión que se puede alcanzar en la cartografía de cada tipo de hábitat. Dado que debe trabajarse con GIS, el mapa resultante podrá ampliarse o reducirse hasta alcanzar la escala final de lectura más adecuada para poder obtener una imagen de trabajo que combine facilidad de interpretación y rapidez de elaboración.



Figura 1 Cuatro escalas distintas de trabajo en cartografía de tipos de hábitat litorales: (A) vegetación pionera formando dunas embrionarias en el delta del Ebro; (B) pequeña laguna sobre llanura marismosa en Doñana; (C) vegetación casmofítica en acantilado sobre rocas carbonatadas en Cantabria; (D) estuario en la costa asturiana. Autores: Francisco Javier Gracia y Augusto Pérez Alberti.

A continuación, para facilitar la comprensión y aplicación de estos métodos se explican con algo más de detalle las fuentes de datos.

3. FUENTES DE DATOS

En la Tabla 1 se incluye una columna con el tipo de fuentes de datos más convenientes para realizar las cartografías de las superficies ocupadas. Se recomiendan cinco fuentes principales de datos para la elaboración de las distintas cartografías:

1. **Imágenes de satélite.** Convenientes para elaborar cartografías a escalas 1:50.000 y 1:25.000, si bien con ellas se puede alcanzar un elevado grado de resolución comparable al de muchas ortofotografías. Son también muy útiles para la cartografía de elementos marinos poco profundos, como islotes y farallones. Una fuente de información muy accesible es la aplicación *Google Earth Pro*, que además permite acceder a imágenes históricas de las últimas décadas, con lo que se facilita la cartografía de la superficie ocupada en distintos momentos y establecer su tendencia evolutiva.



2. **Ortofotografía y LiDAR (*Light Detection and Ranging*)**. Ventajoso para cartografiar la mayoría de los tipos de hábitat costeros con suficiente detalle (Chust *et al.* 2008). Está disponible en distintas plataformas y repositorios, tanto internacionales (*Google Earth Pro*), como nacionales como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Sistema de Información Geográfica de parcelas agrícolas (SIGPAC), etc., y autonómicos (institutos cartográficos de Cataluña, Comunitat Valenciana, Andalucía, etc.). Aunque el acceso a estas fuentes de datos es relativamente sencillo, su manejo requiere ciertos conocimientos sobre las bases de datos y programas específicos para su tratamiento. Se recomienda el uso de los datos LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA¹, dirigido por el IGN), cuyo vuelo de 2015 está disponible con una resolución de 0,5 m/píxel.
3. **Fotografía aérea 3D**. En algunos casos es conveniente conocer el relieve de las formas, ya que su volumen permite delimitar correctamente la extensión de un determinado tipo de hábitat. Es preciso entonces disponer de la visión tridimensional o estereoscópica de la fotografía aérea. Se pueden descargar fotografías aéreas en 3D de distintos repositorios autonómicos; su visionado necesita del uso de un estereoscopio. No obstante, para mayor facilidad se recomienda el uso del visor 3D del IGN², que da acceso a fotografías aéreas 3D de todo el territorio nacional (Figura 2), y cuya visión requiere únicamente de unas gafas 3D anaglíficas (filtro azul en el visor derecho, filtro rojo en el visor izquierdo), fáciles de conseguir. La única limitación del programa, que se opera *online*, es la necesidad de un sistema operativo Windows 7.0 o superior.
4. **Drones o vehículos aéreos no tripulados** (UAV, del inglés *Unnamed Aerial Vehicle*). Los drones son aeronaves tripuladas por control remoto, cuya utilización requiere de una formación adecuada, y su vuelo solo puede realizarse en espacios autorizados y respetando las medidas de seguridad. Su uso está regulado desde el 4 de julio de 2014 por el Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia y, posteriormente, por la Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia.

En los últimos años, los drones se han convertido en una de las herramientas de obtención de información muy útil y eficaz que ahorra tiempo, reduce los costes y genera resultados muy satisfactorios.

La fotogrametría mediante drones permite la generación de precisos Modelos Digitales del Terreno (MDT) y de Superficies (MDS). La ingente cantidad de datos obtenidos por los drones es procesada por *software* profesionales de restitución fotogramétrica para la obtención de modelos digitales y así poder exportarlos mediante herramientas GIS. La precisión de los GPS (del inglés *Global Positioning System*) de a bordo es de varios metros (incluso de 10-20 m), por lo que las precisiones de centímetros en el trabajo final deben de obtenerse mediante puntos de control en el terreno. Estos puntos de control deben repartirse homogéneamente sobre el territorio objeto de estudio para obtener el mínimo error posible, además de realizar un reconocimiento del terreno para identificar las formas y elementos característicos del territorio.

A su vez, la elección de la escala es fundamental. La escala apropiada será la que permita ver todos los elementos deseados claramente, siempre teniendo en cuenta que el marco legal

¹ <https://pnoa.ign.es/>

² <http://www.ign.es/3D-Stereo/>



español no permite volar por encima de 120 m. Dependiendo de los objetivos que se quieran alcanzar, la captura de fotografías puede ser a través de cámaras digitales convencionales, con una focal fija o de una cámara multispectral que capte la radiación en otras bandas del espectro electromagnético.

Una vez recogidos los datos se exportan a *software* especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos.

En cualquier caso, a pesar de la utilidad de los drones para generar información fotogramétrica, se pueden utilizar como herramientas de reconocimiento de terreno en superficies donde el acceso sea limitado (Figura 3). La posibilidad de realizar vuelos de video y fotografía a baja altura facilita en gran medida el cartografiado de este tipo de superficies.

- 5. Modelo Digital de Elevaciones (MDE).** Permite estimar alturas con un error limitado, en función de los datos de partida. Los más detallados se basan en vuelos LiDAR, cuyo error de estimación vertical suele ser inferior a los 3-4 m. El programa Iberpix³ del IGN dispone de un vuelo LiDAR (PNOA) a partir del cual se ha elaborado un MDE con un error vertical inferior a 1 m y una densidad de puntos de 0,5 puntos/m² (Figura 4). Puede accederse también al mapa de isolíneas con ese nivel de resolución. Paralelamente, el programa facilita datos de elevaciones con un error medio similar en las opciones de navegación por ortofotografía, por MDE o por mapa topográfico (Figura 5). Los institutos cartográficos regionales también permiten acceder a vuelos LiDAR de alta resolución.

Toda la información disponible que ofrece el PNOA se encuentra en el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)⁴, que permite el acceso a ortofotografías históricas, de máxima actualidad, modelos digitales del terreno y mapas en diversos formatos mediante un sencillo proceso de descarga en formato *shapefile* (.shp), *ScanVec CASmate Sign* (.ecv) y XML (metadatos). Todas las especificaciones técnicas sobre las fotografías, vuelos y MDT descargados se encuentran disponibles en esta misma web.

- 6. Inspección de campo o *in situ*.** Necesaria y complementaria a todos los casos anteriores ya que, si las imágenes o fuentes de datos sirven de base para la elaboración de la cartografía de superficies ocupadas, es habitual que se planteen dudas e incertidumbres a la hora de interpretar las imágenes. Por ello, la inspección de campo o *in situ*, en caso de ambientes marinos someros, ayudará a solventar esas dudas, así como a estimar el estado de conservación del tipo de hábitat.
- 7. Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) y Mapa Forestal de España a escala 1:25.000 (MFE25).** Como punto de partida, la información disponible a través del SIOSE y el MFE25, ambos con una escala de trabajo de 1:25.000, se puede utilizar para hacer una aproximación de la superficie ocupada por los tipos de hábitat costeros españoles ya que delimita playas, dunas, arenales y otros ambientes costeros con una superficie superior a 0,5 hectáreas. Si bien hay que tener en cuenta que no se ajusta a la delimitación de tipos de hábitat concretos. Tanto el SIOSE como el Mapa Forestal de España (MFE) cuentan con una periodicidad de actualización de 5 años, debido a la rápida evolución de las masas. Aun así, y como se

³ <https://www.ign.es/iberpix2/visor/>

⁴ <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>



advierte más adelante, la periodicidad de cálculo de la superficie ocupada para los tipos de hábitat costeros debe ser mayor (anual o bienal, en algunos casos) ya que los ambientes litorales activos cambian con mayor rapidez que los ambientes interiores. El MFE25 se encuentra todavía en elaboración, por lo que un gran número de provincias costeras solo tienen datos del MFE50 (escala 1:50.000) pero no del MFE25.

En cuanto a la periodicidad de cartografía que permita estimar tasas de cambio en la superficie ocupada, se recomienda que sea anual para la inmensa mayoría de los casos (Tabla 1), e incluso en algunos puede ampliarse a plurianual (entre 2 y 5 años según las tendencias observadas en el estudio histórico de las últimas décadas). Solo para aquellos tipos de hábitat pequeños y dinámicos, con límites muy cambiantes, es recomendable aumentar la frecuencia de elaboración de los mapas a semestral o incluso estacional en algún caso particular. En estos casos es muy difícil contar con imágenes de satélite u ortofotografías con periodicidad anual, por lo que se recomienda utilizar estos datos de sensores remotos para cartografiar situaciones previas y establecer tendencias plurianuales, y la inspección de campo para evaluar la situación más a corto plazo.

Tabla 1 Métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los distintos tipos de hábitat litorales. Fuente: elaboración propia.

Descripción del tipo de hábitat	Escala de trabajo	Fuentes de datos propuestas	Fuentes de datos complementarias	Periodicidad
ACANTILADOS Y PLATAFORMAS ROCOSAS				
Acantilados (atlánticos, mediterráneos y macaronésicos)	1:5.000	Ortofotografía + inspección de campo	MDS + UAV	Anual
Plataformas rocosas (inter- y supra-mareales)				
GRANDES CALAS Y BAHÍAS POCO PROFUNDAS				
Grandes calas y bahías poco profundas	1:50.000	Ortofotografía + cartas náuticas	Foto aérea 3D + UAV + batimetrías	Anual
PLAYAS				
Playas de gravas, cantos y bloques	1:5.000	Ortofotografía + inspección de campo	UAV	Anual
Playas estuarinas atlánticas, llanuras arenosas intermareales				
Cordones relictos y <i>cheniers</i> (atlánticos)				Semestral
Arribazones y bermas de tormenta				
Depósitos de desbordamiento atlánticos y mediterráneos	1:10.000			Anual
Playas de arena no mareales				
DUNAS Y ARENALES COSTEROS				
Dunas móviles embrionarias atlánticas y mediterráneas	1:5.000	Ortofotografía + inspección de campo	Foto aérea 3D + UAV	Estacional
Dunas móviles macaronésicas con <i>Traganum moquini</i>				

Continúa en la siguiente página ►



Descripción del tipo de hábitat	Escala de trabajo	Fuentes de datos propuestas	Fuentes de datos complementarias	Periodicidad				
Dunas móviles atlánticas y mediterráneas con <i>Ammophila arenaria</i> (dunas blancas)	1:10.000			Anual				
Mantos eólicos macaronésicos				Semestral				
Dunas atlánticas fijas con vegetación herbácea (dunas grises)				Anual				
Dunas fijas descalcificadas atlánticas				Estacional				
Depresiones interdunares	1:25.000					Semestral		
Dunas atlánticas y mediterráneas fijadas por vegetación arbórea	1:10.000							Anual
Dunas atlánticas y mediterráneas fijas con céspedes y matorrales								
Dunas atlánticas y mediterráneas fijas con <i>Juniperus</i> spp.								
Dunas macaronésicas fijadas por vegetación arbórea (<i>Tamarix canariensis</i>)								
MARISMAS								
Llanuras fangosas mareales (con fanerógamas marinas)	1:10.000	Ortofotografía + inspección de campo	Imágenes de satélite + UAV			Semestral y/o estacional		
Pastizales atlánticos y mediterráneos dominados por <i>Sarcocornia/Salicornia</i> y otras especies de zonas fangosas o arenosas	1:5.000							
Praderas de <i>Spartina</i>	1:10.000							
Pastizales salinos mediterráneos (<i>Juncetalia maritima</i>)								
Pastizales salinos atlánticos (<i>Glaucopuccinellietalia maritima</i>)								
Matorrales halófilos								
Estepas salinas mediterráneas								
Matorrales halonitrófilos (<i>Pegano-salsoletea</i>)								
LAGUNAS COSTERAS Y ALBUFERAS								
Los procedimientos correspondientes a este grupo se describen en Camacho <i>et al.</i> (2019)								
SALINAS								
Salinas naturalizadas o restauradas	1:8.000	Ortofotografía + inspección de campo	UAV	Semestral y/o estacional				
Salinas en explotación o funcionales								
ESTUARIOS MAREALES Y RÍAS								
Estuarios micromareales mediterráneos	1:25.000	Ortofotografía + inspección de campo	Imagen de satélite + UAV	Anual				
Deltas mediterráneos								

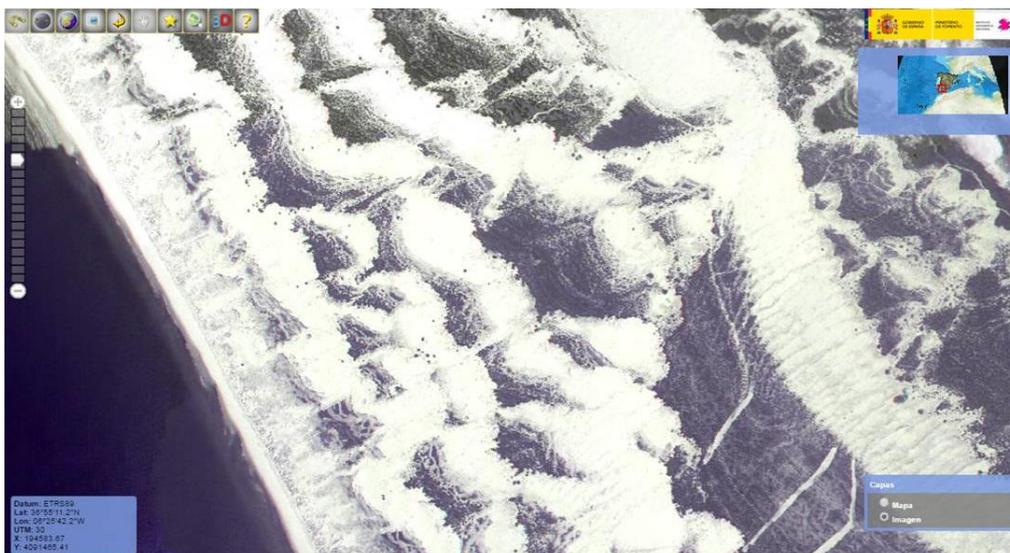


Figura 2 Imagen anaglífica en 3D para visión estereoscópica de las dunas del Parque Nacional de Doñana. Fuente: extraída del visor 3D del IGN⁵.



Figura 3 Imagen, tomada por el Servicio de Drones de la Universidad de Cádiz, de la marisma Punta de la Clica (Puerto Real, Cádiz). Fuente: extraída de los productos multimedia disponibles del proyecto FAST (del inglés *Foreshore Assessment using Space Technology*)⁶.

⁵ <http://www.ign.es/3D-Stereo/>

⁶ <http://www.fast-space-project.eu/>

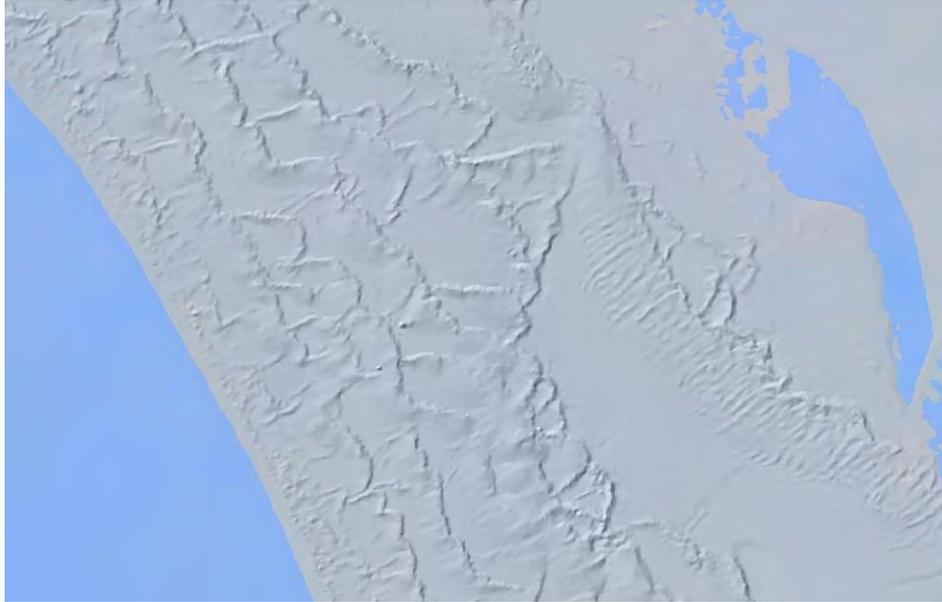


Figura 4 Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la marisma Punta de la Clica (Puerto Real, Cádiz). Fuente: obtenida a partir de la aplicación Iberpix4 del IGN.

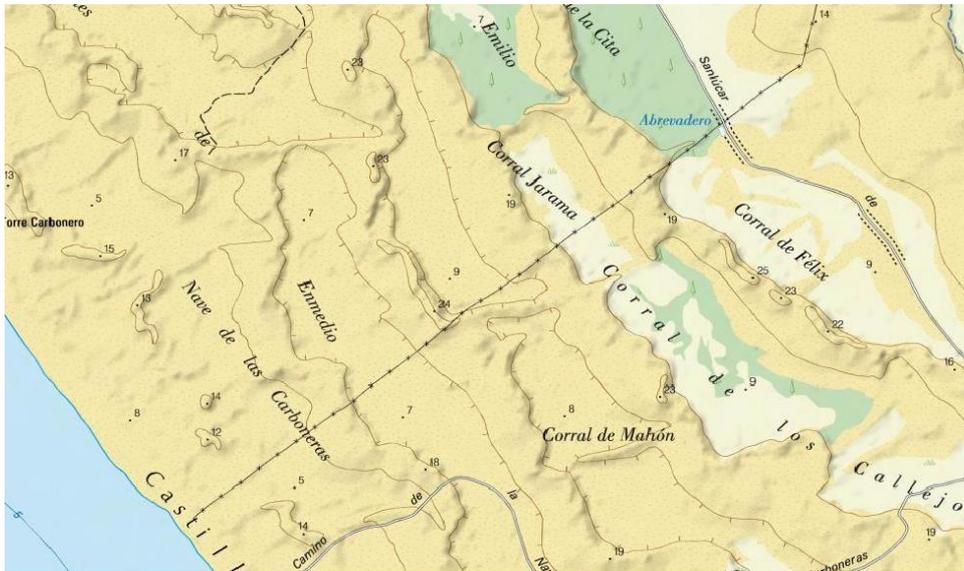


Figura 5 Mapa topográfico de alta resolución de un sector de las dunas de Doñana, superpuesto al Modelo Digital del Terreno (MDT) obtenido a partir de un vuelo LiDAR (PNOA). Fuente: obtenida a partir de la aplicación Iberpix4 del IGN.



4. DELIMITACIÓN DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LOS TIPOS DE HÁBITAT PRESENTES EN EL MEDIO COSTERO

En el presente apartado se proponen métodos para calcular cambios en la superficie ocupada de los tipos de hábitat costeros característicos de medios sedimentarios (costas bajas) y rocosos, que representan los principales conjuntos de tipos de hábitat costeros existentes en España.

En general, la metodología que se propone se basa en la utilización de herramientas GIS para el tratamiento de imágenes aéreas y la digitalización sobre estas imágenes de la zona ocupada por el tipo de hábitat en distintas fechas, seguida de la cuantificación de las superficies correspondientes a cada fecha. Esta metodología se puede combinar con trabajos de campo en el caso de que el tipo de hábitat lo permita. También se recomienda el uso de todo tipo de datos históricos que puedan aportar información de la evolución que ha sufrido el ecosistema en los últimos años.

Todos los ejemplos se llevan a cabo utilizando el programa ArcGIS 10.2 de Esri, si bien el proceso es muy similar en la mayoría de los GIS (QuantumGIS, gvSIG, etc.). Existen multitud de manuales de uso de estos *software* por lo que el procedimiento se puede adaptar a cualquiera de ellos.

Normalmente, los principales servidores web de los organismos oficiales proporcionan especificaciones técnicas de los datos disponibles (sistemas de coordenadas, periodicidad de las imágenes, escala, etc.). En concreto, el PNOA ofrece documentos específicos para cada uno de los vuelos que se han realizado en los últimos años⁷. Además, también se puede acceder a las zonas de vuelo cubiertas en cada año⁸ y así tener un control de los datos disponibles en la zona de estudio.

La escala también juega un papel fundamental en este apartado. No es posible trabajar con la misma escala para todos los tipos de hábitat descritos. Así, por ejemplo, las lagunas costeras necesitan más resolución para su cartografía y, en cambio, los estuarios mareales pueden aceptar una escala de trabajo más grande al tratarse, generalmente, de entornos con un área mayor. Se especificará, por tanto, en cada apartado, la escala recomendada.

Se tratará a su vez, en la medida de lo posible, de describir metodologías comunes de seguimiento de los tipos de hábitat costeros, para simplificar las tareas de recolección de datos. Sin embargo, es la principal dificultad ya que, a pesar de tratarse de tipos de hábitat con características comunes y estar altamente relacionados entre sí, las características intrínsecas de cada uno de ellos hacen necesaria la definición de parámetros particulares inequívocos.

El procedimiento general de delimitación de la superficie ocupada con ArcGIS 10.2 es el siguiente:

1. Se abre ArcMap (la aplicación central utilizada en ArcGIS, donde se visualizan y exploran los conjuntos de datos del área de estudio) con un mapa en blanco. No hay que olvidar guardar el documento con cierta frecuencia mientras se trabaja, así se evita perder la información generada tras un fallo inesperado.
2. Se asigna al marco de datos el sistema de coordenadas que se va a emplear en este trabajo, seleccionándolo a partir de los sistemas predefinidos que incluye ArcMap. Para ello se hace clic

⁷ <http://pnoa.ign.es/caracteristicas-tecnicas>

⁸ <http://pnoa.ign.es/vuelo-fotogrametrico>



con el botón derecho en el nombre del marco de datos y se selecciona, en propiedades, el sistema de coordenadas. Este sistema de coordenadas dependerá de la zona de trabajo en concreto. En este caso, se utilizará ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*), en la proyección UTM (del inglés *Universal Transverse Mercator*) y el huso 30, que se encuentra en *PROJECTED COORDINATE SYSTEM → UTM → EUROPE → ETRS89 UTM Zone 30N*.

3. Antes de comenzar a trabajar es importante asegurarse de que la imagen tenga un sistema de coordenadas correctamente asignado y, si son varias, que todas posean el mismo. De lo contrario, habría que hacer una conversión de coordenadas o, en el caso de que alguna de ellas no estuviera georreferenciada, realizar la correspondiente georreferenciación. Si todas las imágenes poseen el mismo sistema de coordenadas, pasar al punto 7. En caso contrario, seguir en el punto 4.
4. Si las imágenes no se solapan bien es que se encuentran en un sistema de referencia distinto. Para poder solaparlas adecuadamente es necesario realizar un cambio de *datum*. Para ello, se va a las propiedades de las ortofotografías, se hace doble clic sobre su nombre en la tabla de contenidos (*TABLE OF CONTENTS*) y se comprueba si en la pestaña 'Fuente' la referencia espacial aparece definida. En el caso de que no lo esté, se debe a que ArcGIS no lee directamente cuál es la proyección actual de las ortofotografías. Por tanto, antes de hacer el cambio de *datum* se debe asignar a las ortofotografías su proyección real para que el programa la lea y permita cambiarla.
5. Para ello, se abre *ARCTOOLBOX* (caja de herramientas de ArcGIS) se va a *HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS → PROYECCIONES Y TRANSFORMACIONES → DEFINIR PROYECCIÓN*. En la ventana que se abre se selecciona la ortofotografía a la que se va a modificar el sistema de proyección y en el cuadro del sistema de coordenadas se va a *PROJECTED COORDINATE SYSTEM → UTM → EUROPE → ETRS89 UTM Zone 30N* y se pulsa *ACEPTAR*. Se puede observar que, mientras se realiza la operación, en la tabla de contenidos aparece un candado junto al nombre de la ortofotografía correspondiente, indicando que dicha capa está bloqueada hasta que finalice la operación. Cuando aparezca el mensaje que indica que el programa ha terminado de definir la proyección, se repite la operación para las imágenes restantes, en caso de que fueran más de una. Una vez hecho esto, se puede comprobar que en las propiedades de las ortofotografías sí aparece su referencia espacial.
6. A continuación, se debe realizar el cambio del sistema de coordenadas mediante *ARCTOOLBOX → HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS → PROYECCIONES Y TRANSFORMACIONES → RÁSTER → PROYECTAR RÁSTER*. En la ventana que se abre se selecciona la ortofotografía, se indica que el ráster de salida se guarde en una carpeta de trabajo con el nombre que se quiera, por ejemplo, 'ortofoto_proyectada.jpg' (es importante escribir la extensión .jpg) y se elige como nuevo sistema de coordenadas el de las demás imágenes: *ETRS89 UTM Zone 30N*. En el cuadro *TRANSFORMACIÓN GEOGRÁFICA* se selecciona la rejilla que se aplica a la península ibérica ('ED_1950_To_ETRS_1989_NTV2_Peninsula') y se acepta. Una vez finalizado el proceso (puede tardar varios minutos) se puede ver que la imagen re-proyectada se ha añadido a la tabla de contenidos y que se solapa perfectamente con las demás



ortofotografías. Se repite la misma operación del paso anterior con las demás ortofotografías. Finalmente, se eliminan las ortofotografías originales y se dejan las proyectadas.

7. Con las imágenes en el mismo sistema de coordenadas y proyección, el siguiente paso consiste en digitalizar sobre cada una de ellas la zona ocupada por el tipo de hábitat. Para ello se debe crear un archivo vectorial de tipo *shapefile* poligonal para cada uno de los tipos de hábitat allí presentes. Cada uno de estos archivos se editará de manera independiente para proceder a la digitalización en pantalla del área cubierta por el tipo de hábitat. La escala de digitalización variará en función de las dimensiones del área de estudio, de las características específicas del tipo de hábitat y de la resolución espacial de las imágenes disponibles. En el ejemplo que se muestra a continuación, se ha utilizado una escala 1:2.000 para la delimitación del tipo de hábitat dunar completo.

Se selecciona, en *ARCCATALOG*, la carpeta donde se encuentra guardado el trabajo realizado (Figura 6).

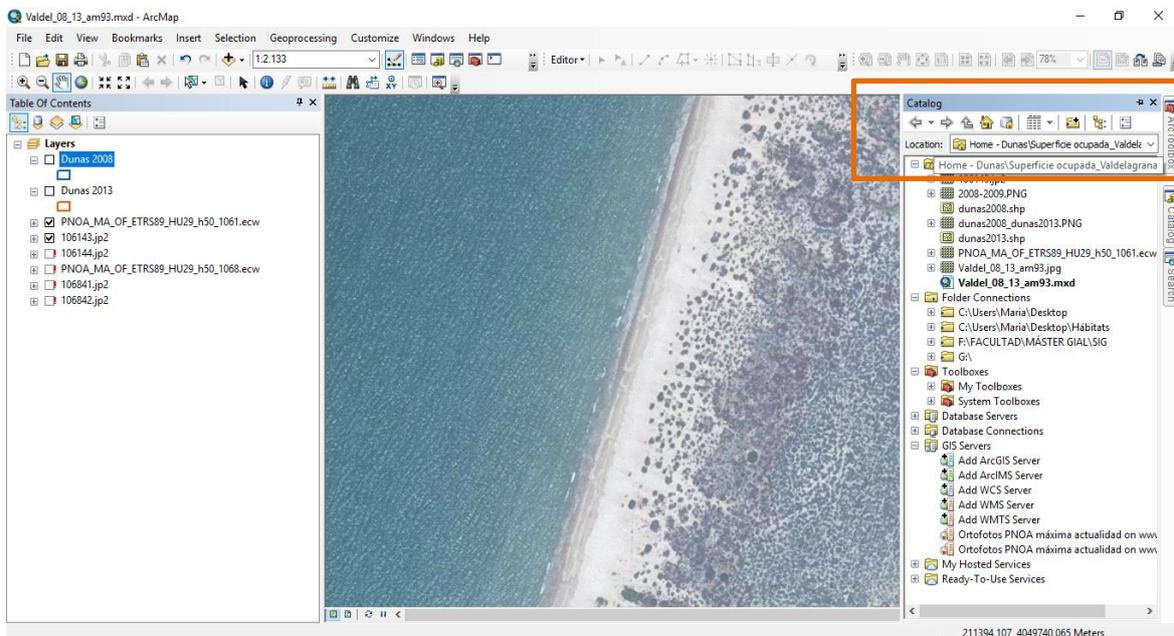


Figura 6 Búsqueda de la carpeta de trabajo en *ARCCATALOG*. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

8. Se hace clic con el botón derecho sobre la carpeta y en la ventana emergente se selecciona un nuevo *shapefile* → *NEW* → *SHAPEFILE* (Figura 7).

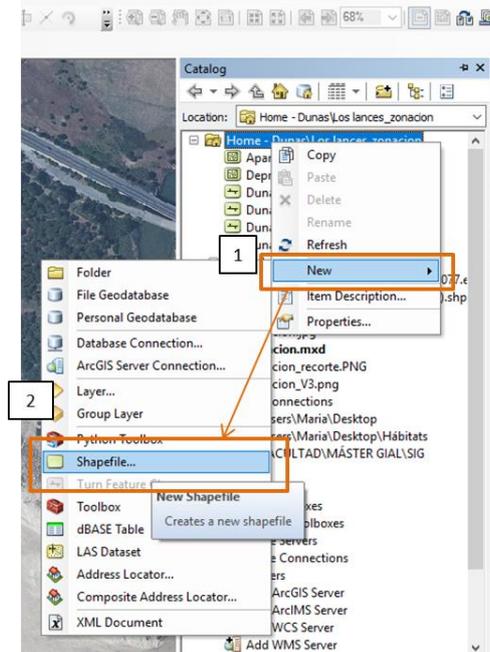


Figura 7 Creación de un nuevo *shapefile*. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

9. En la nueva ventana emergente, se escribe el nombre del *shapefile*. A continuación, se elige el tipo de geometría (*FEATURE TYPE*). En este caso, ya que se van a delimitar superficies, se debe elegir polígono (*POLYGON*; Figura 8). Para otorgarle un sistema de coordenadas al nuevo *shapefile* se debe hacer clic en editar (*EDIT*). Tras seleccionar el sistema de coordenadas correcto se pulsa *ACEPTAR*.

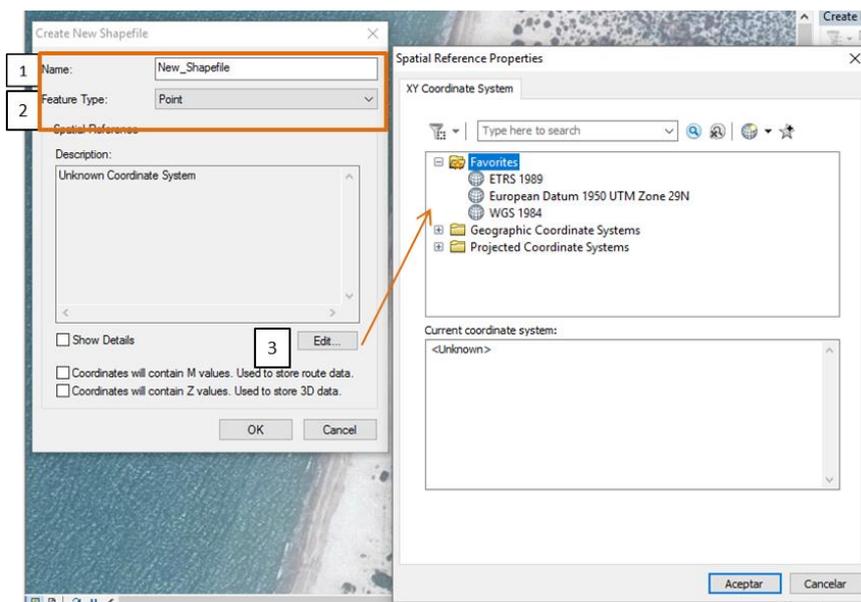


Figura 8 Ventana emergente para crear un nuevo *shapefile*, y otorgarle nombre, geometría y sistema de coordenadas. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.



10. El nuevo *shapefile* aparece en el contenido de la carpeta. Una vez aparezca en la tabla de contenidos se puede editar la simbología (*SYMBOL SELECTOR*) que va a presentar este nuevo *shapefile*, de manera que se adecúe al resultado final deseado (Figura 9). En este cuadro se quita el color de fondo al polígono que se va a editar para poder ver correctamente la superficie que se está delimitando.

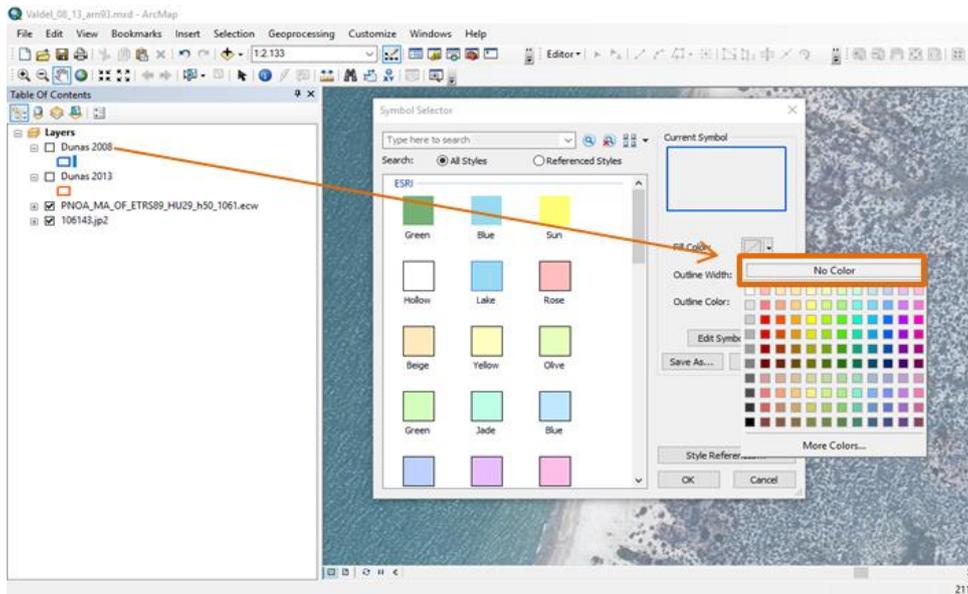


Figura 9 Ventana emergente para editar la simbología (*SYMBOL SELECTOR*). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

El siguiente paso es digitalizar la superficie ocupada por el tipo de hábitat sobre la imagen. Para ello, se hace clic en empezar edición → *EDITOR* → *START EDITING* (Figura 10). A continuación, se selecciona el *shapefile* que se quiere utilizar y se comienza a delimitar la superficie ocupada, haciendo clic (botón izquierdo) alrededor de toda la superficie (Figura 11).

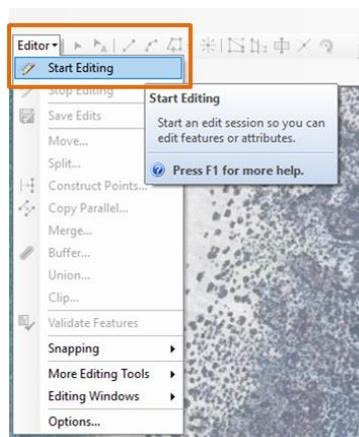


Figura 10 Activación del *EDITOR* para empezar a delimitar la superficie ocupada. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

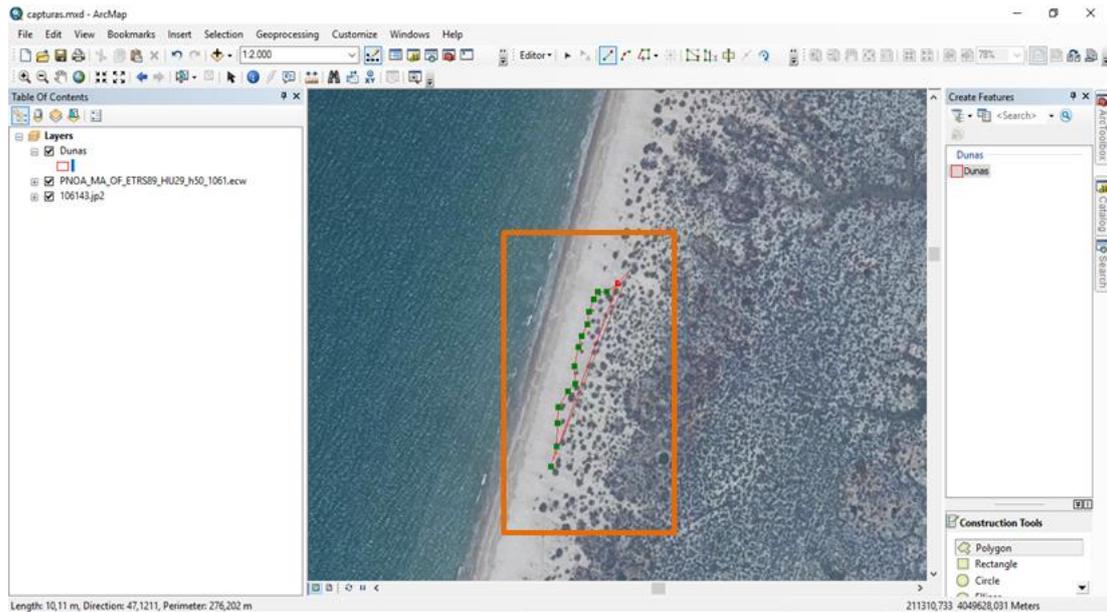


Figura 11 Ejemplo de la delimitación de la superficie ocupada por un tipo de hábitat de dunas embrionarias. En rojo está señalada la posición actual del ratón y en verde la de los puntos que ya han sido marcados. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2 sobre ortofotografía del PNOA.

11. Una vez se haya completado la delimitación de la superficie ocupada por el tipo de hábitat, para terminar, se hace doble clic en el último punto y el polígono se marcará en azul. Si es necesario hacer más polígonos dentro del mismo tipo de hábitat, se continúa editando de la misma forma.
12. Cuando se haya finalizado todo el proceso, se guarda la edición → *EDITOR* → *SAVE EDITS* (Figura 12).

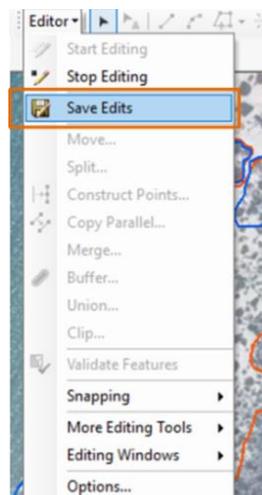


Figura 12 Activación del *EDITOR* para guardar los cambios (*SAVE EDITS*) tras la delimitación de la superficie ocupada. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.



- Tras obtener los polígonos de la zona ocupada por el tipo de hábitat correspondiente sobre la imagen, se cuantificará la superficie de cada polígono. El procedimiento específico variará ligeramente según el *software* GIS que se utilice. Para el caso de ArcMap, en la tabla de contenidos se debe situar el cursor sobre el *shapefile* y hacer clic con el botón derecho del ratón. En las opciones que aparecen, se selecciona la tabla de atributos (*OPEN ATTRIBUTE TABLE*) asociada a la capa (Figura 13).

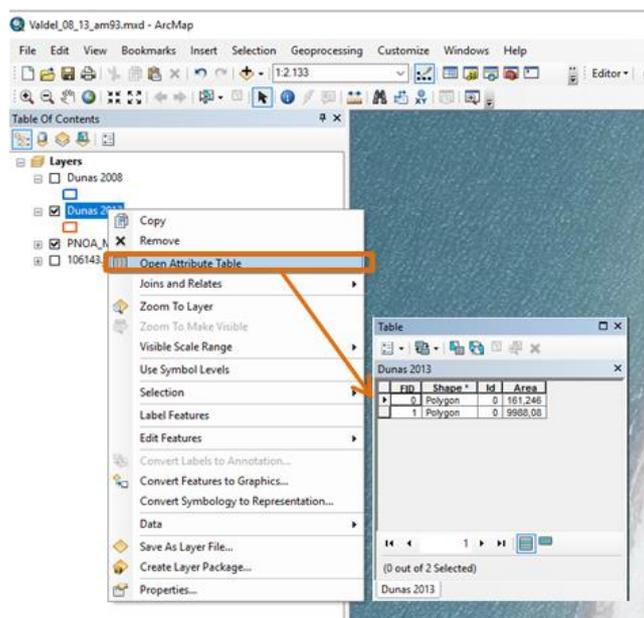


Figura 13 Tabla de atributos (*ATTRIBUTE TABLE*) del *shapefile* 'Sistema dunar en Los Lances (Tarifa)'. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

- Una vez ha sido desplegada la tabla de atributos hay que crear un nuevo campo. Para ello, se hace clic en las opciones de la tabla y se añade un campo → *TABLE OPTIONS* → *ADD FIELD* (Figura 14).

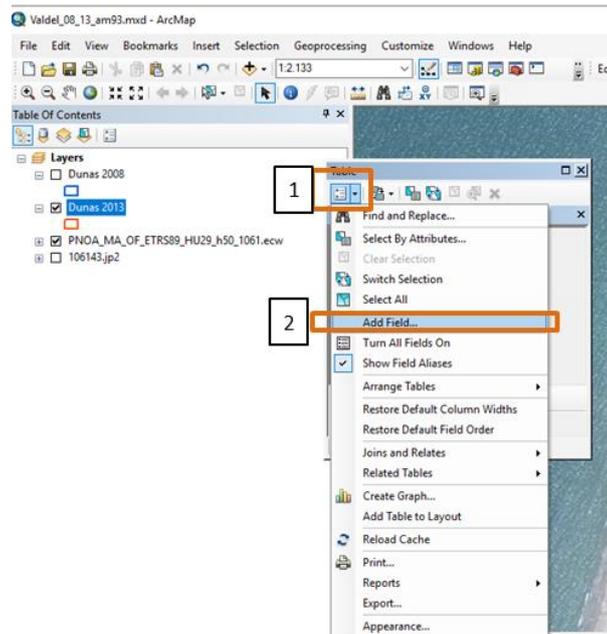


Figura 14 Añadir un campo (columna) a la tabla de atributos para calcular el área. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

15. En la nueva ventana de la herramienta, se indica el nombre, tipo, precisión y escala para el nuevo campo. En este ejemplo se han utilizado las siguientes propiedades:

- Nombre: área
- Tipo: *double*
- Precisión: 10
- Escala: 2 decimales

16. Se hace clic en *OK*, y el nuevo campo aparecerá en la tabla de atributos. Para calcular el área que ocupa este polígono se hace clic con el botón derecho del ratón sobre el nuevo campo y en el desplegable se selecciona *CALCULATE GEOMETRY* (Figura 15). En la ventana emergente aparecerán los siguientes parámetros (Figura 15):

- Propiedad para el cálculo: área
- Sistema de coordenadas (empleado para el cálculo): sistema de coordenadas de la capa (*USE COORDINATE SYSTEM OF THE DATA FRAME*).
- Unidades de cálculo: metros cuadrados (m^2).

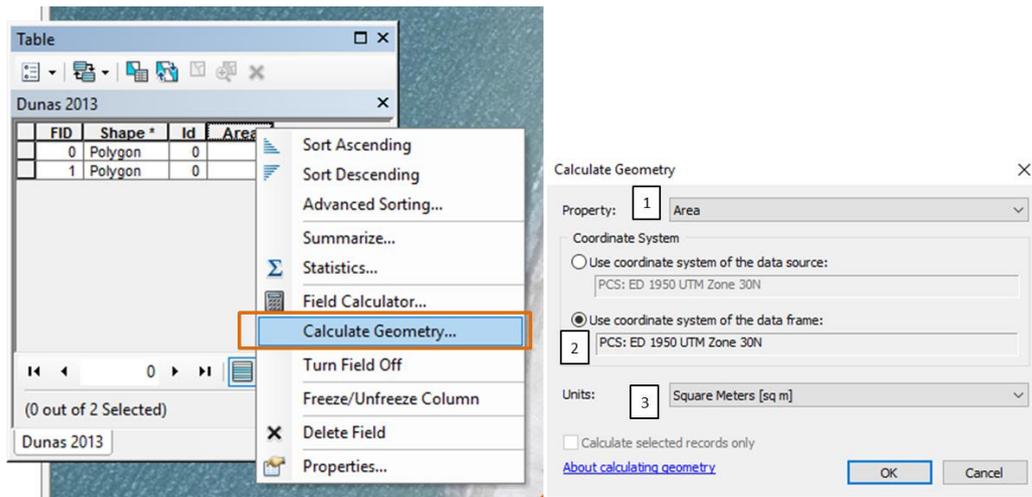


Figura 15 Cálculo del área del polígono a través de la opción *CALCULATE GEOMETRY* del desplegable. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

Se hace clic en *OK* y se obtendrá el área para cada una de las entidades geométricas de nuestra capa (Figura 16).

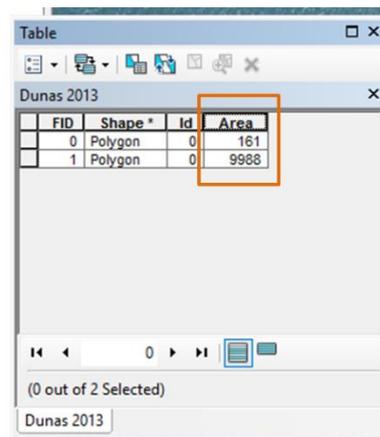


Figura 16 Resultado del cálculo de la superficie ocupada por el *shapefile* 'Sistema dunar en Los Lances (Tarifa)'. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.2.

Se finaliza la sesión de edición mediante *EDITOR* → *STOP EDITING* (se hace clic en *SÍ* en la ventana emergente para guardar los cambios).

17. Puede darse el caso de que el tipo de hábitat que se está delimitando presente "manchas" de vegetación separadas del área principal. En esta coyuntura, un tipo de hábitat concreto puede tener varios polígonos. La superficie ocupada total será entonces la suma de cada uno de estos polígonos (Figura 17). Para hacer este cálculo, en la tabla de atributos se hace clic con el botón derecho sobre *AREA* → *STATISTICS*.

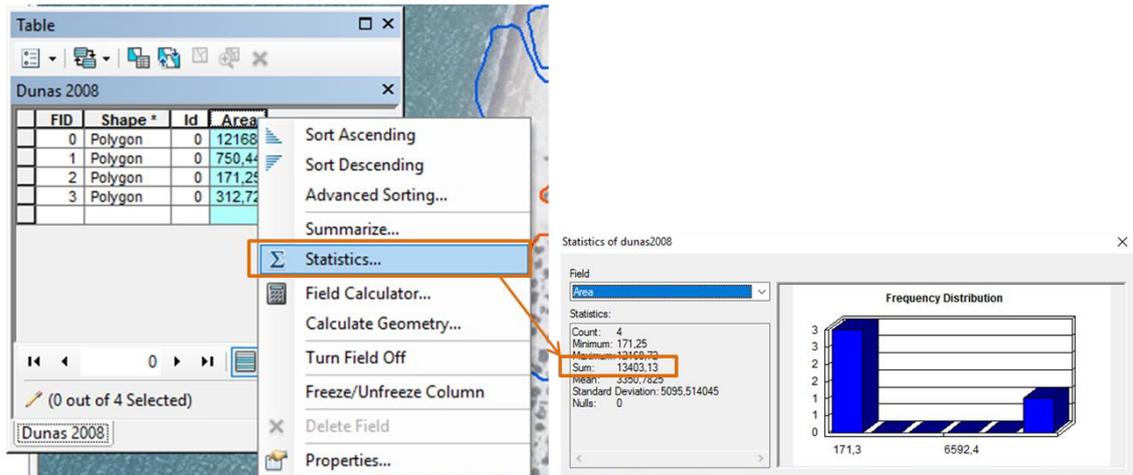


Figura 17 Sumatorio de las superficies de cada uno de los polígonos delimitados sobre el mismo tipo de hábitat. Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.2.

Si bien el procedimiento técnico para la delimitación de la superficie ocupada por los diferentes tipos de hábitat costeros es común a todos ellos, es necesario determinar los criterios a seguir para establecer los límites entre tipos de hábitat contiguos.

En el siguiente ejemplo de las tasas de cambio de la superficie ocupada por un tipo de hábitat costero, se ha elegido uno de los tipos de hábitat más comunes del litoral español, el correspondiente al tipo de hábitat de interés comunitario (THIC) 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas). La cartografía se ha realizado sobre un sector de 300 m de longitud de la playa de Levante (El Puerto de Santa María, Cádiz), a lo largo del periodo comprendido entre los años 2008 y 2013 (Figura 18). Las fuentes de información empleadas en la cuantificación han sido las ortofotografías disponibles en los servidores web de dos organismos oficiales:

- Año 2008: Ortofotografía Color del Cuadrante Suroeste de Andalucía 2008, de 0,5 m de resolución espacial. Sistema de referencia ED50 UTM Zona 30. Formato JP2000.
- Año 2013: Ortofotografía Regional de Andalucía 2013, de 0,5 m de resolución espacial. Sistema de referencia ETRS89 UTM Zona 30. Formato ECW.

Se han digitalizado un total de cuatro polígonos de dunas sobre la ortofotografía de 2008 y dos polígonos sobre la imagen de 2013. Las áreas totales calculadas han sido de 13 403 m² en 2008 y de 10 149 m² en 2013 (Figura 19), observándose por tanto una reducción significativa en el área ocupada por dicho tipo de hábitat a lo largo del periodo de estudio (Figura 18).

No obstante, lo más llamativo de este ejemplo es que además de la mencionada reducción de superficie, las características del propio tipo de hábitat se han visto modificadas. Se ha producido una significativa disminución de la densidad de la vegetación, asociada a un importante retroceso de la línea de costa y a los procesos de desbordamiento del cordón dunar por acción del oleaje durante tormentas. Aunque la disminución en la superficie ocupada durante los dos años de estudio es moderada, el retroceso costero ha sido importante, lo cual ha supuesto una migración del sistema dunar tierra adentro, ocupando y cubriendo porciones de otro tipo de hábitat interior representado por marismas altas y praderas de *Spartina* (THIC 1320 Pastizales de *Spartina* (*Spartinion maritimae*)).



Paralelamente, la playa delantera (THIC 1140 Llanos fangosos o arenosos que no están cubiertos de agua cuando hay marea baja, en adelante Llanuras mareales) ha sufrido una reducción significativa en su anchura. En suma, se registra una disminución importante de los THIC 1140 y 1320 y una reducción moderada del THIC 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas), en el que se observa una acusada transformación de su funcionalidad por disminución alarmante de la densidad de cobertura vegetal.

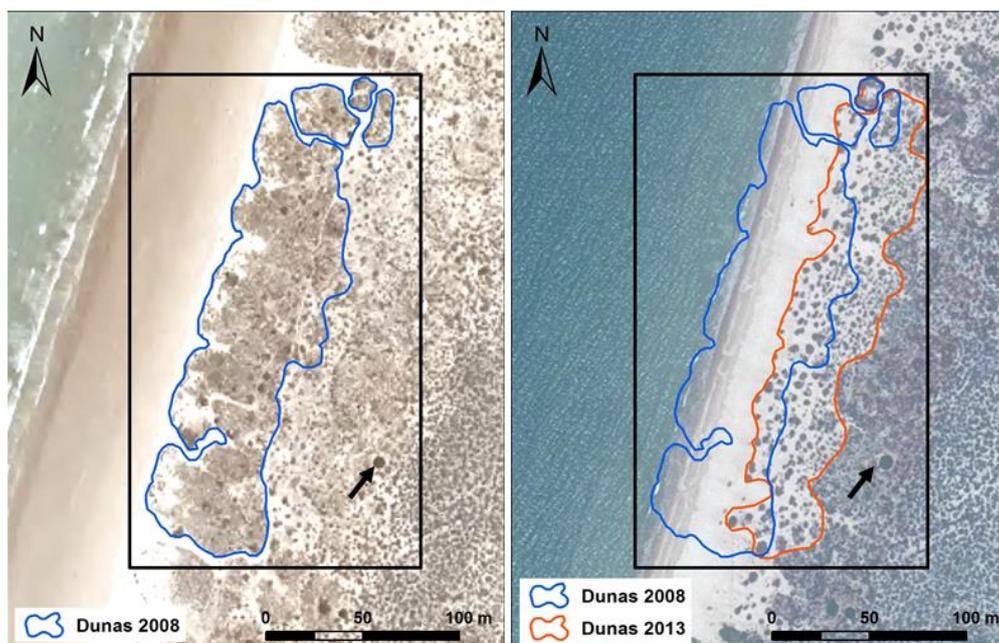


Figura 18 Evolución de la superficie cubierta por el THIC 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas) en un sector de la playa de Levante (El Puerto de Santa María, Cádiz) entre los años 2008 y 2013. Obsérvese el retroceso de la línea de costa y la importante disminución de densidad de la cobertura de *Ammophila arenaria*. Las flechas señalan el mismo punto en ambas imágenes. Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.2 sobre ortofotografías del PNOA.

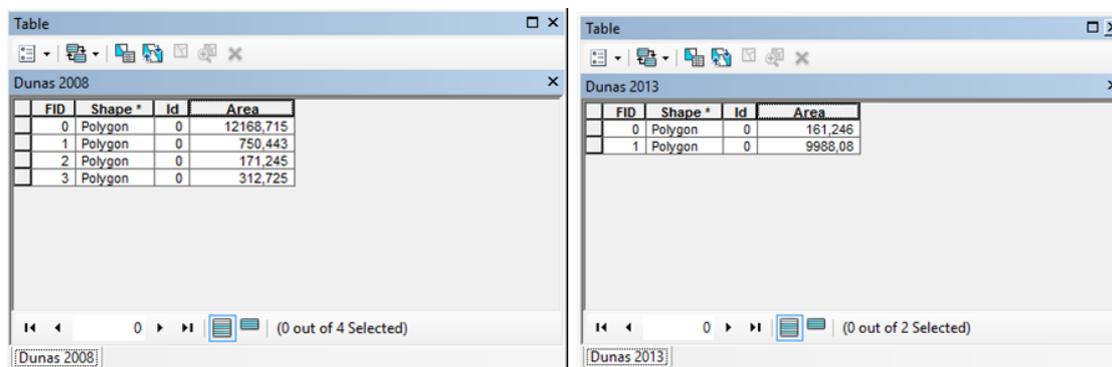


Figura 19 Cálculo de superficie ocupada por el THIC 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas) en un sector de la playa de Levante (El Puerto de Santa María, Cádiz) para la imagen de 2008 (izquierda; suma: 13 403,128 m²) y para la de 2013 (derecha; suma: 10 149,326 m²). Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.1.



4.1. Plataformas rocosas y acantilados

En el caso de los acantilados de la costa española, existen numerosos métodos para la delimitación de la superficie ocupada. Se pueden citar las investigaciones de Balaguer *et al.* (2008), en los acantilados de las bahías de Alcudia y Pollença (Illes Balears); Garrote & Garzón (2004), para los acantilados de la playa de Oyambre (Cantabria); Del Río & Gracia (2007), para la costa atlántica de la provincia de Cádiz; Pérez-Alberti *et al.* (2009), en las costas de Galicia; o Pérez-Alberti & Trenhaile (2015), en las playas de bloques gallegas.

En primer lugar, dado que los acantilados se encuentran en zonas inaccesibles o, en muchos casos, de muy difícil acceso, y pueden llegar a tener un alto nivel de inestabilidad dependiendo del grado de cohesión de los materiales, así como por acción de los agentes erosivos, es necesario seleccionar las zonas de seguimiento y establecer qué se va a delimitar exactamente, si un sector concreto por su valor ecológico integrado en la Red Natura 2000 o toda una fachada de un extenso acantilado.

Parece importante controlar aquellos acantilados que, dentro de un sector de costa, presenten una mayor singularidad. Esta viene dada tanto por ser sectores poco comunes cubiertos de un manto vegetal de gran valor, como por representar lugar de cobijo de aves o lugares destacados desde el punto de vista paisajístico. Han de ser los científicos y responsables medioambientales quienes decidan qué enclaves deben ser objeto de seguimiento.

En lo que se refiere a la delimitación de la superficie ocupada propiamente dicha, es necesario decidir los límites, dado que toda la fachada de un acantilado no siempre está relacionada con los procesos marinos. En función de su altura, un acantilado puede estar totalmente influenciado por la acción del oleaje o por el espray marino, lo que conllevará la presencia de especies indicadoras, mientras que en otros lugares los procesos estrictamente marinos solamente afectan a la parte baja de la fachada. Por ejemplo, existen acantilados bajos de coronación plana con toda la fachada afectada por los procesos marinos (Figura 20). En este caso es preciso medir verticalmente desde la base del acantilado hasta la cima (allí donde la pendiente cambia bruscamente). Horizontalmente, es conveniente, siempre que sea posible, que los límites vengán marcados por un cambio en la topografía. Por ejemplo, la existencia de valles que corten el acantilado. Cuando esto no sea posible es preciso tomar una decisión que tenga en cuenta los posibles cambios laterales marcados por su valor ecológico. En otros casos (Figura 21), la pendiente del acantilado permite cartografiar sin problemas. Por supuesto, a mayor resolución de la ortofotografía, mayores posibilidades de lograr una mejor cartografía (Figuras 22, 23 y 24).

Una vez decidida la zona, es preciso tener claro qué elementos se van a medir. Para ello, es necesario tener en cuenta las componentes abiótica, biótica y antrópica que afectan a estas zonas a la hora de cartografiar:

- Límites del área seleccionada.
- Unidades diferenciadas: afloramientos rocosos, desprendimientos, manchas de vegetación, nidos de aves, etc.
- Evidencias de erosión: desprendimientos, deslizamientos, colapsos, regueros, etc.
- Evidencias de actividad antrópica: senderos, áreas de pisoteo, etc.

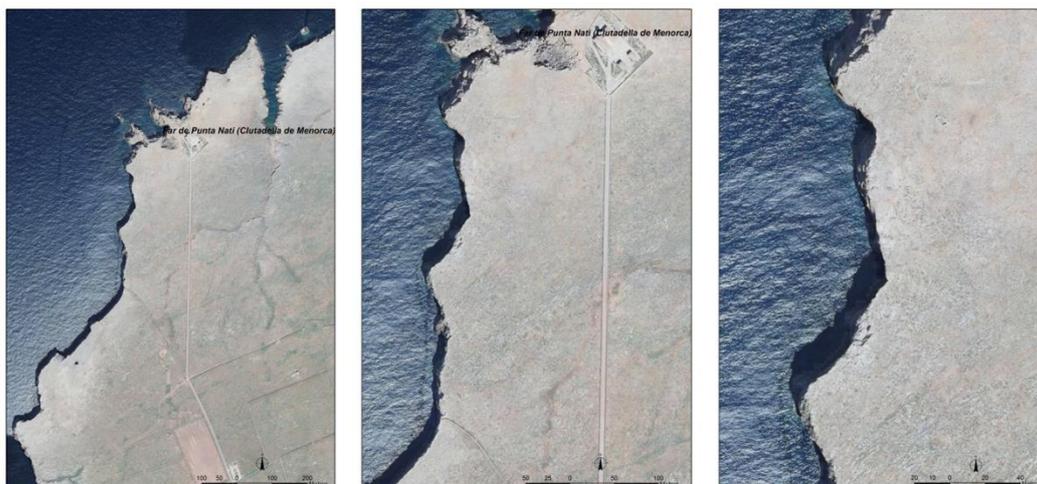


Figura 20 De izquierda a derecha: un sector de costa de Menorca (cabo Nati) en la que dominan acantilados verticales de coronación plana, a escala 1:5.000, 1:2.000 y 1:1.000. Se puede ver que la cartografía de la fachada marina es muy difícil a cualquier escala. Fuente: elaboración propia a partir de ortofotografías del PNOA.

Para este tipo de hábitat, al igual que en casos anteriores, la medida del espacio ocupado debe ser, siempre que sea posible, mediante ortofotografías verticales georreferenciadas integradas en un GIS. Por lo que respecta a las escalas de trabajo para la cartografía de acantilados y plataformas rocosas, en los ejemplos de cabo Nati (Menorca) y la costa de Zumaya (Guipúzcoa) se comprueba que no siempre se puede usar la misma escala para el mismo tipo de hábitat. Cuando el acantilado es vertical, la cartografía resultante será errónea aunque se amplíe la escala. Además, es diferente cartografiar un acantilado compuesto, con una ladera perfectamente visible, que una plataforma. En el primer caso, la cartografía a una escala 1:5.000 ya permite el trazado del espacio que ocupa el acantilado. Sin embargo, escalas como 1:2.000 y 1:1.000 son necesarias a la hora de cartografiar las plataformas, que suelen tener escasa extensión.



Figura 21 Imágenes aéreas de un tramo de la costa de Zumaya (Guipúzcoa) a escalas a 1:5.000, 1:2.000 y 1:1.000, respectivamente. La cartografía del acantilado es posible a cualquier escala, aunque la plataforma solamente es cartografiable con ciertas garantías a escala 1:1.000. Fuente: elaboración propia a partir de ortofotografías del PNOA.



Figura 22 Marina de Cope (Murcia). Escala 1:5.000. Fuente: ortofotografía del PNOA.



Figura 23 Sector de la marina de Cope (Murcia). Escala 1:1.000. Fuente: ortofotografía del PNOA.

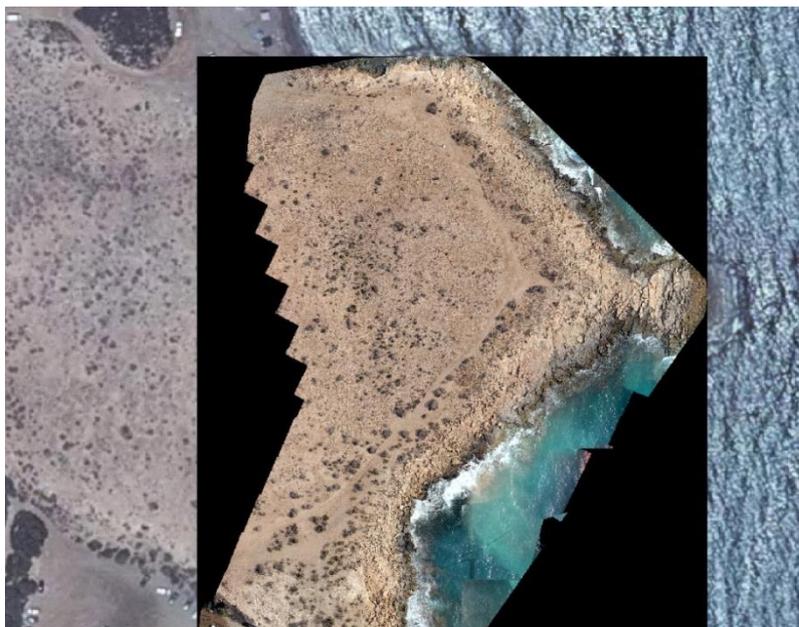


Figura 24 Ortofotografía construida a partir de un vuelo con dron del mismo sector que la figura anterior de la marina de Cope (Murcia). Escala 1:1.000. Fuente: elaboración propia a partir de ortofotografía del PNOA.

Es necesario realizar cartografías nuevas ya que las existentes (CORINE, del inglés *Coordination of Information on the Environment*, y SIOSE) no aportan resolución suficiente para hacer un seguimiento preciso. La escala de referencia de CORINE es 1:100.000 y la del SIOSE 1:25.000. La unidad mínima cartografiable por defecto es de 25 ha en CORINE frente a las 0,5-2 ha del SIOSE. También se pueden utilizar clasificaciones automáticas a partir de imágenes de satélite. Solo usando imágenes tomadas por satélites que adquieren imágenes con máxima resolución, los resultados serían diferentes (Figuras 25, 26 y 27).

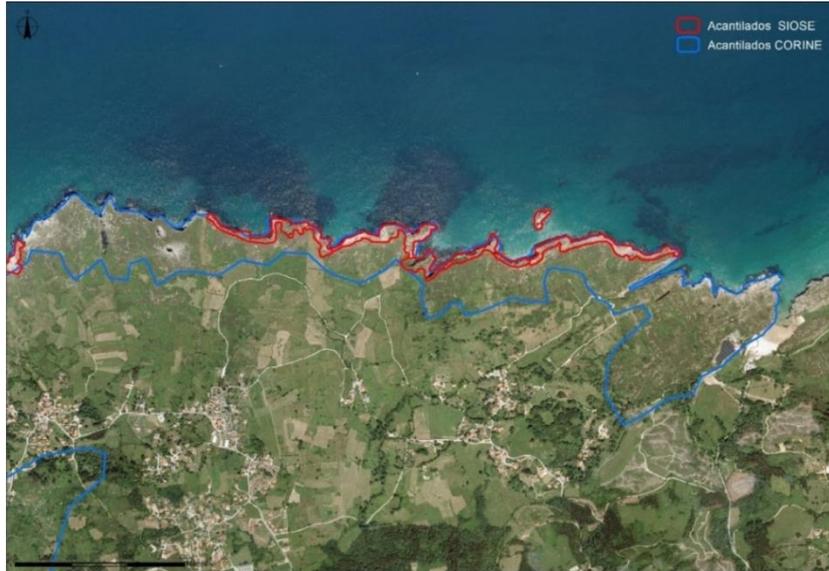


Figura 25 Imagen del sector de Llanes (Asturias) en la que se puede ver la delimitación de los acantilados a partir del CORINE, en azul, y del SIOSE, en rojo. Fuente: elaboración propia a partir de las bases de datos de CORINE y SIOSE sobre ortofotografía del PNOA.

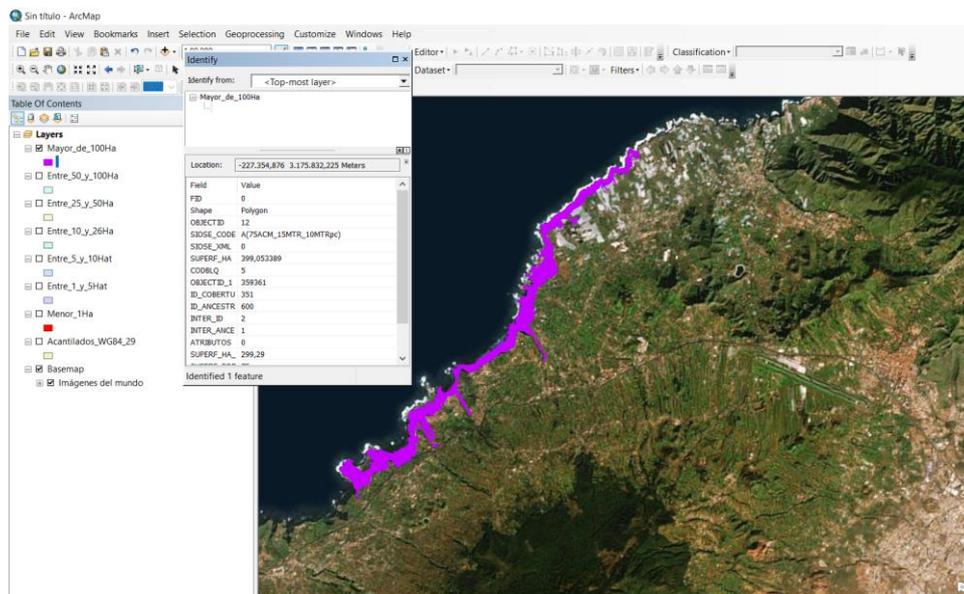


Figura 26 Según la capa extraída del SIOSE (2011) el acantilado de mayor extensión (399 ha) se encuentra al noreste de la isla de Tenerife. Fuente: elaboración propia a partir de la cartografía del SIOSE.

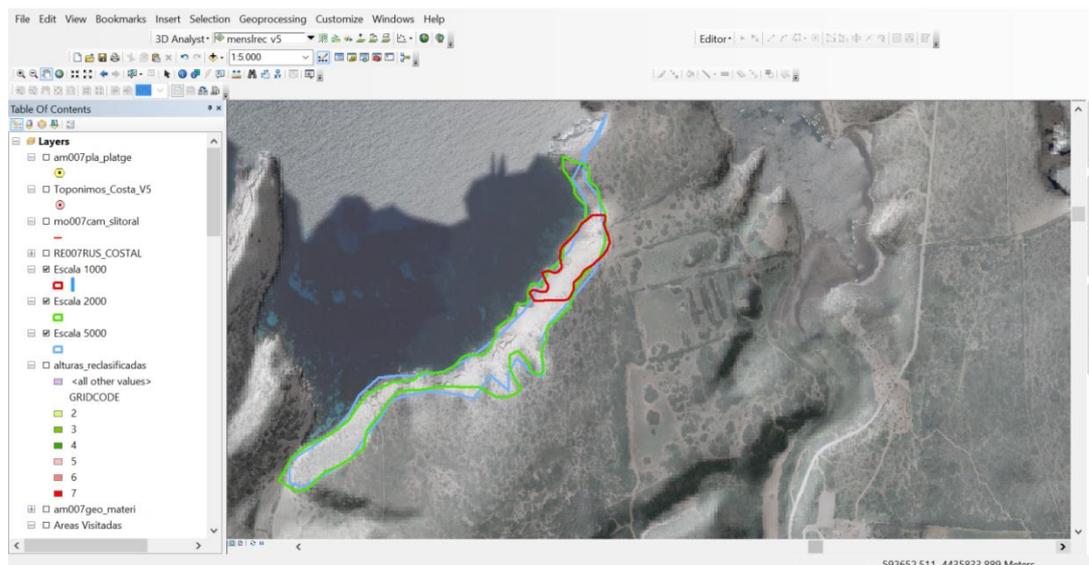


Figura 27 Cartografía a diferentes escalas de un sector acantilado en la isla de Menorca. Escala 1:1.000 (rojo), escala 1:2.000 (verde) y escala 1:5.000 (azul). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

Cuando no sea posible cartografiar con precisión, como en sectores en los que los acantilados son muy inclinados y el reconocimiento en el campo es muy difícil, es recomendable la fotografía oblicua o el uso de UAV (drones) que permitan fotografiar en paralelo el acantilado y obtener ortofotografías georreferenciadas. En cualquier caso, la información recogida debe ser integrada en un GIS.

El uso de UAV es de vital importancia en algunos casos por varias razones:

- Permite elaborar ortofotografías y MDT de alta resolución (Figuras 28, 29 y 30).
- A consecuencia de lo anterior, se podría pasar de la realización de una simple enumeración de especies —elaborada mediante muestreos— a poder cartografiar también las manchas de vegetación o, en el caso de las plataformas rocosas y acantilados, las especies marinas incrustadas en las rocas.

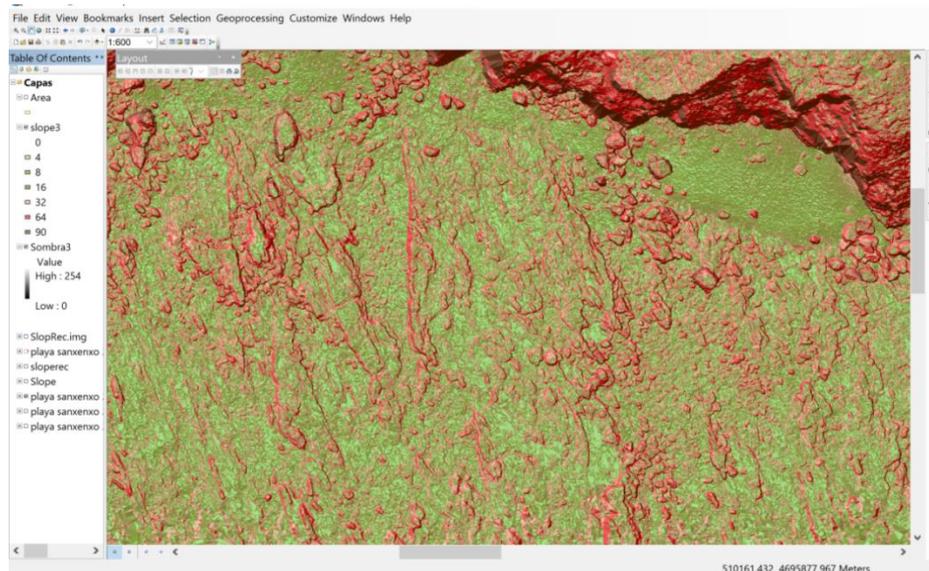


Figura 28 Análisis de las características de una plataforma costera en Galicia a partir de un ráster obtenido mediante un UAV a 40 m de altura y fotogrametría con una resolución de 1 cm. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5.

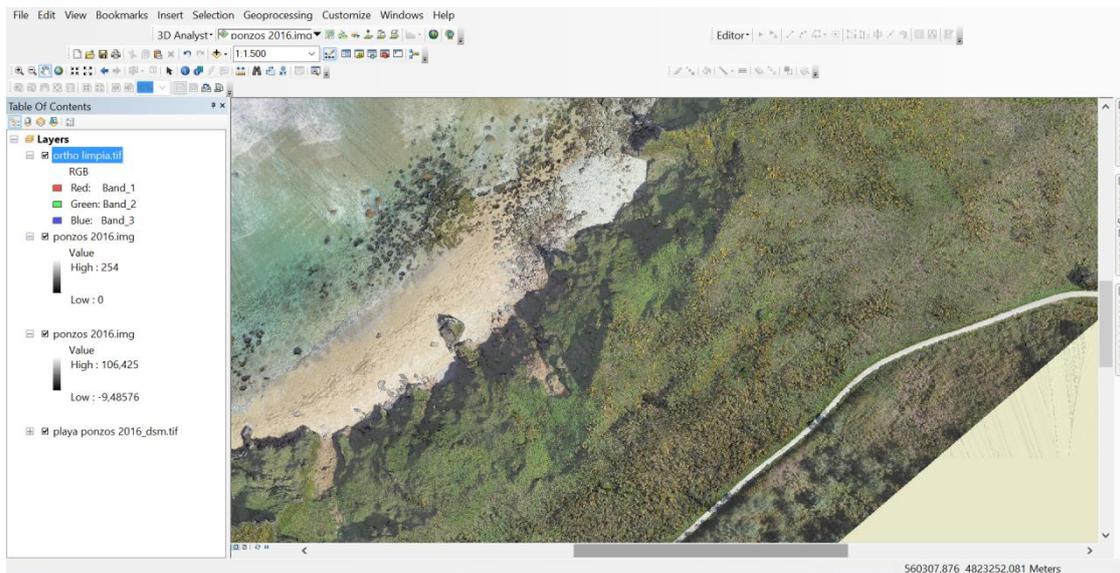


Figura 29 Ortofotografía sobre MDT elaboradas con un UAV a 40 m de altura. Resolución 1 cm. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

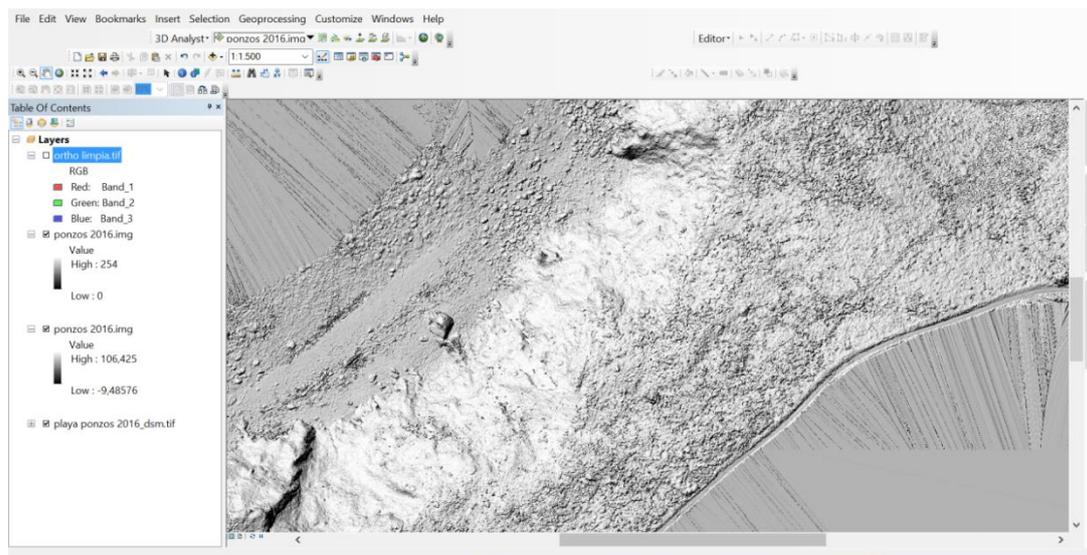


Figura 30 Detalle del MDS de la figura anterior. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5.

Una cartografía, a cualquier escala, puede dar lugar a errores mayores, cuanto menor sea la formación de la persona encargada del procesado. Por ello sería recomendable usar siempre escalas grandes, mayores de 1:5.000, que permitan ver con mayor detalle los límites.

Una vez seleccionada el área de control, se integrará en un programa de GIS toda la información disponible:

- Modelos Digitales del Terreno (MDT) de la mayor resolución posible. Al menos, en aquellos lugares de los que se dispongan archivos LAS (.las), derivados del LiDAR. Esto permite construir tanto MDS como MDT, de 1 o 2 m de resolución. Los archivos LAS, comprimidos en formato LAZ (.laz), están disponibles en el CNIG o en las diferentes comunidades autónomas.
- Ortofotografías de máxima resolución del PNOA también disponibles en el CNIG y en algunas comunidades autónomas (Figura 31).
- Mapas geológicos digitales a escala 1:50.000, disponibles en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

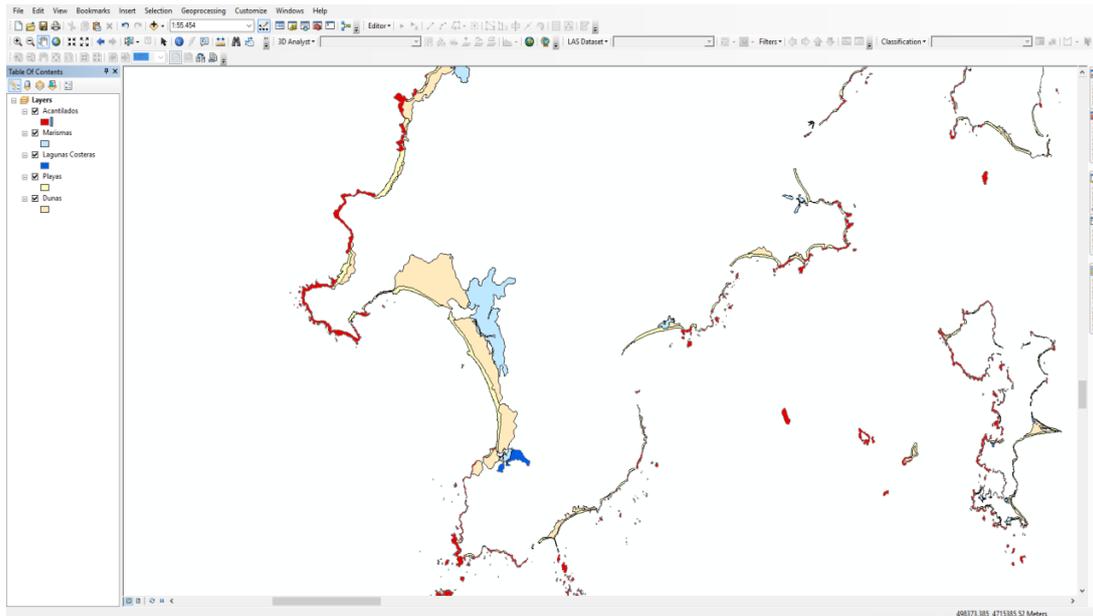


Figura 31 Cartografía de formas costeras existentes en la ría de Arousa (Galicia): acantilados (rojo), marismas (azul claro), lagunas costeras (azul oscuro), playas (amarillo) y dunas (naranja claro). Escala 1:25.000. Fuente: elaboración propia a partir del Plan de Ordenación del Litoral (POL) de Galicia (Xunta de Galicia).

Es fundamental poder contar con los archivos tipo ráster o vectorial originales, dado que el uso de cualquier visor (IGME, IGN, Instituto Español de Oceanografía o IEO y los visores específicos de las comunidades autónomas) permite su visualización, o también mediante WMS (Servicios Web de Mapas). Estos últimos tienen un inconveniente, y es que el enlace directo permite llevar a cabo el cartografiado pero no el tratamiento de la cartografía, lo que impide llevar a cabo procesos fundamentales como la creación de UT (Unidades Topográficas), ULT (Unidades Lito Topográficas), mapas de pendientes, orientaciones, etc.

La persona encargada de trazar los límites del área seleccionada debe integrar en un programa GIS el MDT, generar su sombreado y situar encima la ortofotografía con un porcentaje de transparencia que permita ver la forma del relieve y la imagen al mismo tiempo, facilitando el proceso de cartografiado.

El procedimiento para la creación del *shapefile* que delimite los límites del acantilado es el mismo que se ha descrito al inicio de este documento. Además, es necesario dibujar en otra capa las diferentes unidades existentes, por ejemplo, las manchas de vegetación, roquedo, etc. Es necesario generar un campo específico en la tabla de atributos en el que se pueda calcular la extensión del espacio dibujado, lo que va a permitir la comparación en el futuro.

Ciertos tipos de acantilados, como ya se ha mencionado, imposibilitan la cartografía directa a partir de las ortofotografías del PNOA. En este caso, es preciso usar UAV provistos de cámaras fotográficas que permitan crear mosaicos para que —tras un proceso en el laboratorio con programas adecuados tipo *Argisof* o, especialmente, *Pix4D*— se pueda lograr una restitución fotogramétrica adecuada y elaborar MDT. Para ello es preciso contar con puntos de control sobre el terreno.

Cuando la propia singularidad del terreno no permita la instalación de puntos de control, es necesario usar RTK (del inglés *Real Time Kinematic*), una técnica basada en el uso de medidas de fase de



navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de Galileo, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud submétrica.

4.2. Grandes calas y bahías poco profundas

Para la delimitación del THIC 1160 Grandes calas y bahías poco profundas es necesario tener en cuenta no solo los límites interiores, sino también la profundidad hasta la que se considera la cala o bahía "poco profunda" en la salida al mar (Figura 32).

Se definen como grandes calas y bahías poco profundas los tipos de hábitat que corresponden a grandes entrantes de la línea de costa en que, a diferencia de los estuarios, la influencia del agua dulce es mínima. El propio término 'bahía' se suele describir como una porción de mar u océano rodeada en la mayor parte de su periferia por tierra, excepto por una salida o comunicación al mar (Carrillo de Albornoz *et al.* 2009).

Así, es necesario para este THIC que los trabajos de medición se realicen mediante el uso de cartografía digital, fotografía aérea (en zonas de poca profundidad puede divisarse perfectamente el fondo marino) y, en algunos casos, imágenes de satélite. Todo ello debe hacerse apoyándose en las cartas náuticas de mayor detalle posible de la zona de estudio que se aborde.

Recientemente, el IHM (Instituto Hidrográfico de la Marina) ha publicado las cartas náuticas en formato abierto, consultable y descargable. Son de carácter público, en formatos WMS o WFS (Servicios web de descarga de datos, del inglés *Web Feature Service*)⁹ Además, se pueden obtener detalles de los servicios de mapas y su uso en algunos programas de cartografía gratuita¹⁰.

En caso de ausencia de cartografía batimétrica o, en caso de que exista pero sea de mala calidad o con una equidistancia que no se ajuste a las pretensiones del estudio, es conveniente alzar una base batimétrica para la zona. De este modo, el cálculo de superficie de este tipo de hábitat (entendida como superficie mojada o superficie de mar) para todo el conjunto del Estado español servirá al mismo tiempo para revisar la situación en la que se encuentran las cartas batimétricas existentes hasta la fecha. Es necesario contar con información batimétrica de la zona de estudio. Así, por ejemplo, la bahía de Algeciras presenta una profundidad muy elevada, por lo que el criterio de trazar una línea de base recta que une ambos promontorios se quedaría muy lejos de delimitar la zona "poco profunda". Algo parecido sucede con muchos lugares de la costa cantábrica, que presentan elevadas profundidades a distancias relativamente cercanas a la costa. Este es uno de los problemas de interpretación que plantea este tipo de hábitat. La profundidad determina las implicaciones y características ecológicas, así como también las zonificaciones de tipo fisiográfico, de manera que es conveniente establecer una profundidad máxima para poder unificar y estandarizar los estudios realizados a cualquier latitud.

Es por esto que no hay que olvidar que una carta náutica que indique la profundidad a la que se encuentran las aguas sería la solución más exacta para trazar el límite correcto (Figura 32). La técnica considerada más adecuada es la utilización de la cartografía batimétrica de mayor resolución posible (con una equidistancia entre las isobatas de 1, 5 y 10 m como máximo).

⁹ Es posible encontrar el visor en: <http://ideihm.covam.es/visor.html>

¹⁰ <http://ideihm.covam.es/servicios.html>

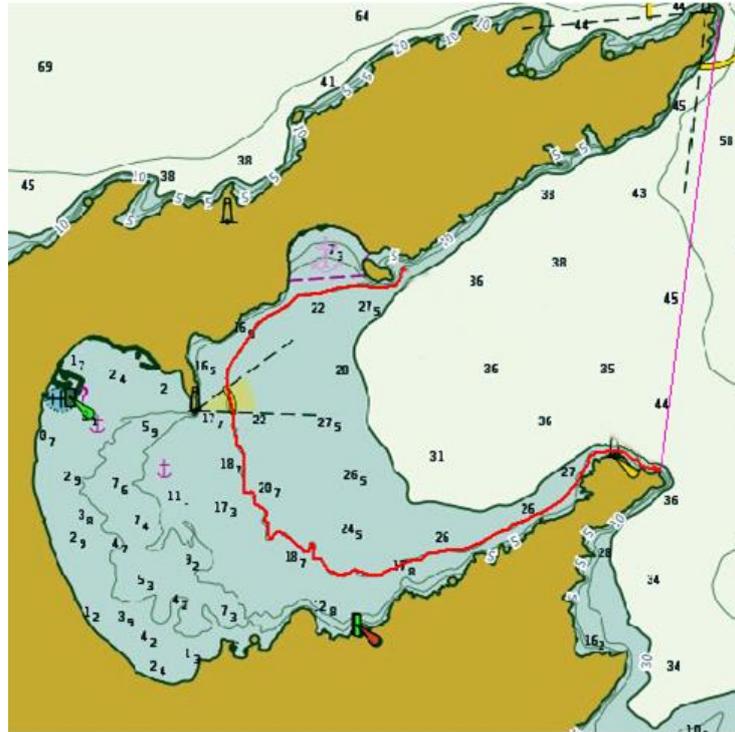


Figura 32 Línea de base recta (en rosa) trazada en la bahía de Pollença usando como base la carta náutica del IHM. Las isóbatas marcan 5, 10, 20 (en rojo) y 30 m de profundidad. Fuente: elaboración propia a partir de carta náutica proporcionada por el IHM.

La delimitación de la superficie se llevará hasta una profundidad de 20 m, ya que por debajo de este valor de profundidad habitualmente se habla de aguas someras. El criterio de línea de base recta no es válido en la mayoría de los casos, donde las bahías y calas son suficientemente grandes como para alcanzar profundidades elevadas antes de llegar al límite de la línea de base recta.

La escala, nuevamente, dependerá del tamaño del tipo de hábitat, siendo como mínimo necesaria una escala 1:50.000, aunque es aconsejable trabajar con mayor detalle en la mayoría de los casos.

Por último, la periodicidad dependerá de la actualización de cartas náuticas y batimetrías, ya que los límites interiores en la mayoría de los casos permanecen invariables o varían a medio-largo plazo.

4.3. Playas

Al igual que los sistemas dunares, la caracterización de las playas se llevará a cabo con fotografías aéreas. La escala de trabajo propuesta es 1:5.000. A esta escala se pueden diferenciar fácilmente las morfologías y tipos de hábitat de playa. Si se trata de playas de gran tamaño, se trabajará con secciones de la misma a la escala propuesta.

Una de las herramientas más utilizadas para analizar las tasas de cambio de la línea de costa en playas, un indicador de cambio en la superficie ocupada, es la herramienta DSAS (del inglés *Digital Shoreline*



Analysis System). Esta extensión permite calcular las tasas de cambio de la línea de costa en base a una serie temporal de varias líneas de costa.

En primer lugar, se deben digitalizar las líneas de costa sobre todas las ortofotografías que se van a analizar (Figura 33) en los distintos años seleccionados. La delimitación de las líneas de costa debe llevarse a cabo a través de un indicador o *proxie*, es decir, digitalizar en cada ortofotografía siguiendo los mismos criterios. En este caso se ha utilizado el pie de duna como indicador. En el caso de playas urbanas que no dispongan de un sistema de dunas en la parte superior, se puede utilizar la marca de agua sobre la arena, controlando factores como la marea y el oleaje en los días de las mediciones. En cualquier caso, la elección de un indicador u otro dependerá de las características de la playa.



Figura 33 Ejemplo de digitalización de líneas de costa, para distintos años, en la flecha de Valdelagrana (El Puerto de Santa María, Cádiz). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS sobre ortofotografía del PNOA.

No hay que olvidar que antes de empezar a trabajar es necesario modificar la configuración de idioma del ordenador de trabajo, ya que la extensión DSAS para ArcGIS fue creada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, del inglés *United States Geology Survey*) y, por este motivo, funciona con fechas en el formato anglosajón (mes/día/año). En este caso, la configuración de idioma debe ser español (Estados Unidos).

Además, para poder emplear la extensión es necesario que los datos de partida (líneas de costa) tengan un formato específico. Todas las líneas deben estar dentro de un único *shapefile*. Para ello, se fusionan a través de las herramientas de administración de datos y, una vez estén fusionadas, se añade a la tabla de atributos una nueva columna que indique la fecha de cada una de las líneas de costa fusionadas.



A continuación, hay que crear la línea de base que se emplea como inicio de los transectos de medida. Es importante que dicha línea sea paralela a las líneas de costa y que no tenga cambios bruscos de dirección, ya que los transectos se deben trazar perpendiculares a esta línea. Para ello, hay que crear un *buffer* (área de influencia) alrededor del *shapefile* de las líneas de costa para utilizarlo como guía para digitalizar la línea de base suavizada (Figura 34).

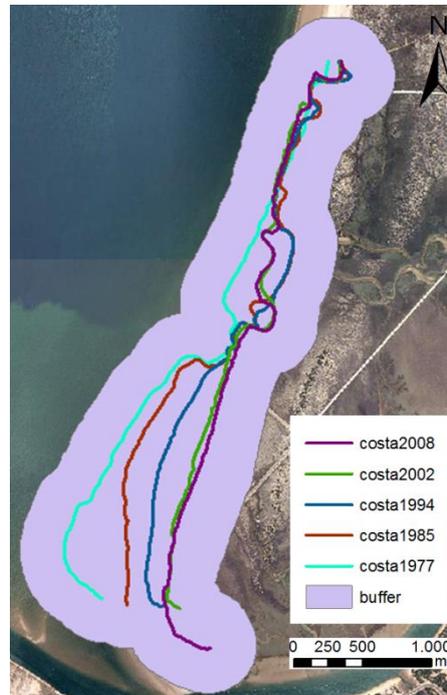


Figura 34 Ejemplo del *buffer* creado alrededor de las líneas de costa digitalizadas en la flecha de Valdelagrana (El Puerto de Santa María, Cádiz) para la creación de una línea de base recta suavizada). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS sobre ortofotografía del PNOA.

Una vez hecho esto, se crea un nuevo *shapefile* tipo línea dentro de la carpeta de trabajo, con el mismo sistema de coordenadas de los demás *shapefile*. A continuación, tomando como base el *buffer* (pero desactivando previamente la alineación para evitar que el programa sitúe de forma automática los vértices de la línea base sobre los del *buffer*), se digitaliza la línea de base.

Una vez finalizada la edición, se abre la tabla de atributos y se añaden dos nuevos campos a la tabla, necesarios para trabajar con la extensión DSAS (ambos de tipo corto). Uno se llamará 'OFFshore' y el otro se llamará 'CastDir'. A continuación, hay que activar de nuevo la edición y rellenar el campo 'OFFshore' con un cero, lo que significa que la línea base está hacia tierra de las líneas de costa. El campo 'CastDir' se rellena con un 1, lo que significa que los transectos se trazarán a la derecha de la línea base según la dirección de estas. Por último, en el campo *ID*, sustituir el cero que aparece por defecto por un 1. Una vez hecho esto, se detiene la edición y se elimina el *buffer*.

La extensión DSAS no trabaja directamente con *shapefile*, por lo que es necesario que los datos de partida estén incluidos como clases de entidad dentro de una *geodatabase*, un tipo de archivo característico de ArcGIS que funciona como una carpeta contenedora o colección de varios tipos de



datos. Una vez creada la *geodatabase*, se deben importar los *shapefile* (importar clase de entidad, simple). Una vez añadidos los pies de duna y la línea base, se pueden eliminar de la tabla de contenidos los *shapefile* y trabajar con las clases de entidad correspondientes. Es posible modificar la simbología de la clase de entidad de los pies de duna para que cada línea se vea en un color distinto.

El siguiente paso es visualizar la barra de herramientas DSAS (previamente instalada). En la primera pestaña que aparece, *CAST TRANSECT SETTINGS*, se especifica cómo se van a trazar los transectos. Se selecciona como *BASELINE LAYER* la clase de entidad correspondiente a la línea base creada. A continuación se marca la opción *ONSHORE* para indicar que la línea base está hacia el interior respecto a la línea de costa, y se selecciona un espaciado entre transectos de 100 m y una longitud de transectos mayor a 500 m (dependiendo de las distancias entre las líneas de costa esta longitud puede ser mayor o menor), para que los transectos corten en su totalidad las líneas de costa. Como *CAST DIRECTION* se debe poner la dirección hacia dónde deben ser trazados los transectos respecto a la línea base (esto dependerá de la orientación de la costa).

En la segunda pestaña, *SHORELINE CALCULATION SETTINGS*, se especifica el nombre de la capa de líneas de costa y los campos correspondientes a la fecha y al nivel de incertidumbre que se muestra por defecto. Hay que dejar el tipo de intersección configurada automáticamente.

En la tercera pestaña, *METADATA SETTINGS*, se deben rellenar los metadatos del trabajo. Se puede especificar cualquier cosa, lo único importante es no dejar huecos en blanco, ya que de lo contrario el programa no funcionará.

El siguiente paso es utilizar *CAST TRANSECTS* (de la barra de herramientas del DSAS). Al abrirla, hay que comprobar que como lugar de almacenamiento (*TRANSECT STORAGE*) está seleccionada la *geodatabase* de trabajo; en la segunda casilla hay que escribir un nombre para la clase de entidad que se generará con los transectos. Se deja el resto de opciones configuradas por defecto. El programa dibujará de forma automática los transectos con las características que se han introducido. Si hay transectos que se cruzan entre sí o no son perpendiculares a las líneas de costa, hay que corregirlos editando la capa. Se activa el editor y, haciendo *zoom*, se comprueba si hay algún transecto para modificar. En el caso de que los haya, se selecciona mediante el botón de la *HERRAMIENTA DE EDICIÓN* y se hace clic en *Editar vértices*. De este modo, se visualizan los vértices inicial y final de cada transecto y se pueden mover para que este tenga las características correctas (Figura 35).

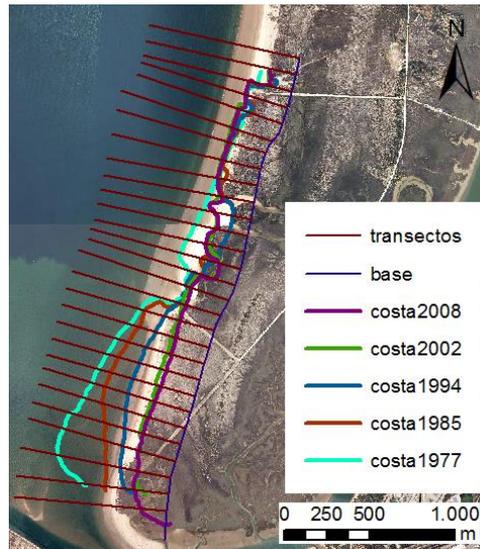


Figura 35 Ejemplo de transectos trazados sobre las líneas de costa en la flecha de Valdelagrana (El Puerto de Santa María, Cádiz). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS sobre ortofotografía del PNOA.

A continuación, en la barra DSAS se selecciona la capa de transectos creada con la flecha junto a *TRANSECT LAYER* y, seguidamente, se pulsa *CALCULATE CHANGE STATISTICS*. En la ventana que se abre, se marcan todas las estadísticas y se dejan las opciones que aparecen por defecto. Finalmente, se realiza el cálculo pulsando *CALCULATE*.

Cuando aparezca en pantalla "*Run complete, results received*", significa que el programa ha funcionado y se han realizado los cálculos. Entonces se cierra la ventana y se pone la tabla de contenidos en modo 'Lista por fuente'. Se observan dos tablas nuevas, una llamada 'transectos_intersect', que contiene las coordenadas de las intersecciones transectos-líneas de costa, y otra llamada 'transectos_rates', que contiene las tasas de cambio de la línea de costa calculadas para cada transecto según los diferentes métodos estadísticos seleccionados anteriormente. Se abre esta última y se observa su contenido. Cada fila representa un transecto y cada campo (columna) tiene un significado. Los más relevantes son:

- TCD del inglés *Transect Change Distance* (metros): distancia a lo largo de la línea base, desde su comienzo hasta el punto de partida del transecto.
- EPR, del inglés *End-Point Rate* (metros/año): tasa de punto final, en la que únicamente se tienen en cuenta la línea de costa más antigua y la más reciente, ignorando la información de las fechas intermedias. Las negativas indican erosión y las positivas, acreción. Tiene una unidad limitada, ya que se pierden los datos sobre posibles cambios de tendencia, ciclicidades, cambios en la magnitud de las tasas, etc.
- SCE, del inglés *Shoreline Change Envelope* (metros): distancia entre las líneas de costa más cercana y más lejana a la línea base. Representa el cambio total, la máxima variabilidad de la línea de costa a lo largo del tiempo, independientemente de las fechas en que se hayan producido los cambios o su signo (erosión/acreción).



- NSM, del inglés *Net Shoreline Movement* (metros): distancia entre la línea de costa más antigua y la más reciente. Representa la distancia de cambio neto, sin tener en cuenta lo que haya sucedido en fechas intermedias.
- LRR, del inglés *Linear Regression Rate* (metros/año): tasa de regresión lineal. La tasa de cambio de la línea de costa se calcula como la pendiente de la recta de regresión entre las fechas y distancias a la línea base. Es la medida que más se emplea para expresar las velocidades de cambio costero.
- LR^2 , del inglés *R-Squared of Linear Regression* (adimensional 0-1): coeficiente de determinación de ajuste lineal o valor de R^2 , que expresa la proporción de la varianza de los datos que se explica por la regresión.

Para más detalles sobre la herramienta, consultar el manual de DSAS¹¹.

La cuantificación de los cambios en la línea de costa sirve para obtener información sobre el estado erosivo/acrecional de la playa. No obstante, también debe medirse su superficie total, considerada como la superficie ocupada por la arena no sumergida o que queda expuesta en algún momento del ciclo mareal y que se extiende desde la bajamar viva hasta las primeras dunas embrionarias. Es importante realizar las mediciones siempre en condiciones de bajamar para favorecer una correcta comparativa entre mediciones sucesivas, para evitar subestimaciones erróneas y también para incluir la zona de la playa más importante desde el punto de vista de la conservación, como es la franja intermareal.

Además, los tipos de hábitat presentes en las playas deben ser analizados por separado, ya que son tipos de hábitat específicos. Los llanos fangosos o arenosos (THIC 1140 Llanuras mareales), las playas estuarinas, cordones relictos y *cheniers*, las arribazones y bermas de tormenta (THIC 1210 Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados), y los depósitos de desbordamiento, son tipos de hábitat con unas características determinadas y fácilmente reconocibles mediante fotografía aérea que facilitan su delimitación sobre el terreno. En el Anexo I se muestran ejemplos de su delimitación. Algunos son de pequeño tamaño, por lo que se recomienda aumentar la escala de trabajo para que su delimitación sea lo más exacta posible, en la medida en la que la calidad de la ortofotografía lo permita.

4.3.1. Playas estuarinas y llanos arenosos intermareales

Las playas estuarinas y llanos arenosos intermareales (THIC 1140 Llanuras mareales) están asociados a deltas mareales de flujo y reflujo localizados en las desembocaduras de los estuarios y lagunas costeras conectadas con mar abierto (Morales *et al.* 2009). Estos dos tipos de hábitat no aparecen necesariamente ligados, de modo que es posible encontrar llanos arenosos en zonas en las que no existen playas estuarinas. El criterio principal en la diferenciación de estos dos tipos de hábitat es el color del sedimento en la fotografía aérea. Así, aquellos que presentan un color más oscuro se corresponden con llanos arenosos que se inundan periódicamente por la acción de las mareas, y los sedimentos más claros se asocian a las playas estuarinas, que no se inundan con tanta frecuencia. Una

¹¹ <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/index.html>



parte de los llanos arenosos queda expuesta en bajamares amplias, por lo que el límite para cada zona debe definirse según los periodos de inundación característicos.

4.3.2. Cordones relictos y *cheniers*

Los *cheniers* son depósitos arenosos sobre sedimentos limosos o arcillosos, aislados de la costa por llanuras mareales que se reconocen fácilmente por la diferencia de textura y color blanco de la arena ubicada sobre los depósitos oscuros de marisma. Los cordones relictos y *cheniers* no se encuentran entre los THIC, posiblemente debido a la falta de información específica sobre su desarrollo. Es por esto que se destaca la necesidad de realizar estudios concretos sobre ellos.

4.3.3. Arribazones y bermas de tormenta

Los arribazones (depósitos marinos acumulados) y bermas de tormenta (THIC 1210 Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados) son tipos de hábitat muy inestables que se presentan en las playas bajo unas condiciones oceanográficas y climáticas determinadas. Las características de este tipo de hábitat hacen que su delimitación por ortofotografía sea muy complicada, ya que son efímeros o, en la mayoría de los casos, retirados artificialmente. Su delimitación es clara: se trata de "manchas" de vegetación sobre la arena de la playa.

4.3.4. Depósitos de desbordamiento

Por último, las características de los abanicos de desbordamiento corresponden a una formación frágil e inestable (dependiendo de las condiciones climáticas). El método de cálculo de superficie ocupada de este tipo de hábitat debe basarse fundamentalmente en el trabajo de campo, ya que debe identificarse la forma dependiendo del tipo de playa o depósito sedimentario en el que se haya desarrollado el tipo de hábitat y las dimensiones de la zona de acúmulo. Una vez delimitada la superficie ocupada se calcula el área de cada abanico mediante la herramienta para calcular geometrías (*CALCULATE GEOMETRY*). Esta herramienta permite conocer otro tipo de información como el número de abanicos, la superficie total abarcada por los abanicos, o la media de superficie por abanico y año.

4.4. Dunas

Los límites entre los diferentes tipos de sistemas dunares están sujetos a cierta superposición, por lo que la identificación puede suponer zonas comunes para dos tipos de hábitat distintos. La diferenciación de estos límites se lleva a cabo identificando cambios en el color de la vegetación o en el del terreno del sistema dunar y cambios en la textura de la imagen (Figura 36). La localización a lo largo del sistema dunar también es un indicador de zonación en estos tipos de hábitat. Por ejemplo, la vegetación de las dunas pioneras o dunas con *Ammophila arenaria* no se encontrará pasada la franja de vegetación oscura perteneciente a dunas con *Juniperus* spp.



De manera general, la identificación de los diferentes tipos de hábitat dunares puede llevarse a cabo a una escala 1:10.000. Si bien es cierto que algunos sistemas dunares pueden requerir escalas más pequeñas (1:5.000, 1:2.000 o incluso 1:1.000).

Los criterios para la delimitación de los sistemas dunares en los tipos de hábitat presentes son los siguientes: las dunas con pinos (THIC 2270* Dunas con bosques de *Pinus pinea* y/o *Pinus pinaster*)¹², en color naranja, se encuentran en la parte alta del sistema; y con una vegetación más densa y de color verde oscuro, en la parte inferior se observan pequeñas manchas de dunas con *Juniperus* spp. (THIC 2250* Dunas litorales con *Juniperus* spp.), delimitadas en amarillo. Este último tipo de hábitat se caracteriza por presentar manchas de vegetación con forma circular, no tan densas como las que muestran los pinos. Las dunas con céspedes (THIC 2230 Dunas con céspedes del *Malcomietalia* y THIC 2240 Dunas con céspedes del *Brachypodietalia* y de plantas anuales), en un color verde claro, se superponen a los límites de las dunas con *Juniperus* spp. (THIC 2250) y se caracterizan por presentar un color marrón más difuminado, con textura difusa que se sitúa en la zona inmediatamente superior a las dunas con *Ammophila arenaria* (THIC 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas)). Estas últimas, delimitadas en rojo, constituyen una franja del sistema dunar correspondiente al primer cordón, con manchas de vegetación en un tono verde/marrón que se identifican con facilidad por encontrarse en primera línea del sistema dunar, junto con las plantas pioneras de las dunas embrionarias (THIC 2110 Dunas móviles embrionarias).

¹² Los tipos de hábitat de interés comunitario que se señalan con un asterisco (*) son considerados prioritarios.



Figura 36 Delimitación de los tipos de hábitat dunares en el sistema dunar de Pals (Girona), a escala 1:4.000. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

4.5. Marismas

Las marismas presentan una zonación fuertemente marcada por las condiciones físicas en las que se encuentran. Gracias a esto, la delimitación se hace algo más sencilla, teniendo en cuenta que son tipos de hábitat difíciles de caracterizar por su alta densidad de vegetación y porque los cambios topográficos del terreno no son fáciles de identificar con ortofotografías.

En proyectos anteriores se ha descrito la fugacidad de las especies que constituyen este tipo de hábitat, que se establecen y completan su ciclo en solo unos meses. Además, a menudo ocupan áreas que están inundadas parte del año o espacios entre formaciones perennes de quenopodiáceas leñosas (*Sarcocornia*, *Arthrocnemum*, *Suaeda*) sobre suelos salinos que también se encharcan durante parte del año. Todo esto les convierte en tipos de hábitat muy oscilantes, con límites que, aunque potencialmente tienen una superficie definida, pueden variar anualmente (Espinar 2009).

La zonación en los tipos de hábitat de marisma (Figura 37) depende de la altura del terreno. En la parte superior de la marisma (marisma alta), donde raramente llega la influencia de las mareas, se sitúan los pastizales salinos mediterráneos, matorrales halonitrófilos, estepas salinas mediterráneas y matorrales halófilos. A continuación, en la franja inmediatamente inferior (marisma media) se encuentran los pastizales salinos atlánticos y la franja dominada por *Sarcocornia* y *Salicornia*, con ligeras manchas de *Spartina maritima*, así como el THIC 1310 Vegetación anual pionera con *Salicornia*



y otras especies de zonas fangosas o arenosas (i.e. vegetación halonitrófila anual sobre suelos salinos poco evolucionados). Por último, las zonas afectadas diariamente por la acción de las mareas son los pastizales de *Spartina* y las llanuras fangosas mareales, con presencia de macroalgas enraizadas y fanerógamas marinas.

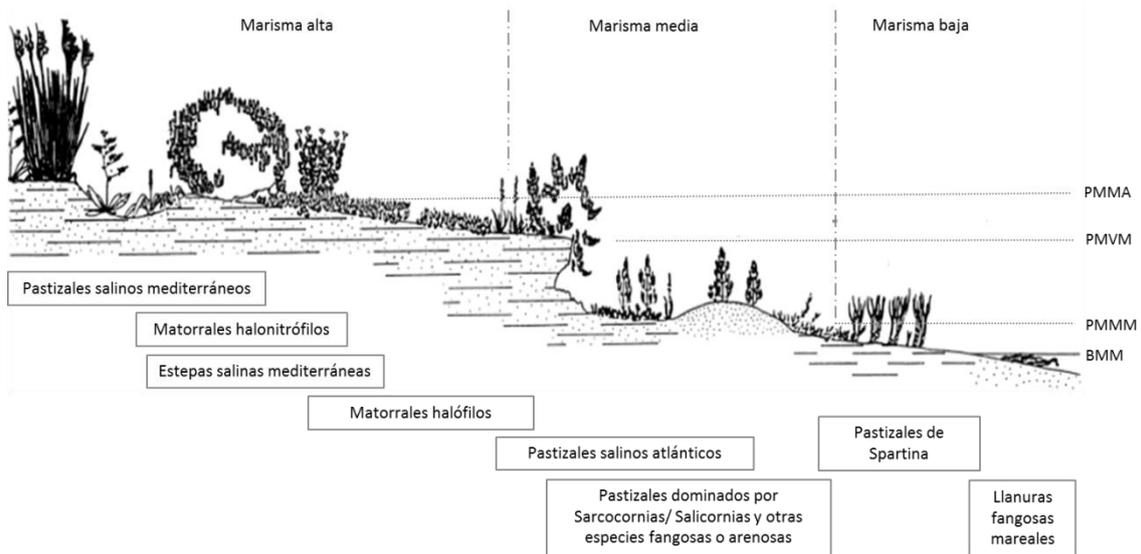


Figura 37 Zonación típica de un tipo de hábitat de marisma Fuente: extraída de Onaindía & Navarro (1987).

En la Figura 38 se muestra una zonación sobre una ortofotografía obtenida del PNOA. En la parte superior de la marisma se encuentran los matorrales halófilos. Se caracterizan por ser una franja muy estrecha, de color claro, que nunca se inunda por los efectos de las mareas. En la franja inmediatamente inferior se encuentran los pastizales dominados por *Sarcocornia* y *Salicornia*: una franja de vegetación muy densa, que apenas presenta canales y caños, y que se caracteriza por ser de color pardo o rojizo. La zona de pastizales de *Spartina*, a continuación de los anteriores, sí presenta una estructura de caños mareales muy marcada, con un tono verde oscuro y con franjas carentes de vegetación. En último lugar, se encuentran las llanuras fangosas mareales, con un color similar al de los pastizales de *Spartina*, aunque más claro y con mayor densidad. Estos se identifican, en gran medida, por la gran superficie que ocupan y la localización en la parte más baja de la marisma, tras la ausencia de vegetación, en una zona donde afecta notablemente el régimen mareal dejando algunas zonas permanentemente sumergidas.

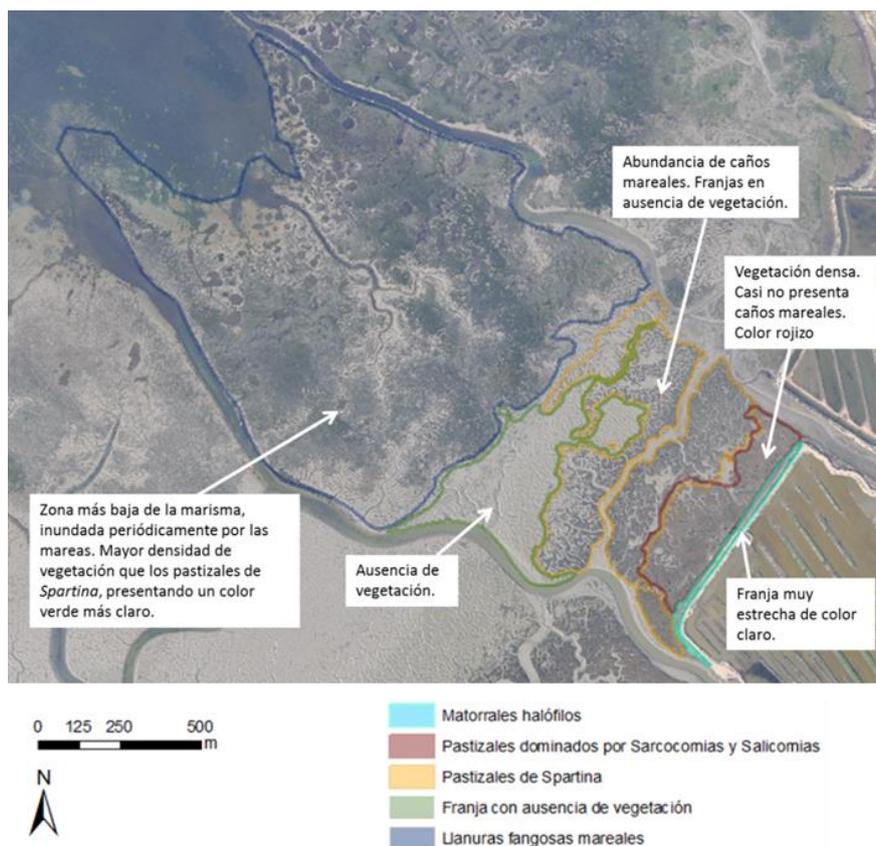


Figura 38 Delimitación de la superficie ocupada por los tipos de hábitat de marisma, en las marismas del saco interno de la bahía de Cádiz. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10. 5 sobre ortofotografía del PNOA.

La escala de trabajo recomendada en este caso es de 1:10.000. Al igual que en los casos anteriores, está sujeta a modificaciones dependiendo de las características del tipo de hábitat. No es recomendable trabajar a una escala con demasiado detalle ya que los límites de los colores entre distintas franjas de vegetación se distorsionan.

4.6. Marjales y lagunas costeras

Una laguna costera (THIC 1150* Lagunas costeras) no es un tipo de hábitat independiente del entorno, sino que constituye parte de un humedal en el cual se encuentran otros tipos de hábitat relacionados con la laguna. La superficie de la laguna es una parte del complejo del humedal, cuya superficie se debe calcular como el tamaño máximo ocupado durante la estación más favorable (generalmente en invierno) por la lámina de agua abierta. A su alrededor se dispondrán las zonas de vegetación perilagunar.

Dadas las características del tipo de hábitat, los procedimientos para el cálculo de su superficie ocupada se describen en Camacho *et al.* (2019).



4.7. Salinas

Las salinas son masas de agua costera modificadas por la acción antrópica para la extracción de sal. Originariamente como cuerpo unido, una salina está dividida en muchos cuerpos de agua someros, alimentados de agua marina o salmuera, formando esteros que se denominan evaporadores, concentradores y cristalizadores dependiendo de la salinidad de la salmuera.

Las salinas constituyen un ejemplo paradigmático de modificación antrópica del paisaje natural, que a veces llega a alcanzar grandes extensiones. Se trata de uno de los casos más destacados de geomorfología antrópica (Nir 1983), en el que el ser humano ha transformado la geometría del relieve dando lugar a un paisaje nuevo e inconfundible (Gracia *et al.* 2017).

En este caso, al tratarse de tipos de hábitat modificados, la delimitación viene marcada por los muros exteriores (vuelta de fuera; Figura 39). La superficie ocupada debe incluir todos los esteros independientemente de la fase de explotación en la que se encuentre la producción de la sal. El límite debe pasar por el margen externo de dichos muros, recogiendo toda la superficie ocupada por la salina y evitando así diferencias en las acotaciones para distintos años. Preferentemente debe realizarse durante la época en la que no haya producción y, si es continua, durante el invierno.

Las superficies ocupadas por las salinas suelen ser de gran extensión, por lo que no es conveniente trabajar con una escala de poco detalle ya que la delimitación puede ser errónea en algunos casos. Se propone una escala 1:8.000 o 1:10.000, siempre pudiendo aumentarla o reducirla dependiendo de las características del ecosistema.

Por último, al tratarse de tipos de hábitat antropizados, los cambios en la superficie ocupada serán mínimos en la mayoría de los casos. Dependerá del grado de explotación de la salina que sufra cambios significativos en sus muros de contención. Así, se propone una periodicidad anual o bienal, siempre dependiendo de la disponibilidad de fotografías aéreas u ortofotografías que se vayan a utilizar.

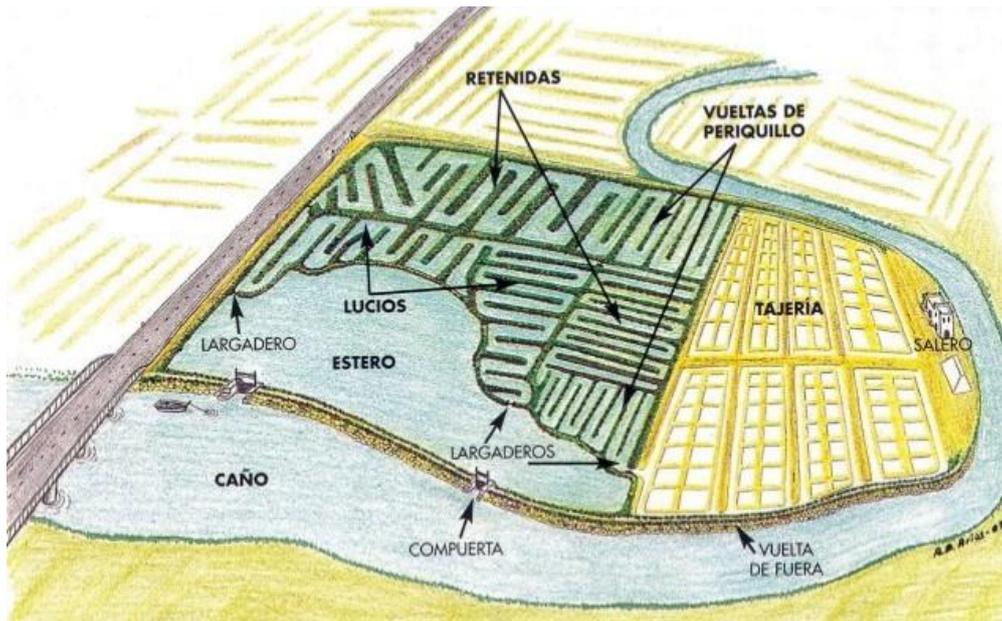


Figura 39 Esquema de una salina seminatural. Los nombres de cada zona que forma la salina cambian según la región. Autor: A. M. Arias¹³.

4.8. Estuarios mareales y rías

Según la Directiva Marco del Agua (DMA)¹⁴, las aguas de transición son “masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce”. Esta definición, aunque es aplicable a los estuarios y deltas, incluye todos los tipos de hábitat estuarinos, tanto los estuarios clásicos (THIC 1130 Estuarios) como las lagunas costeras (THIC 1150* Lagunas costeras) y humedales, siempre que tengan una influencia significativa de aportes de agua dulce.

Así, las aguas de transición no solo incluyen estuarios y deltas sino también otros tipos de hábitat costeros como playas, dunas, lagunas costeras, marismas y, en el caso de los deltas, pequeños estuarios en las propias desembocaduras de los canales principales. Por lo tanto, para la definición de la superficie ocupada por estos tipos de hábitat sería interesante integrar las metodologías descritas en los apartados correspondientes a cada uno de ellos, si bien también podría determinarse de manera conjunta para este grupo.

En el caso de la delimitación de la superficie ocupada es aconsejable tomar como referencia los diferentes trabajos realizados para la implementación de la DMA llevados a cabo por las confederaciones hidrográficas (Ibáñez *et al.* 2009).

De manera general, las confederaciones hidrográficas definen aguas de transición del mismo modo que la DMA pero añadiendo, en algunos casos, una superficie mínima de 0,5 km² (Confederación

¹³ Figura extraída de <http://profundizasalinan.blogspot.com.es/p/sesion-3.html>

¹⁴ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas



Hidrográfica del Júcar 2015) e integrando en otros los lagos, lagunas o zonas húmedas que, verificando los criterios de profundidad especificados para la categoría de lagos en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), son parcialmente salinos como consecuencia de su proximidad a aguas costeras pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce.

En cuanto a los límites de las aguas de transición (Figura 40), se establece como límite interno el espacio previsiblemente inundado por la máxima pleamar en mareas vivas equinocciales, que queda reflejado por la presencia de vegetación halófila característica. Según la DMA, el límite con las aguas costeras se define por criterios fisiográficos.

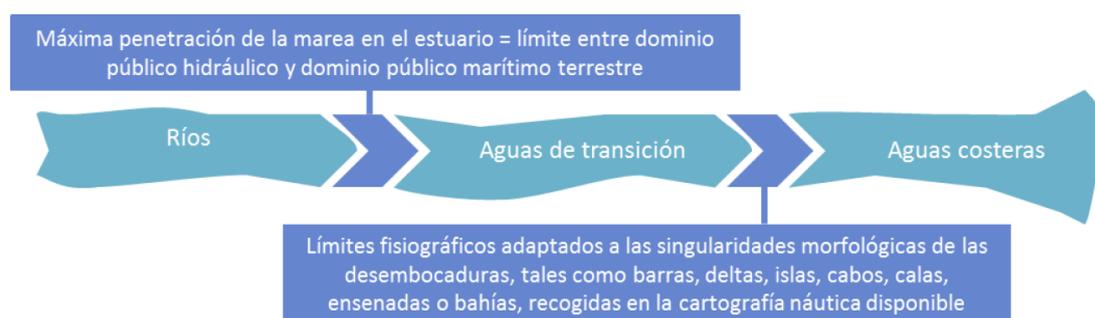


Figura 40 Delimitación de masas de agua de transición con ríos y aguas costeras. Fuente: extraída del Plan Hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.

La escala a la que se debe delimitar este tipo de hábitat debe ser en detalle, ya que la identificación de la cuña salina y la de los límites de los estuarios puede ser errónea a escalas pequeñas. Por esto se propone, como mínimo, una escala 1:25.000 (deberá ser de mayor detalle en la mayoría de los casos, dependiendo de las dimensiones del sistema).

Las confederaciones hidrográficas ofrecen visores *online* y cartografía descargable en sus páginas web donde, en la mayoría de los casos, aparecen delimitadas las aguas de transición. En caso de no estar delimitadas, es posible la delimitación *online* sin necesidad de descargar los ficheros cartográficos, con la cuantificación de la superficie ocupada. En la Tabla 2 aparecen recogidos todos los enlaces de las páginas web de las confederaciones hidrográficas, junto con el enlace para encontrar los documentos de los planes hidrológicos de cada cuenca. La información es descargable y está actualizada para todas las confederaciones hidrográficas. Además, proporcionan otro tipo de información que puede ser útil para la caracterización de las masas de agua (planes hidrológicos antiguos, actuaciones de gestión del Dominio Público Hidráulico (DPH), infraestructuras hidráulicas, usos del agua, cartografía, estudios, etc.).



Tabla 2 Enlaces directos de las páginas web y planes hidrológicos de las confederaciones hidrográficas. Fuente: elaboración propia.

Confederación Hidrográfica	Enlace web	Enlace de descarga del Plan Hidrológico
Cantábrico oriental	http://www.chcantabrico.es/index.php/es/	https://www.chcantabrico.es/planes-hidrologicos-2021-2027
Ebro	http://www.chebro.es/	http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=6923&idMenu=2240
Guadalquivir	http://www.chguadalquivir.es/inicio	http://www.chguadalquivir.es/demarcacion-hidrografica-guadalquivir
Guadiana	http://www.chguadiana.es/	http://planhidrologico2015.chguadiana.es/?corp=planhidrologico2015&url=61
Júcar	http://www.chj.es/es-es/Organismo/Paginas/Organismo.aspx	http://www.chj.es/es-es/Organismo/Memoriasdeactuaciones/Paginas/Memorias.aspx
Miño-Sil	https://www.chminosil.es/es/	https://www.chminosil.es/es/chms/planificaciohidrologica
Segura	http://www.chsegura.es/chs/index.html	http://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/planificacion15-21/

A continuación, se muestran aquellas confederaciones que tienen sus visores actualizados. La delimitación de las masas de agua de transición se puede hacer *online* o descargando la información que ofrece cada confederación hidrográfica, así como la información cartográfica de organismos nacionales y autonómicos.

■ Confederación Hidrográfica del Cantábrico oriental

Visor cartográfico: <http://sig.chcantabrico.es/sigweb/>

La Confederación Hidrográfica del Cantábrico oriental cuenta con la delimitación de las aguas de transición (Figura 41). En este caso, basta con seleccionarlas en la *TABLA DE CONTENIDOS* () y obtener la *INFORMACIÓN DE LA CAPA* ()

Además, ofrece la posibilidad de delimitar la masa de agua de nuevo con la *HERRAMIENTA DE DIBUJO Y MEDIDA* ()

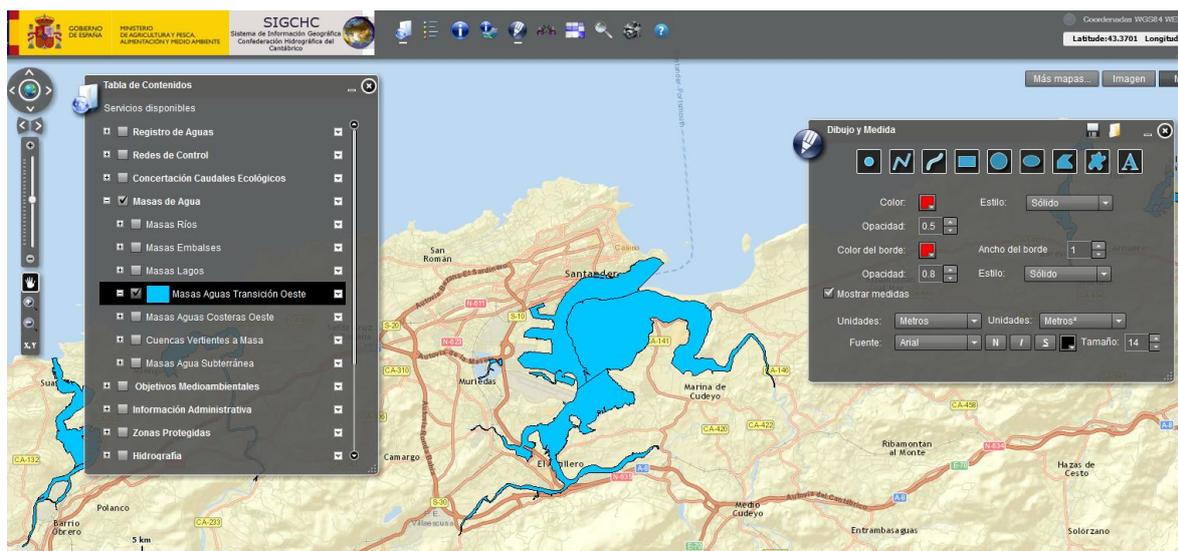


Figura 41 Delimitación de las aguas de transición de la ría de Santander, en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico oriental. Fuente: extraída del visor del SIGCHC (Sistema de Información Geográfica de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico)¹⁵.

■ Confederación Hidrográfica del Ebro

Visor cartográfico: <http://iber.chebro.es/SitEbro/sitebro.aspx>

Se trata de un visor general, y no describe las aguas de transición. Posee una herramienta para medir distancias y superficies. En este caso, sería necesario aplicar los criterios definidos por el Plan Hidrológico del Ebro como aguas de transición o los criterios generales establecidos para cualquier agua de transición nacional. Se puede utilizar el visor con la ortofotografía del PNOA de fondo para facilitar el proceso de delimitación de superficie ocupada.

■ Confederación Hidrográfica del Miño-Sil

Visor cartográfico: <https://www.chminosil.es/es/ide-mino-sil>

El visor ofrece delimitadas las aguas de transición, pero el acceso a la información de las capas es limitado. Se recomienda medir la superficie con la herramienta *MEDIR/DIBUJAR* () , que ofrece la posibilidad de calcular la superficie ocupada por el polígono dibujado (Figura 42).

¹⁵ <http://sig.chcantabrico.es/sigweb/>

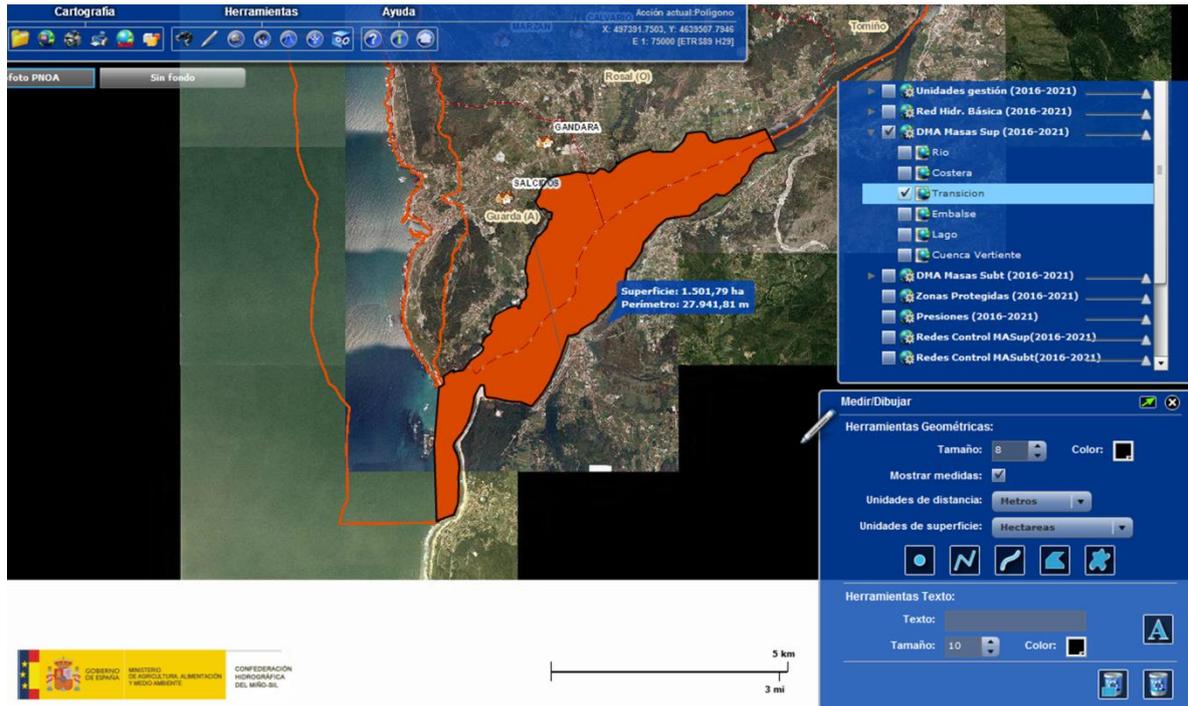


Figura 42 Delimitación de la superficie ocupada por las aguas de transición (estuario del Miño). Fuente: extraída del visor cartográfico de la Confederación Hidrográfica del Miño-Sil¹⁶.

■ Confederación Hidrográfica del Segura

Visor cartográfico: <http://www.chsegura.es/chsic/>

No aparece una delimitación exacta de aguas de transición. Es necesario delimitar las masas de agua a través de la herramienta *online* o la descarga de cartografía en la página web de la confederación.

Como primera aproximación y punto de referencia para los trabajos futuros, los servicios ofrecidos por las distintas confederaciones hidrográficas son válidos para la definición de la superficie ocupada por las aguas de transición. Aun así, es importante resaltar la necesidad de una delimitación más exhaustiva desde el punto de vista geomorfológico ya que se considera esencial para el desarrollo de los tipos de hábitat específicos presentes en la mayoría de los estuarios españoles. La cartografía ideal para estas zonas se muestra en las Figuras 43, 44 y 45.

En estas figuras se muestran todos los elementos presentes en el estuario de Ribadesella a lo largo de los años, y su transformación y evolución desde 1878 a la actualidad. La realización de cartografía histórica requiere de unos conocimientos previos y un estudio bibliográfico exhaustivo que probablemente exceda los objetivos de este trabajo. A pesar de ello, la cartografía actual es relativamente sencilla y deben tenerse en cuenta todas las unidades morfo-sedimentarias asociadas, tal y como muestran las Figuras 43, 44 y 45. La necesidad de evaluar los cambios en la superficie

¹⁶ <https://www.chminosil.es/es/ide-mino-sil>



ocupada por un tipo de hábitat es importante tanto a nivel global (ejemplos de las confederaciones hidrográficas) como a nivel local ya que, debido a la fuerte relación entre las unidades morfo-sedimentarias, una variación en la superficie de una de ellas puede ocasionar cambios notables en la distribución total y, por tanto, en su superficie ocupada.

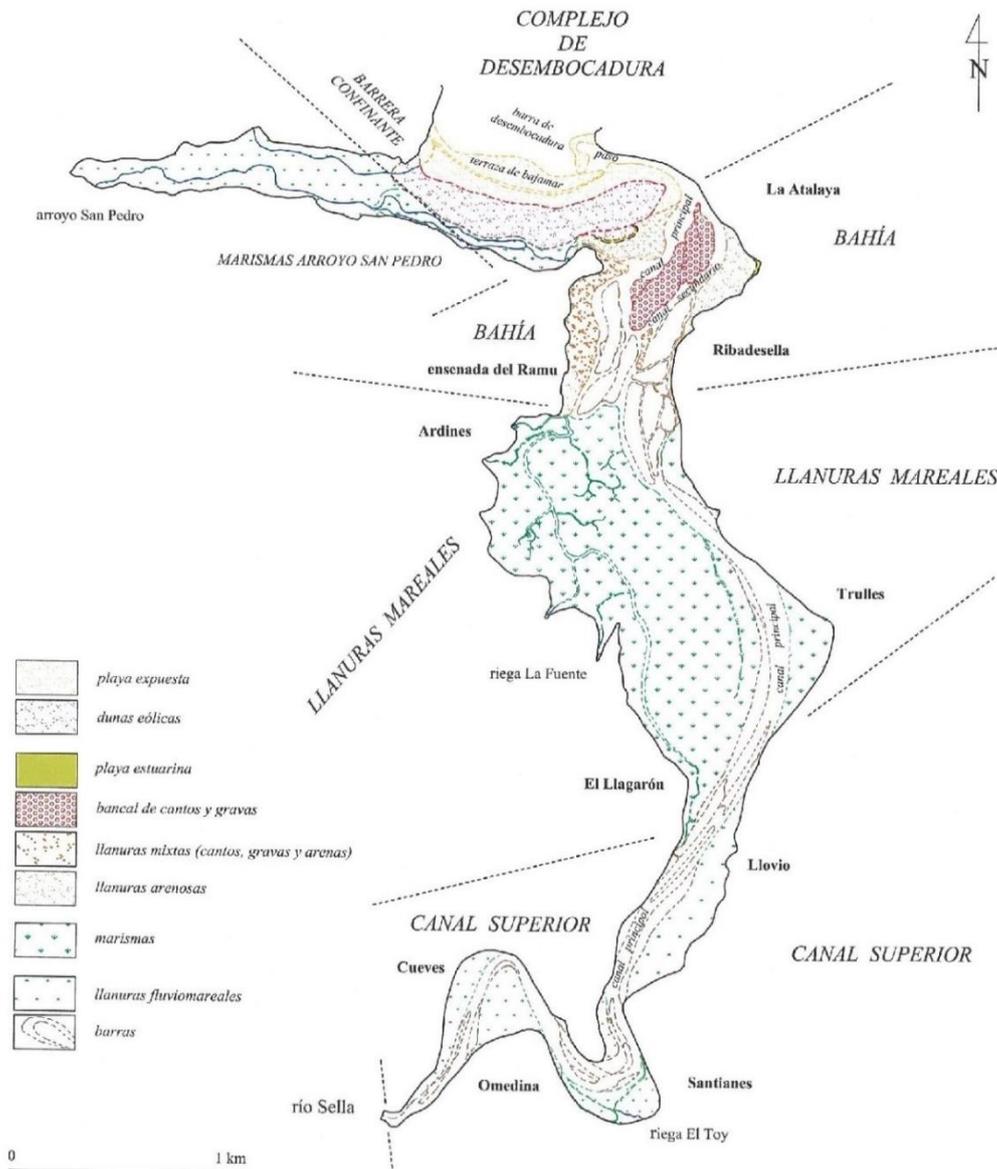


Figura 43 Zonación geomorfológica y distribución de las unidades morfosedimentarias del estuario de Ribadesella, en su funcionamiento natural, a partir de los planos de D. Pedro Riudavets (1878) y D. Antonio Alcalá Casano (1875). Fuente: extraída de López (2015).

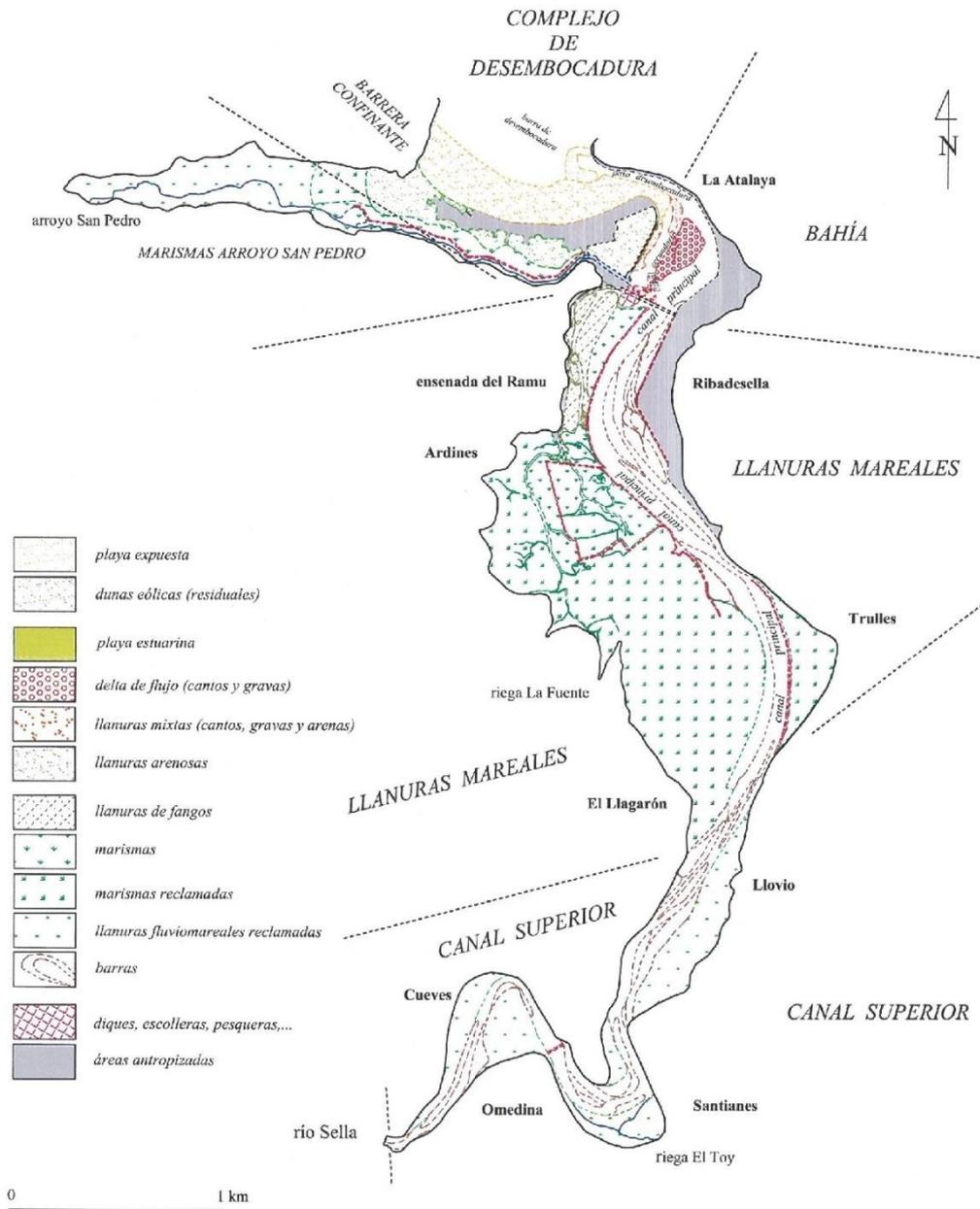


Figura 44 Zonación geomorfológica y distribución de las unidades morfosedimentarias del estuario de Ribadesella en 1957. Fuente: extraída de López (2015).

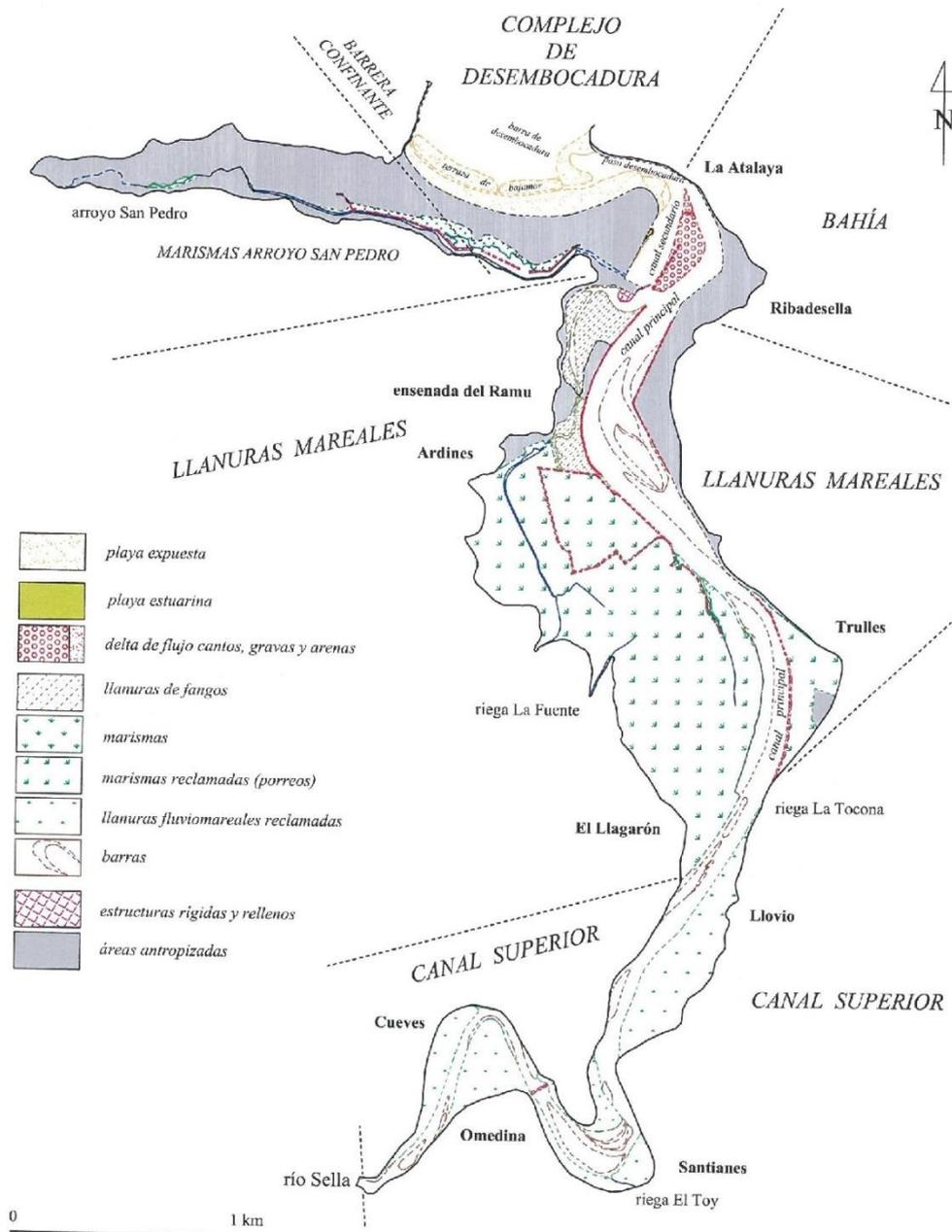


Figura 45 Zonación geomorfológica y distribución de las unidades morfosedimentarias del estuario de Ribadesella en 2012. Fuente: extraída de López (2015).

4.9. Deltas mediterráneos

Los deltas mediterráneos también son considerados aguas de transición. Al igual que los estuarios mareales y micromareales, están asociados a otros tipos de hábitat específicos como playas, dunas, lagunas costeras, etc. Todos ellos forman parte de la superficie total ocupada por el tipo de hábitat.



El límite interior para la delimitación de los deltas mediterráneos es aquel definido para las aguas de transición, es decir, el alcance aguas arriba de la cuña salina. El límite exterior es más claro que en el caso de los estuarios. Se reconoce fácilmente por fotografía aérea.

La delimitación debe hacerse al nivel de detalle expuesto para los estuarios mareales, sin olvidar que ambas son zonas de transición y que tienen una fuerte componente geomorfológica a tener en cuenta, tanto en su delimitación como en su evaluación.

La escala de delimitación no necesita tanto detalle como los tipos de hábitat anteriores. Dependiendo del tamaño se recomienda usar escalas entre 1:25.000 y 1:50.000.



5. REFERENCIAS

- Anders F J & Byrnes M R. 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*. 59(1): 17-26.
- Balaguer P, Fornós J J & Gómez-Pujol L. 2008. Determinación de retroceso de los acantilados en las bahías de Alcúdia y Pollença por georreferenciación lineal. En: Benavente J & Gracia F J (eds.) *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008*. Actas de la X Reunión Nacional de Geomorfología, Cádiz.
- Bird E C F. 2008. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. 2nd edition. John Wiley & Sons. New York.
- Camacho A, Morant D, Ferriol C, Santamans A C, Doña C, Camacho-Santamans A, Picazo A. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat leníticos de interior. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.
- Carrillo de Albornoz P, Royo L, Marbà N & Duarte C M. 2009. 1160 Grandes calas y bahías poco profundas. 86 pp. En: VV.AA. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.
- Chust G, Galparsoro I, Borja A, Franco J & Uriarte A. 2008. Coastal and estuarine habitat mapping, using LIDAR height and intensity and multi-spectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 78: 633-643.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. 2015. *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar*. Memoria. Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 852 pp.
- Danforth W W & Thieler E R. 1992. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. User's Guide Version 1.0. United States Department of the Interior. Geological Survey. Open-file report 92-355.
- Davies J L. 1973. *Geographical variations in coastal development*. Hafner Pub. Co. New York. 204 pp.
- Del Río L & Gracia F J. 2007. Análisis de la vulnerabilidad de los acantilados atlánticos de la provincia de Cádiz ante la erosión costera. *Cuaternario y Geomorfología*. 21(1): 87-101.
- Dolan R, Fenster M S & Holme S J. 1992. Spatial analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*. 8(2): 263-285.
- Espinar J L. 2009. 1310 Vegetación halonitrófila anual sobre suelos salinos poco evolucionados. 70 pp. En: VV.AA. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Flor G. 2004. *Geología Marina*. Servitec. Oviedo. 576 pp.
- Garrote J & Garzón G. 2004. Análisis del retroceso del frente de costa usando fotogramas aéreos, Oyambre (Cantabria). pp. 51-65. En: Blanco R, López J & Pérez-Alberti A (eds.) *Procesos geomorfológicos y evolución costera*. Universidade de Santiago de Compostela.
- Gibb J G. 1978. Rates of coastal erosion and accretion in New Zealand. *New Zealand Journal of marine and freshwater research*. 12(4): 429-456.



Gracia F J, Alonso C & Abarca J M. 2017. Evolución histórica y geomorfología de las explotaciones salineras en marismas mareales. Ejemplos de la bahía de Cádiz. *Cuaternario y Geomorfología*. 31(1-2): 45-72.

Ibáñez C, Caiola N, Nebra A & Wessels M. 2009. 1130 Estuarios. 73 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

López J. 2015. Evolución morfosedimentaria e histórica de los estuarios asturianos de Navia, Nalón, Avilés, Villaviciosa y Ribadesella. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. 307 pp.

Lorenzo F, Alonso A & Pagés J L. 2003. Evolución y erosión comparada de tres sistemas playa/flecha en las Rías de Ortigueira, O Barqueiro y Viveiro (Galicia, España). *Cuaternario y Geomorfología*. 17(1-2): 75-89.

Morales J A, Borrego J, Flor G & Gracia F J. 2009. 1110 Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda (*Bancales Sublitorales*). 57 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

Nir D. 1983. Man, a geomorphological agent. An Introduction to Anthropic Geomorfology. Keter Publishing House. Jerusalem. 165 pp.

Norcross Z M, Fletcher C H & Merrifield M. 2002. Annual and interannual changes on a reef-fringed pocket beach: Kailua Bay, Hawaii. *Marine Geology*. 190(3): 553-580.

Onaindía M & Navarro C. 1987. Vegetación de las marismas de Vizcaya. *MUNIBE (Ciencias Naturales)*. 39: 75-80.

Pérez-Alberti A, Blanco-Chao R, Otero-Otero M, Macías-García I & López-Bedoya J. 2009. Cambios ambientales detectados na costa de Galicia durante o Pleistoceno e Holoceno e dinámica actual. pp. 425-454. En: Pérez-Muñoz V (ed.) Evidencias e Impactos do Cambio Climático en Galicia. Xunta de Galicia. Consellería de Medioambiente e Desenvolvemento Sostible. Santiago de Compostela.

Pérez-Alberti A & Trenhaile A S. 2015. An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*. 40(1): 105-111.

Bibliografía adicional de interés

Camacho A, Borja C, Valero-Garcés B, Sahuquillo M, Cirujano S, Soria J M, Rico E, de la Hera A, Santamans A C, García de Domingo A, Chicote A & Gosálvez R U. 2009. 31 Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos de interior. 412 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

EEA (European Environment Agency). 2006. Corine land cover 2000 coastline. Data and maps. European Commission. Copenhagen. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-coastline>.



Royo L & Traveset A. 2007. Evolución geomorfológica y de vegetación del sistema dunar en la playa de Muro (N de Mallorca). Interacción entre la erosión dunar y establecimiento en la primera línea de vegetación. Informe final del proyecto UGIZC (Unidad de Gestión Integrada de la Zona Costera). 52 pp.

Wadsworth R & Treweek J. 1999. Geographic Information System for Ecology: An Introduction. Longman. Singapore.

Wetzel R G. 2001. Limnology. Academic Press. San Diego. 1006 pp.



ANEXO I. Cálculo de las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para al menos un tipo representativo de cada grupo de tipos de hábitat costeros

I.1 Introducción

El presente informe recoge los resultados de un caso de estudio de cálculo de tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' para al menos un tipo representativo de los siguientes grandes grupos de ecosistemas costeros en sus respectivos rangos de distribución, según los procedimientos descritos previamente en este trabajo: plataformas rocosas y acantilados, grandes calas y bahías poco profundas, playas, dunas, marismas, marjales y lagunas costeras, salinas, estuarios mareales y rías y deltas mediterráneos.

Los ecosistemas costeros presentan un alto dinamismo por lo que uno de los principales indicadores de su estado es la evolución morfológica temporal que han experimentado en las últimas décadas o años, así como las variaciones que experimentan en la actualidad.

Para la realización de esta tarea se propone una metodología, para los tipos de hábitat que lo permitan, basada en la combinación de trabajos de campo con el uso de sensores remotos, principalmente fotografías aéreas. También se recomienda el uso de todo tipo de datos históricos que puedan aportar información sobre la evolución que ha sufrido el ecosistema en los últimos años.

La escala también juega un papel fundamental en este apartado. No es posible trabajar con la misma escala para todos los tipos de hábitat descritos. Así, por ejemplo, los tipos de hábitat presentes en las playas necesitan más resolución para su cartografía y, en cambio, los estuarios mareales pueden aceptar una escala de trabajo más grande al tratarse, generalmente, de entornos con un área mayor. Se especificará, por tanto, en cada apartado, la escala recomendada.

Se tratará a su vez, en la medida de lo posible, de describir metodologías comunes de seguimiento de los tipos de hábitat costeros para simplificar las tareas de recolección de datos. Sin embargo, es la principal dificultad ya que, a pesar de tratarse de tipos de hábitat con características comunes y estar altamente relacionados entre sí, las características intrínsecas de cada uno de ellos hacen necesaria la definición de parámetros particulares inequívocos.

La superficie ocupada por todos los tipos de hábitat debe realizarse para dos niveles de información:

- Grandes grupos de tipos de hábitat: playas, dunas, marismas, marjales y lagunas costeras, deltas, estuarios, etc.
- Tipos de hábitat específicos para cada grupo: llanuras arenosas intermareales, cordones relictos y *cheniers*, abanicos de desbordamiento, arribazones y bermas de tormenta para el caso de las playas; dunas móviles con *Ammophila arenaria*, dunas fijas con *Juniperus*, spp. etc., para el caso de las dunas; y así para todos los grandes grupos de hábitat identificados.

Es decir, se delimitarán todos y cada uno de los tipos de hábitat presentes en el sistema y, además, la superficie total ocupada por el sistema en su conjunto.

El procedimiento de cálculo de la superficie ocupada debe realizarse para todos los ecosistemas de la región biogeográfica correspondiente, de tal forma que se obtenga como producto final una cartografía completa integrada de todos los tipos de hábitat presentes en cada región biogeográfica.



Por último, resulta conveniente destacar que se han realizado delimitaciones de la superficie ocupada de los distintos tipos de hábitat costeros por sectores, a modo de ejemplo. En la mayoría de los casos, debido a su extensión, no se han delimitado los tipos de hábitat completos. Para la obtención de resultados finales dentro de la evaluación de la superficie ocupada es necesario delimitar la superficie completa, de manera que se obtenga una información correcta del área que ocupan estos tipos de hábitat.

I.2. Acantilados y plataformas rocosas

A continuación, se presentan ejemplos de cálculo de la superficie ocupada en plataformas rocosas y acantilados siguiendo las descripciones proporcionadas anteriormente en este trabajo.

La información utilizada es la siguiente:

- MDT de 2 m de resolución (elaborado a partir de archivos LAS del LiDAR de 2010; IGN)
- Ortofotografía de 2005, hoja nº 6 (IGN)
- Ortofotografía de 2014, hoja nº 6 (IGN)
- Capa de toponimia de la costa (Xunta de Galicia)
- Mapa geológico 1:50.000, hoja nº 6 (IGME)
- Batimetría (IEO)
- Fondos marinos (IEO)
- *Software* ArcGIS 10.5
- Escala de delineación: 1:2.000

La metodología empleada se puede simplificar en los siguientes pasos:

1. Integración de toda la información en el programa ArcGIS 10.5.
2. Creación de dos *shapefile* (.shp) con los nombres 'Límite 2005' y 'Límite 2014'.
3. Elección de la escala 1:2.000 para la digitalización.
4. Con la ortofotografía sobre el MDT, delimitación del perfil de los acantilados para el año 2005.
5. Posteriormente, realización del mismo paso para los límites del año 2014. Creación de una copia del límite del año 2005 para, a partir de ella, y sobre la ortofotografía de 2014, modificar aquellos lugares en los que se observen cambios. Para ello se utiliza la herramienta *RESHAPE*, para redibujar.
6. A continuación, creación de un nuevo campo en la tabla de atributos de cada *shapefile*, con el nombre 'Area05' y 'Area14', respectivamente.
7. Extracción de la extensión de la fachada del acantilado en cada año haciendo uso de la herramienta *CALCULATE GEOMETRY*.
8. Por último, a través de la resta de los datos extraídos es posible conocer los cambios en extensión que se han producido en el área de estudio.

El área de estudio seleccionada como ejemplo (Figura I.1) es el acantilado de los montes da Lagoa en el noroeste de Galicia, concretamente entre los municipios de Narón y Ferrol (A Coruña).

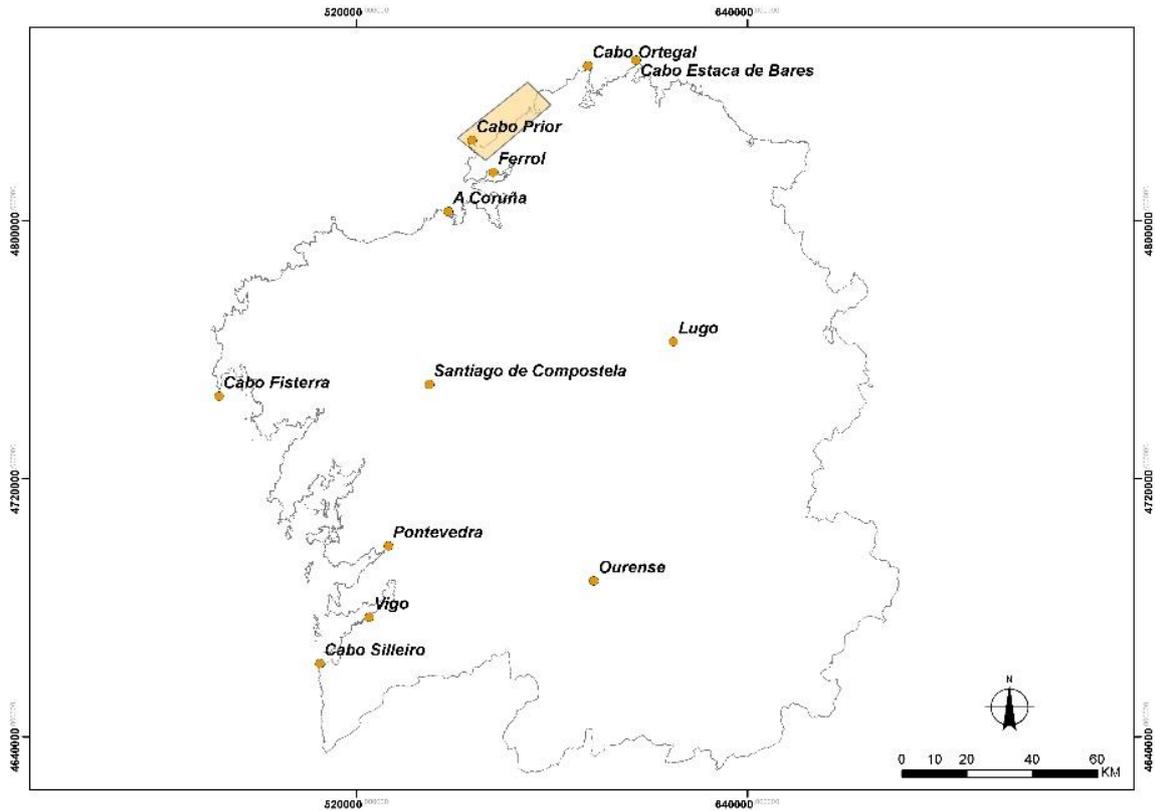


Figura I.1 Situación del área de estudio (acantilado de los montes da Lagoa en el noroeste de Galicia). Fuente: elaboración propia a partir de datos descargados del geoportal Información Xeográfica de Galicia (Xunta de Galicia), integrado en la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE)¹⁷.

Esta zona de estudio supera los 5000 m de ancho y sobrepasa ligeramente los 150 m de altura. Litológicamente, dominan los granitos y los esquistos, intensamente fracturados. En los fondos marinos (Figura I.2) son dominantes el roquedo, las gravas y las arenas (Figura I.3). En los acantilados dominan las pendientes que superan los 32° (Figura I.4).

¹⁷ <http://mapas.xunta.gal/portada>

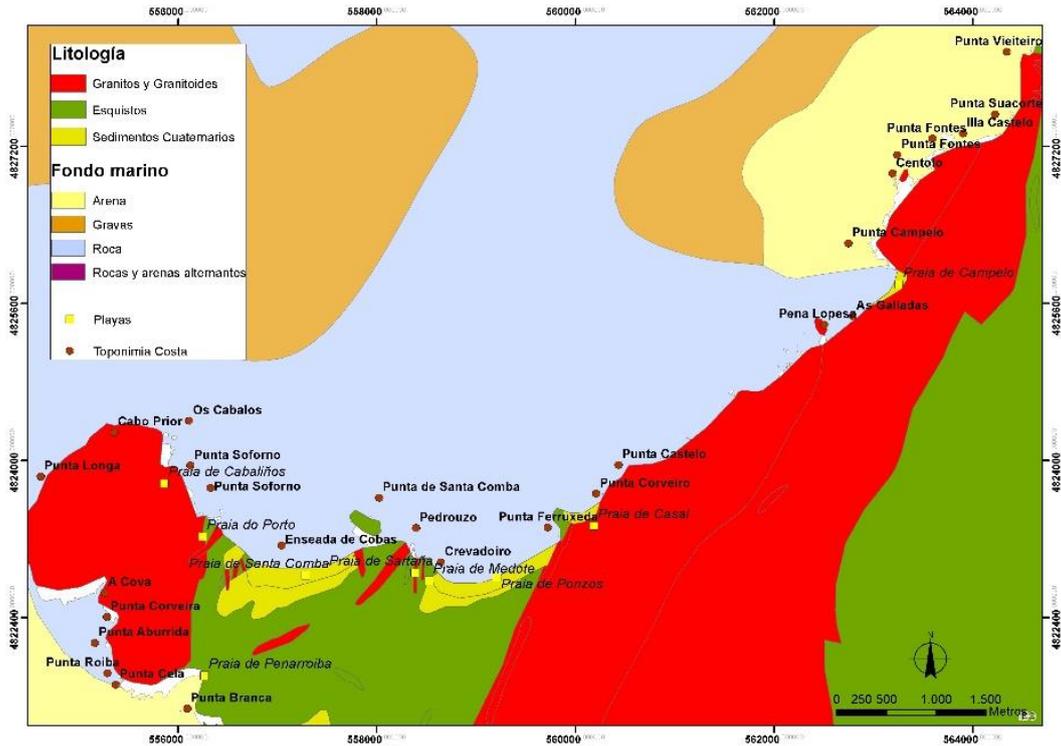


Figura I.2 Mapa litológico de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del Instituto Español de Oceanografía (IEO)¹⁸.

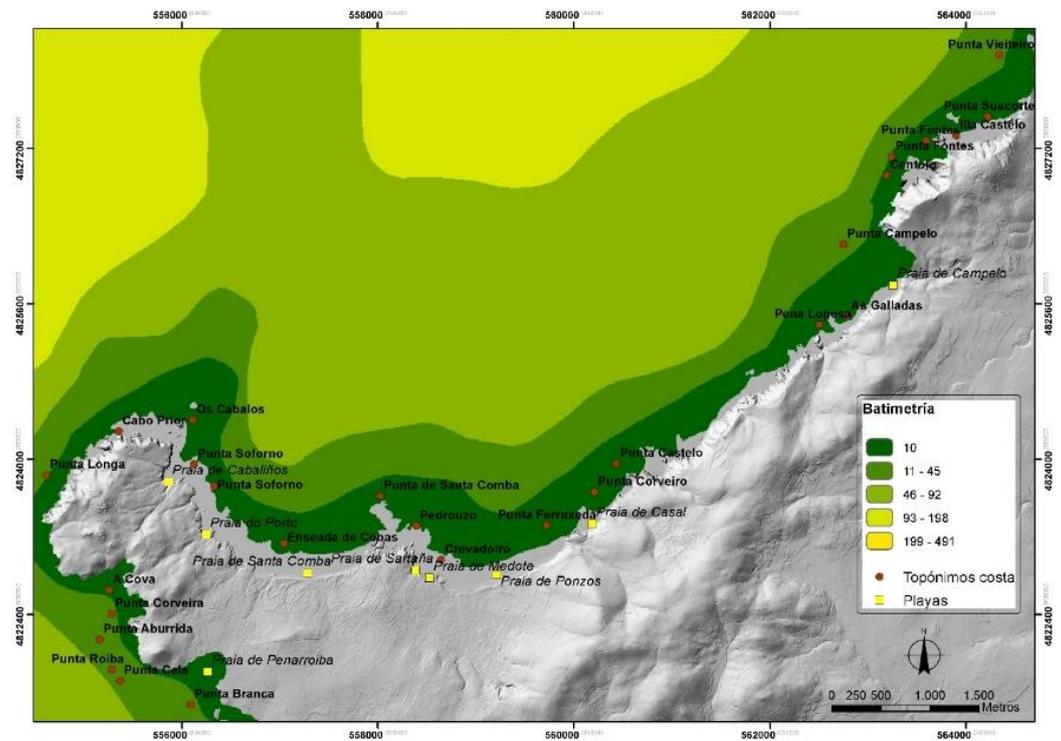


Figura I.3 Batimetría de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del IEO.

¹⁸ <http://www.ideo-base.ieo.es/Home>

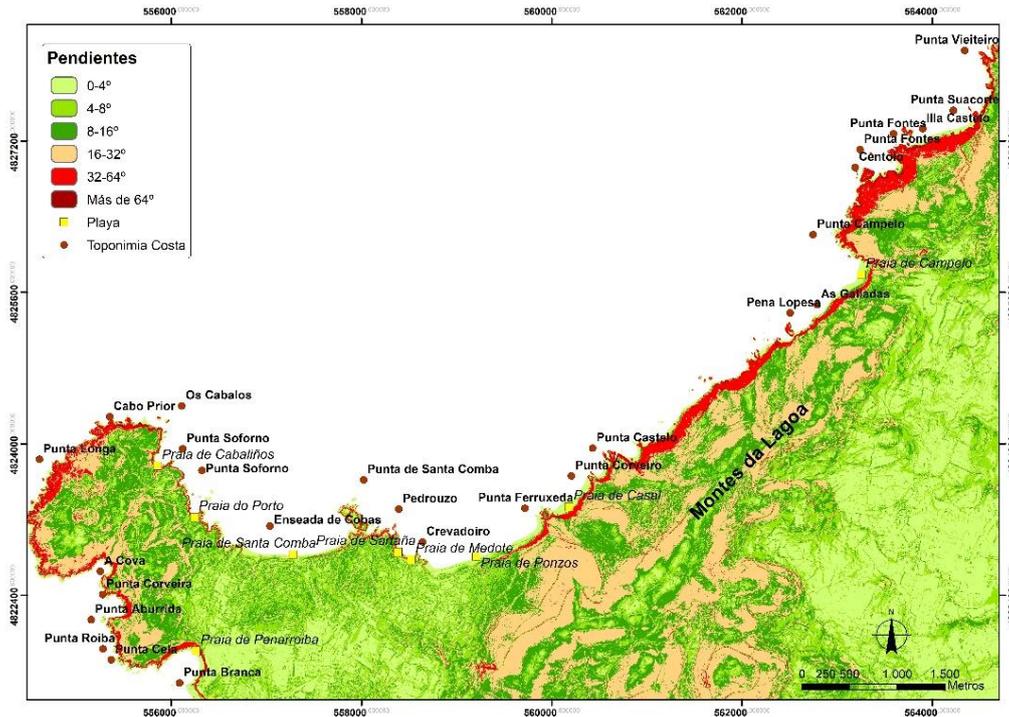


Figura I.4 Mapa de pendientes de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de datos descargados del IGN.

La superficie de los acantilados en 2005 (Figura I.5) era de 342 042,26 m² y de 336 752,68 m² en 2014 (Figura I.6). La pérdida de superficie en 9 años ha sido de 5289,58 m²; una pérdida del 1,55% que es difícil de ver cuando se superponen las dos capas (Figura I.7). Los cambios son solo visibles si se amplía la escala (Figura I.8).

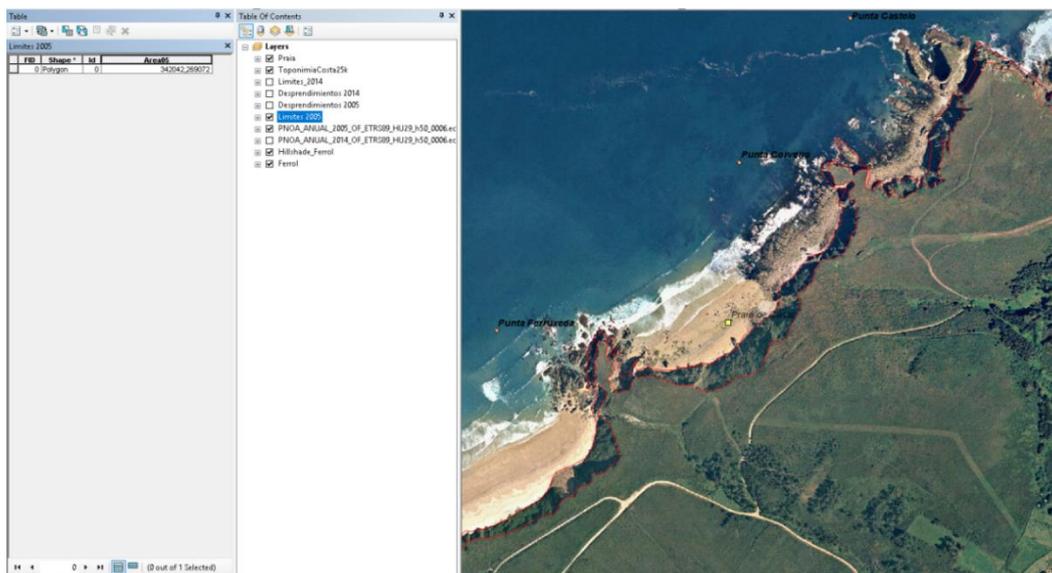


Figura I.5 Acantilados y superficie en 2005. Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

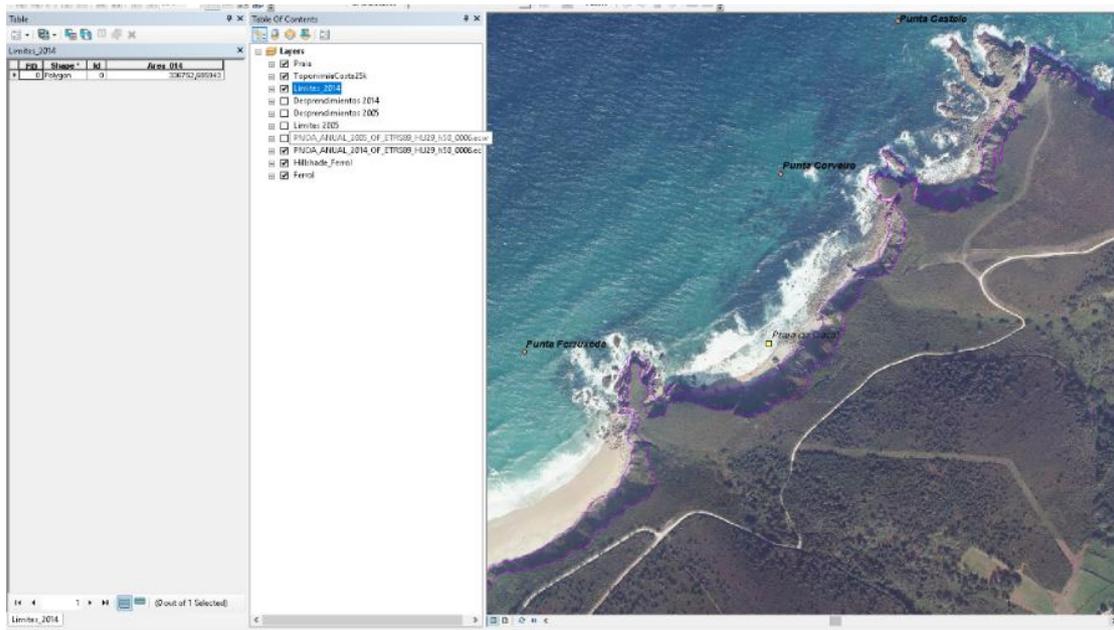


Figura I.6 Acantilados y superficie en 2014. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

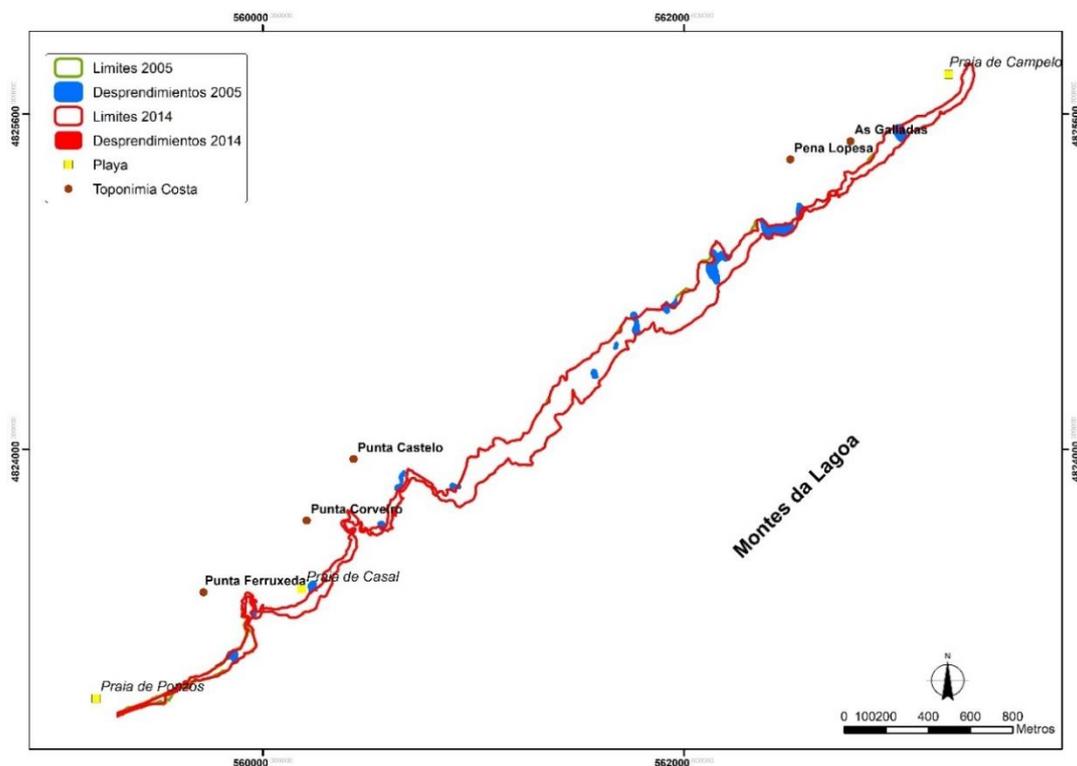


Figura I.7 Superposición de capas de 2005 y 2014. Se han reflejado los desprendimientos observados. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5.

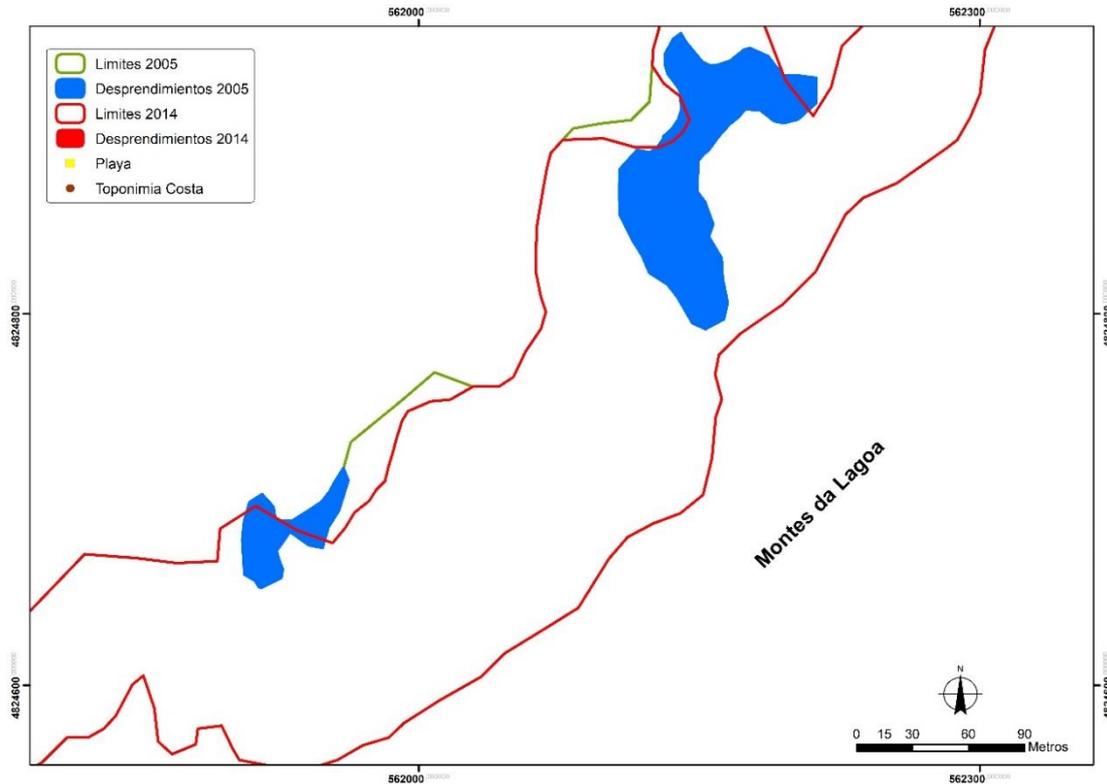


Figura I.8 Cambios detectados entre 2005 y 2014 con más detalle. Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.5.

La pérdida de superficie ha sido pequeña por lo que, en función de este parámetro, se puede decir que los acantilados se mantienen estables.

I.3. Grandes calas y bahías poco profundas

Las masas de agua superficiales correspondientes al THIC 1160 Grandes calas y bahías poco profundas se refieren a aquellas masas de agua marina por debajo de los 20 m de profundidad. Para este grupo, se ha seleccionado como ejemplo la bahía de Pollença, situada en la zona más septentrional de la isla de Mallorca (Figura I.9), y se ha calculado la superficie ocupada (Figura I.10).

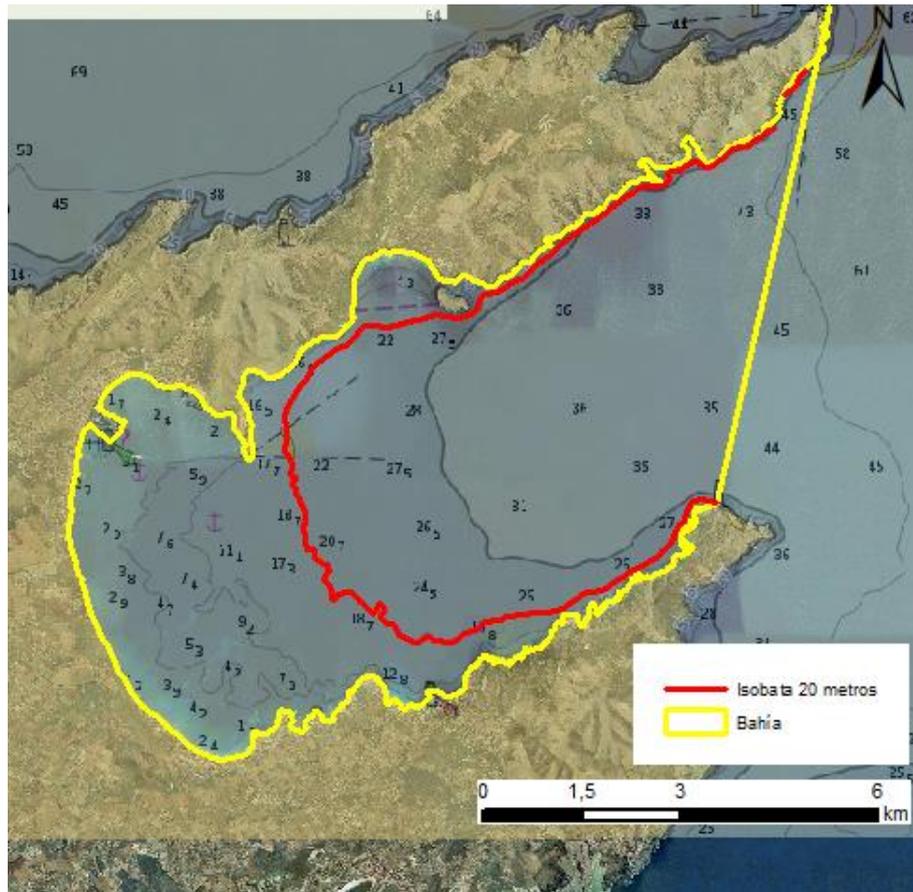


Figura I.9 Delimitación de la superficie ocupada por el tipo de hábitat sobre una ortofotografía reciente (2015) del PNOA. Se ha utilizado una carta náutica para indicar la posición de la isobata de 20 m, es decir, el límite exterior establecido para las grandes calas y bahías poco profundas. Fuente: elaboración propia a partir de carta náutica proporcionada por el IHM y ortofotografía del PNOA.

FID	Shape *	Id	Area
0	Polygon	0	24019009,6602

Figura I.10 Cálculo de superficie ocupada por la bahía de Pollença para 2015 (24 019 009,6602 m²). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.1.



I.4. Playas

La Figura I.11 es un ejemplo de la cuantificación de la superficie ocupada por las playas. Se ha realizado en un arenal micromareal, la playa de Son Saura (Menorca). Los criterios utilizados se han especificado con anterioridad en este trabajo.

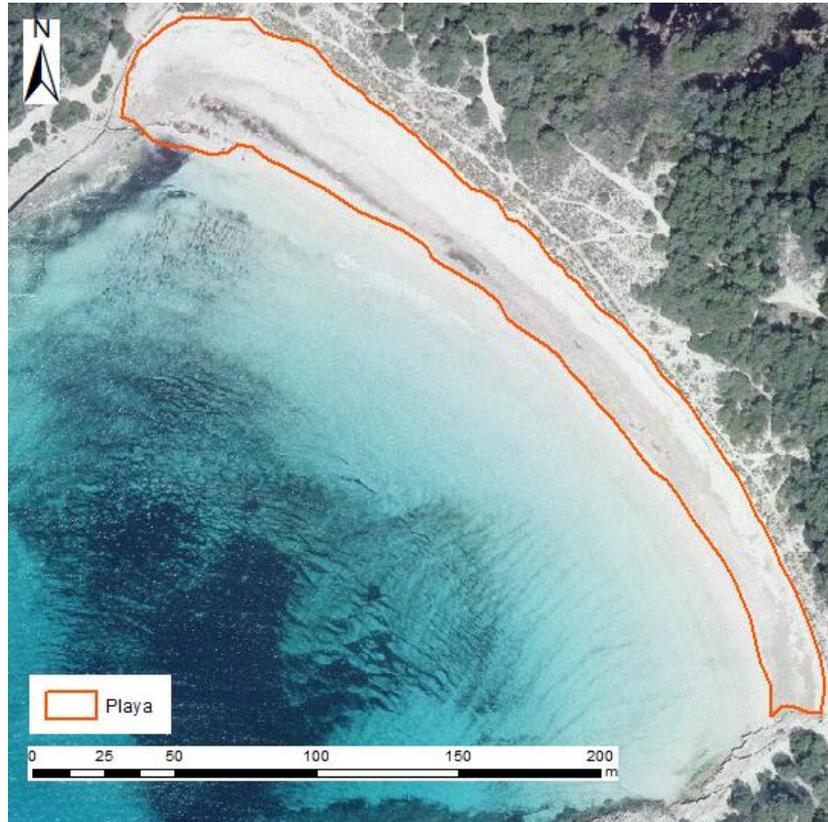


Figura I.11 Delimitación de la superficie ocupada por la playa de Son Saura (Menorca). Escala 1:2.000. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

Una vez delimitada la superficie ocupada por la playa, se deben calcular las superficies ocupadas por los tipos de hábitat asociados a ella (nivel 2 de información). Es posible que en la imagen no aparezcan todos los tipos de hábitat descritos para playas, ya que algunos de ellos son estacionales y puede darse el caso de que no se observen en el momento en el que se tomó la fotografía. Es entonces cuando los desplazamientos al campo son prácticamente obligatorios y deben realizarse con una periodicidad mayor, con el fin de intentar registrar la superficie ocupada por estos tipos de hábitat mediante GPS.

Los ejemplos que se muestran a continuación corresponden a sistemas de playa de distintas provincias y, por el motivo que se ha explicado anteriormente; las imágenes utilizadas no presentan todos los tipos de hábitat descritos en la clasificación.



I.4.1. Playas estuarinas y llanos arenosos intermareales

La delimitación de llanos arenosos intermareales (THIC 1140 Llanuras mareales) y playas estuarinas se ha realizado sobre la ría de Niembro, en Asturias (Figura I.12).

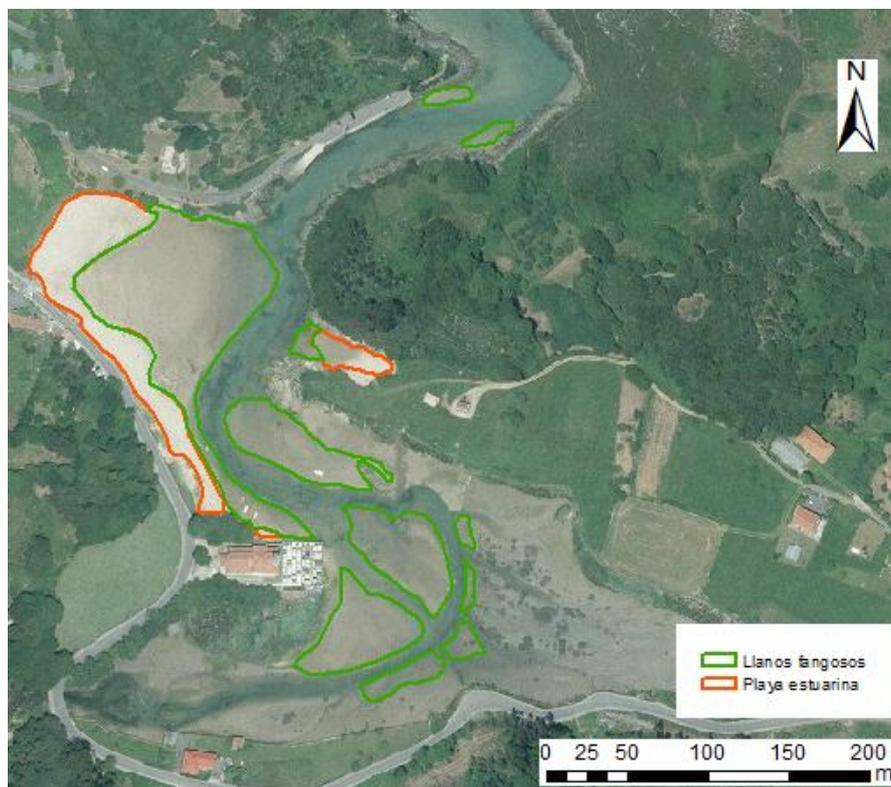


Figura I.12 Delimitación de llanos arenosos mareales y playas estuarinas en la ría de Niembro (Asturias). Escala utilizada: 1:3.000. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

Los límites que distinguen un tipo de hábitat de otro son prácticamente inapreciables en la fotografía aérea. El factor discriminante es el cambio de color en el sedimento. Las zonas más profundas aparecen difuminadas y mucho más oscuras, por lo que se consideran submareales. Los límites con la zona superior, correspondiente a la playa, se diferencian por sutiles cambios de color. Este es otro ejemplo de tipos de hábitat que necesitan una inspección visual, así como un conocimiento previo muy exhaustivo de las condiciones mareográficas de la zona que ayuden a determinar las franjas supra, inter y submareal.

I.4.2. Cordones relictos y *cheniers*

Se han delimitado tres *cheniers* distintos en la desembocadura de los ríos Tinto y Odiel (Figura I.13). La escala utilizada ha sido 1:10.000; no es necesario utilizar escalas de gran detalle ya que los límites están bien definidos.



Figura I.13 Delimitación de *cheniers* en isla de Saltes, Punta Umbría (Huelva). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

I.4.3. Arribazones y bermas de tormenta

En la Figura I.14 se han delimitado los depósitos marinos acumulados o arribazones y bermas de tormenta (THIC 1210 Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados) en la playa de Son Saura (Menorca). Los límites de este tipo de hábitat sobre la playa se identifican con facilidad por el color oscuro que presenta este tipo de hábitat, en contraste con la arena de color claro de la playa. Su tamaño es reducido y no está presente de manera constante, por lo que es posible que en las ortofotografías no aparezca. En este caso, la delimitación de la superficie ocupada debe hacerse sobre el terreno, cuando está presente.



Figura I.14 Delimitación de arribazones (depósitos marinos acumulados) en la playa de Son Saura (Menorca). Escala utilizada: 1:1.500. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

I.4.4. Depósitos de desbordamiento

El ejemplo de delimitación de abanicos de desbordamiento (en inglés *washover fans*) se ha realizado sobre la playa de Camposoto (San Fernando, Cádiz). Como base para la realización de este ejemplo concreto, se han utilizado ortofotografías de 2008, 2010 y las imágenes aéreas de 2013, dotando a estas últimas del mismo sistema de coordenadas (*datum* ED50, proyección UTM huso 29).

Para este caso en particular (Figura I.15) se han obtenido las superficies ocupadas que se muestran en la Tabla I.1.



Figura I.15 Evolución de la superficie ocupada por los abanicos de desbordamiento de la playa de Camposoto desde 2008 a 2013. Fuente: extraída de Montes (2014).

Tabla I.3 Resumen de la información obtenida de los abanicos de desbordamiento de Camposoto (San Fernando). Fuente: elaboración propia.

Año	Superficie total	Número de desbordamientos	Superficie media por desbordamiento
2008	119 991,948 m ²	27	4444,146 m ²
2010	156 616,814 m ²	24	6525,700 m ²
2013	131 813,256 m ²	26	5069,700 m ²

El mayor número de desbordamientos corresponde al año 2008. Sin embargo, si se comparan tanto la superficie total como la media por desbordamiento, ambas aumentan para el segundo año (2010).

I.5. Dunas

A continuación, se expone un ejemplo de cálculo de tasas de cambio de la superficie ocupada por un sistema dunar. Se ha seleccionado un sistema dunar mediterráneo que presenta varios tipos de hábitat específicos: el sistema dunar de Pals (Girona). La cartografía se ha llevado a cabo en un sector de unos 600 m de longitud sobre una ortofotografía de 2015 obtenida de la página del PNOA.



La delimitación se ha realizado para dos niveles de información, tal y como se expone en el apartado de introducción de este anexo: el sistema dunar completo (Figura I.16) y los tipos de hábitat presentes en él (Figura I.17).



Figura I.16 Delimitación de la superficie ocupada por un sector del sistema dunar de Pals (Girona; 1 741 42,271 m²). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

Se han digitalizado un total de cinco tipos de hábitat dentro del sistema dunar de Pals, siendo la superficie total ocupada por el sistema la envolvente de estos tipos de hábitat (Figura I.16). A continuación, se ha delimitado la superficie ocupada por los tipos de hábitat dunares que se dan en este sistema (Figura I.17). En el caso de las dunas con *Ammophila arenaria* (THIC 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas)) se han digitalizado 3 polígonos que delimitan la zona (4125,224 m²); para dunas con céspedes (THIC 2230 Dunas con céspedes de *Malcolmietalia* y THIC 2240 Dunas con céspedes de *Brachyposietalia* y de plantas anuales) se han delimitado un total de 4 polígonos (38 139,099 m²); para dunas con *Juniperus* spp (THIC 2250* Dunas litorales con *Juniperus* spp.), 14 polígonos (31 492,491 m²); para las depresiones interdunares (THIC 2190 Depresiones intradunares húmedas), 5 polígonos (2895,951 m²) y, por último, las dunas con pinos (THIC 2270* Dunas con bosques de *Pinus pinea* y/o *Pinus pinaster*) se han delimitado con un solo polígono (95 307,956 m²). La suma de la superficie ocupada por los tipos de hábitat presentes en este sistema es de 17 196,721 m². Esta superficie se corresponde con la delimitada para el sistema dunar completo, si bien no es la cantidad exacta debido a la existencia de caminos y estructuras físicas que no se han delimitado para el caso de los tipos de hábitat específicos pero sí se han considerado en la envolvente de todos ellos. En cualquier caso, las superficies totales son prácticamente las mismas.



Figura I.17 Delimitación de los tipos de hábitat específicos presentes en el sistema dunar de Pals (Girona). Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

El límite superior del complejo dunar se ha trazado en base a un cambio en la textura y color de la vegetación. Toda la zona situada a la izquierda de los polígonos delimitados es un campo de golf que, probablemente, ocupe parte del sistema dunar antiguo. De ahí la necesidad de comparar la superficie actual con años anteriores para evaluar pérdidas y/o ganancias de tipos de hábitat. Además, este ejemplo destaca la necesidad de la inspección visual previa de la zona que se va a delimitar para conocer las características del terreno y los límites de las distintas coberturas vegetales.

El ejemplo muestra solo un sector del sistema dunar para adecuar la escala al presente informe. Para la delimitación real de la superficie ocupada se debe considerar toda la superficie del sistema (Figura I.18).

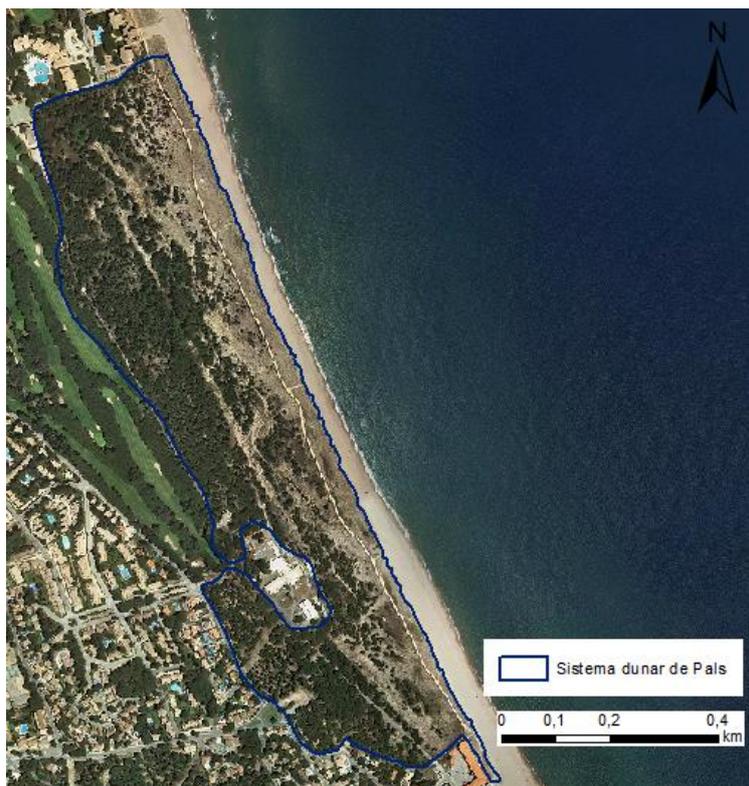


Figura I.18 Sistema dunar de Pals (Girona) completo. La delimitación del sistema y de los tipos de hábitat específicos debe realizarse para toda esta superficie. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

I.6. Marismas

El cálculo de la superficie total ocupada por una marisma y los tipos de hábitat que la constituyen se ha digitalizado sobre un sector de marisma situado en la bahía de Cádiz. La cartografía se ha llevado a cabo en un sector de unos 2,5 km de longitud sobre una fotografía de satélite previamente georreferenciada y tratada en ArcGIS.

La delimitación se ha realizado para dos niveles de información, tal y como se expone en el apartado de introducción de este anexo: el sistema de marisma completo (Figura I.19) y los tipos de hábitat presentes en él (Figura I.20).

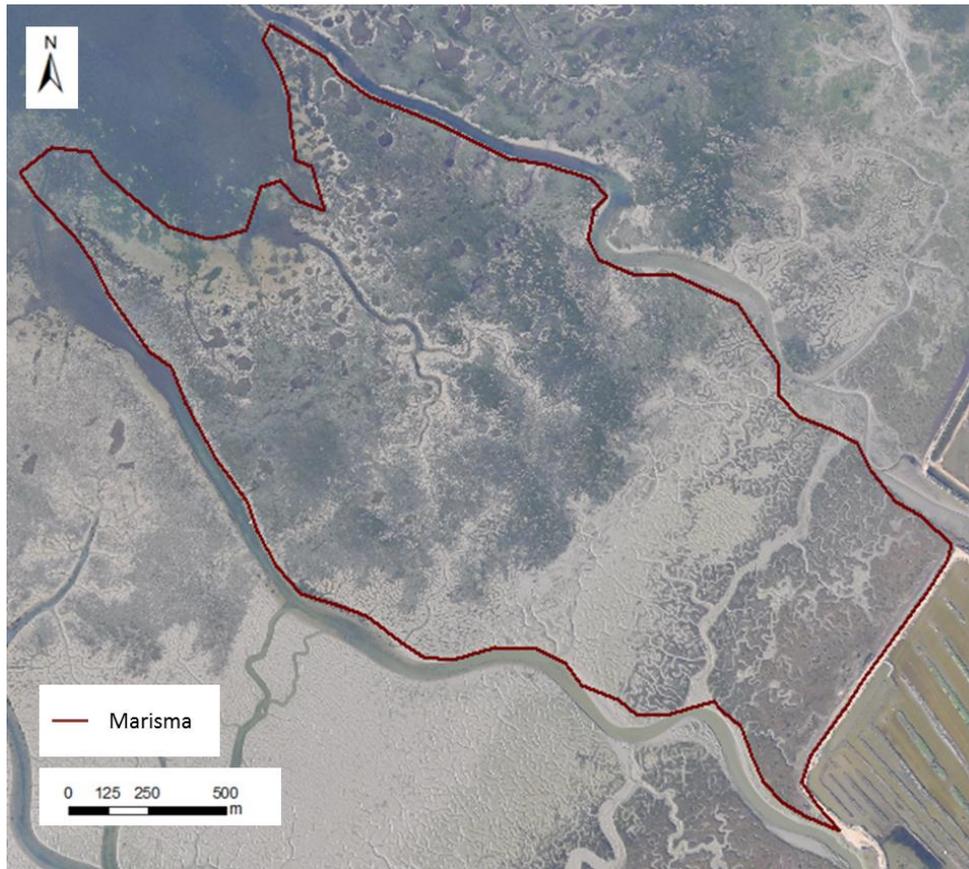


Figura I.19 Delimitación de la superficie total ocupada por una marisma en la bahía de Cádiz. Escala 1:15.000. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

El empleo de métodos de teledetección para determinar la superficie ocupada por este tipo de hábitat como herramienta para poder valorar sus cambios podría presentar problemas debido a la fugacidad de estas comunidades y al solapamiento con otros tipos de hábitat. A una mayor escala sería más útil el uso de ortofotografías (p. ej. escala 1:10.000) para evaluar áreas potenciales en las que estas comunidades podrían establecerse y, llevando a cabo el mismo procedimiento que en los casos anteriores, calcular el área de cada tipo de hábitat.

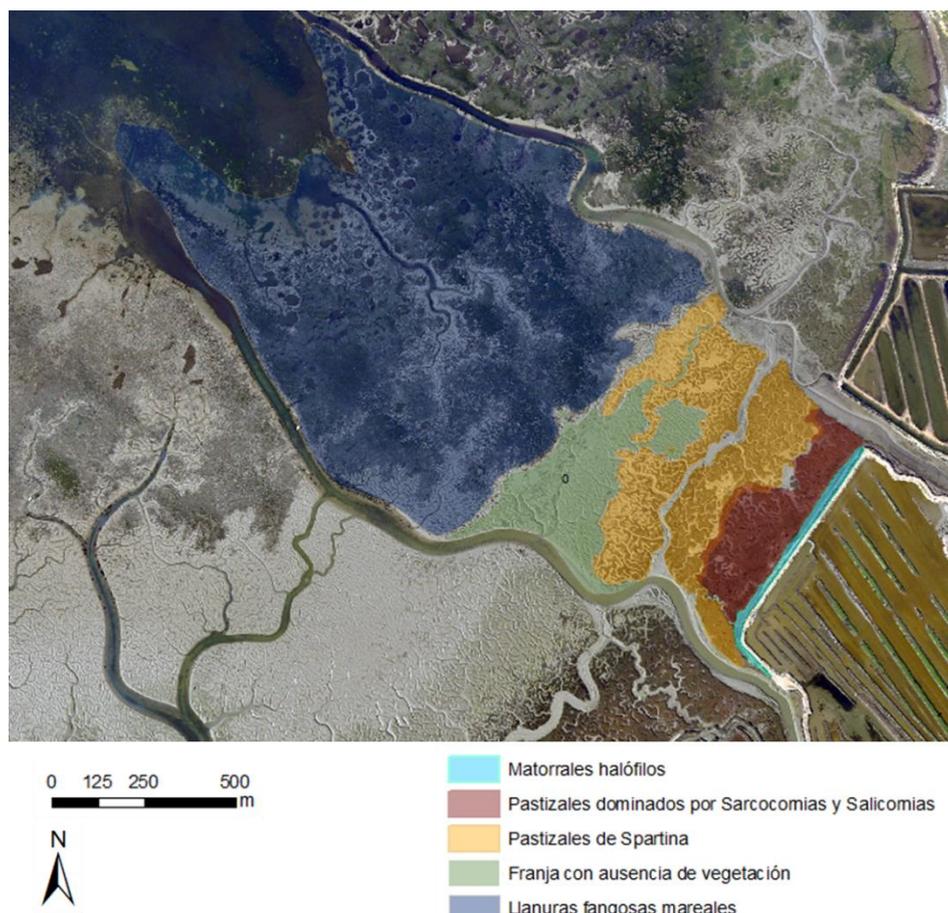


Figura I.20 Zonación de una marisma en la bahía de Cádiz. Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.5 sobre ortofotografía del PNOA.

Se han digitalizado un total de cinco tipos de hábitat dentro de la marisma, siendo la superficie total ocupada por el sistema la envolvente de estos tipos de hábitat (Figura I.19). A continuación, se ha delimitado la superficie ocupada por cada uno de los tipos de hábitat (Figura I.20). En el caso de los matorrales halófilos se ha cartografiado un solo polígono (1734 m²); para pastizales dominados por *Sarcocornia* y *Salicornia* también se ha delimitado un polígono (112 096,56 m²); los pastizales de *Spartina* se han delimitado en 4 polígonos diferentes (308 612,04 m²); la franja con ausencia de vegetación suma un total de 3 polígonos (224 758,67 m²) y, por último, las llanuras fangosas intermareales se han registrado en un solo polígono (1 351 737,17 m²).

Como propuesta alternativa de delimitación de la superficie ocupada se puede combinar el uso de fotografías aéreas de distintos años, que aporten información histórica, con una evaluación visual sobre el terreno. Es inevitable, en este caso, la delimitación visual de la superficie ocupada por el tipo de hábitat. Sería necesaria la evaluación inicial sobre un sistema piloto y compararla con las técnicas de ortofotografía para estimar el error que puede generar la metodología con imágenes aéreas. Si existe un error del orden de 5-10 metros en áreas de marismas que tienen una extensión reducida, esta técnica no sería viable y sería necesario limitarse a la evaluación visual o, si es posible, recurrir al uso de drones, técnica altamente recomendada en estos ambientes. Por otro lado, la inspección visual,



aunque prácticamente obligatoria, conlleva un pisoteo de la superficie de la marisma que podría modificar el tipo de hábitat.

Como alternativa a la inspección visual, y para evitar toda la compleja logística que puede ocasionar los muestreos *in situ* en estos tipos de hábitat, se propone el uso de GIS que combine capas de información altimétrica y mapas de vegetación. Es decir, si se delimita la zona de marisma como toda aquella zona que se extiende entre dos puntos de elevación distintos definidos por las condiciones específicas de cada zona, la vegetación que se encuentre en esta zona será vegetación de marisma (Figura I.21). Por lo tanto, así se puede tener un control de la evolución de la superficie ocupada por este tipo de hábitat a partir de la elevación del terreno. Este método supone un control de la superficie ocupada por el tipo de hábitat en general, siendo necesario aplicar los métodos anteriormente descritos para el control de tipos de hábitat específicos, sumando capas de información a este sistema.

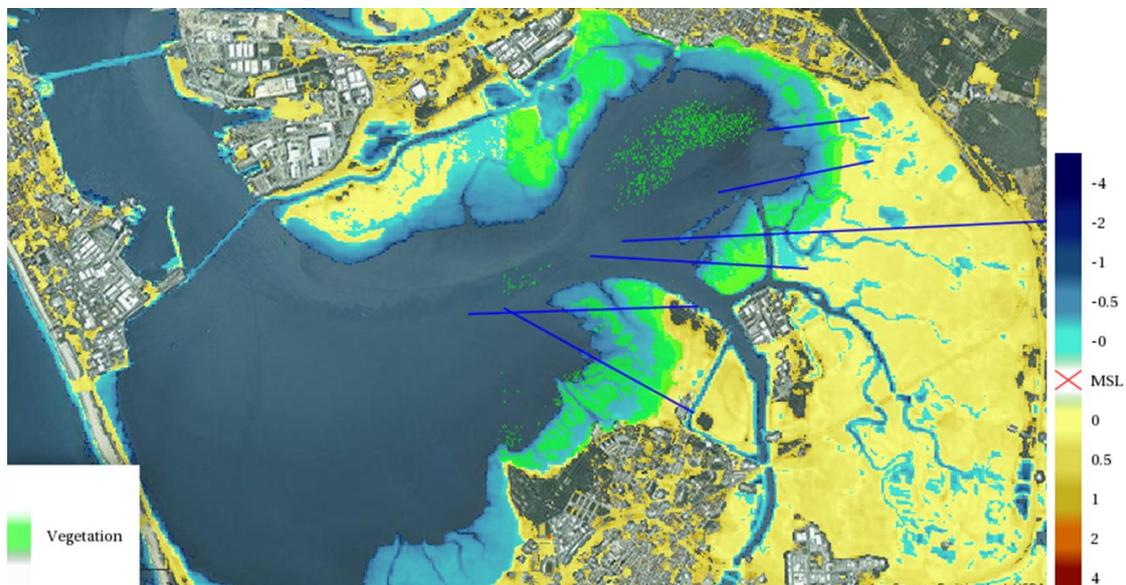


Figura I.21 Combinación de mapa de vegetación de marisma y elevación del terreno en la bahía de Cádiz. Fuente: extraída de los productos multimedia disponibles del proyecto FAST¹⁹.

Este método requiere una formación específica en materia de GIS por parte del usuario, ya que el manejo de esta información no es sencillo. Se recomienda el uso del visor global que ha desarrollado el proyecto europeo FAST (*Foreshore Assessment using Space Technology*; Figura I.21) para la puesta en valor de las zonas de marisma como áreas que ayuden a reducir el riesgo de inundación en las zonas costeras. Este visor proporciona información de elevación del terreno, presencia de vegetación y cambios en la vegetación a nivel global. La información es descargable en capas (globales) para su posterior manejo a través de un GIS.

¹⁹ <http://fast.openearth.eu/>



I.7. Lagunas costeras, marjales o albuferas

La delimitación del THIC 1150* Lagunas costeras y de tipos de hábitat como marjales y albuferas se lleva a cabo en Camacho *et al.* (2019).

I.8. Salinas

Las salinas, al tratarse de un tipo de hábitat modificado antrópicamente, de forma general no presentan variación en la superficie ocupada a lo largo del tiempo. Es necesario tener en cuenta que pueden encontrarse en explotación/funcionales, manteniendo su perímetro intacto (con algunas modificaciones puntuales), o bien restauradas/naturalizadas, en cuyo caso sus límites pueden verse modificados.

Un ejemplo de salinas en explotación o funcionales son las salinas de San Pedro del Pinatar, en Murcia. Se ha delimitado la superficie ocupada por dichas salinas en los años 2004 y 2013. La superficie ocupada (Figura I.22) no ha experimentado modificaciones significativas y los polígonos calculados para ambos años prácticamente se superponen.

A través de este ejemplo (Figura I.23), se comprueba la importancia de definir unos criterios exactos para cada estructura. Si bien es cierto que las bases generales para la cuantificación de la superficie ocupada se han descrito anteriormente, es necesario que los técnicos encargados de estas tareas establezcan un control y anoten todas aquellas características a tener en cuenta para las delimitaciones posteriores.

FID	Shape *	Id	Area 1
0	Polygon	0	4797178,05

FID	Shape *	Id	Area
0	Polygon	0	47760

Figura I.22 Cálculo de superficie ocupada por el tipo de hábitat de salina en San Pedro del Pinatar (Murcia) para 2013 (izquierda; 479 718,05 m²) y 2004 (derecha; 47 760 m²). Fuente: elaboración propia a partir del uso del software ArcGIS 10.1.



Figura I.23 Evolución de la superficie ocupada por las salinas de San Pedro del Pinatar (Murcia) entre los años 2004 y 2013. Fuente: elaboración propia a partir del uso del *software* ArcGIS 10.1 sobre ortofotografía del PNOA.

I.9. Estuarios mareales y rías

En este caso, para la delimitación del THIC 1130 Estuarios y de otros tipos de hábitat costeros como las rías, se ha seleccionado el estuario del río Nalón (Asturias), perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Cantábrico occidental. En el caso del límite interior, se tienen en cuenta dos métodos para definirlo (López 2015): por un lado, el límite agua dulce-agua salobre u onda salina y, por otro, el alcance de los efectos de la marea u onda mareal.

Ya que se trata de un estuario muy antropizado, sería necesario utilizar documentos históricos anteriores al inicio de la canalización (1881) para apreciar grandes cambios morfológicos en el mismo (López 2015). En estuarios antropizados como este, los cambios en la superficie ocupada no son notables (Figura I.24).

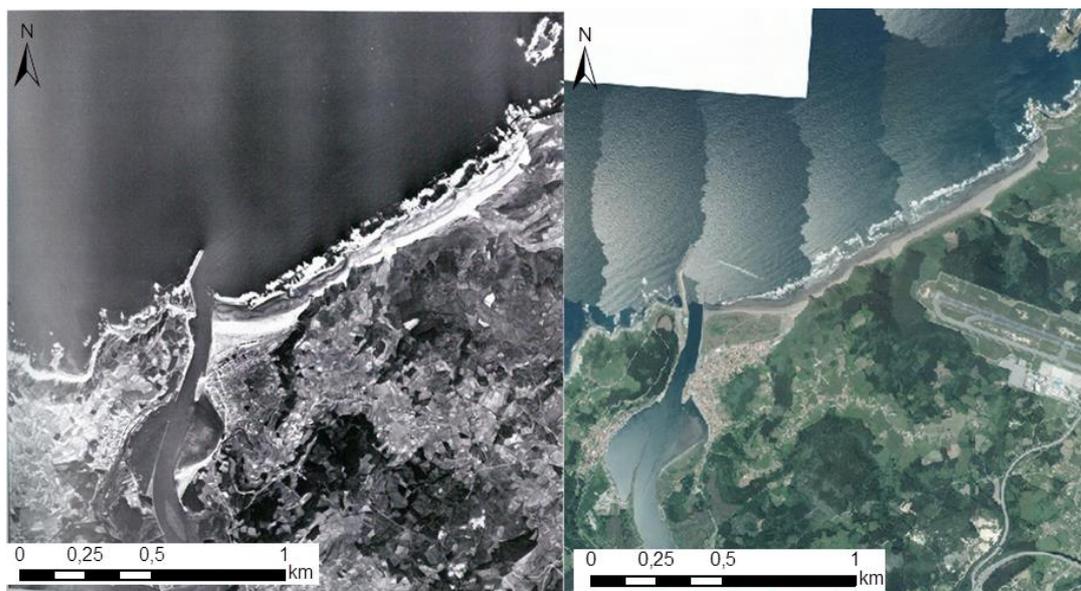


Figura I.24 Ortofotografía aérea vertical de la parte externa del estuario del Nalón en 1956 (izquierda) y ortofotografía de la misma zona de 2014 (derecha). Fuente: extraída de López 2015 (izquierda) y del PNOA 2014 (derecha).

En este caso, la Confederación Hidrográfica del Cantábrico cuenta con un visor *online* (SIGCHC) en el que aparecen las distintas masas de agua cartografiadas y, por consiguiente, con la posibilidad de hacer el cálculo de la superficie que ocupan (Figura I.25). Al tratarse de masas de agua muy antropizadas, el visor proporciona la información necesaria para hacer el seguimiento.

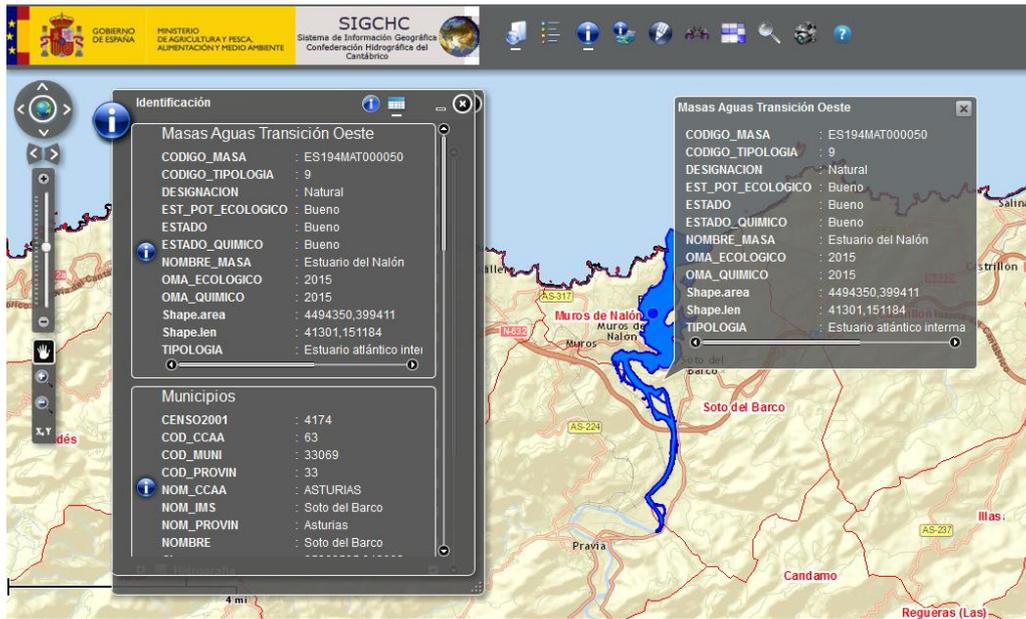


Figura I.25 Delimitación del estuario del río Nalón (capa de aguas de transición) por la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. En la ventana emergente se indica la superficie ocupada por la capa 'Shape_area'. Fuente: extraída del SIGCHC.

I.10. Deltas mediterráneos

Para ejemplificar la delimitación de la superficie ocupada en los deltas mediterráneos se ha seleccionado el delta del Ebro. Se trata de una zona húmeda de gran importancia, considerada como uno de los ecosistemas costeros más vulnerables al cambio climático en Cataluña y España (Gobierno de Cataluña 2008). Actualmente, el delta del Ebro sufre una importante pérdida de zonas húmedas y arrozales debido al retroceso costero, causado por la falta de aportes de sedimentos fluviales que quedan retenidos en los embalses de la cuenca (Ibáñez *et al.* 1997). Este problema se ve acentuado por la pérdida de elevación del delta debido al ascenso del nivel del mar y a la subsidencia (hundimiento) de la llanura deltaica (Ramírez-Cuesta *et al.* 2016).

Se ha determinado la superficie ocupada por el delta del Ebro en dos niveles de información: superficie total (Figura I.26) y superficie ocupada por cada uno de los tipos de hábitat que lo constituyen (Figura I.27).

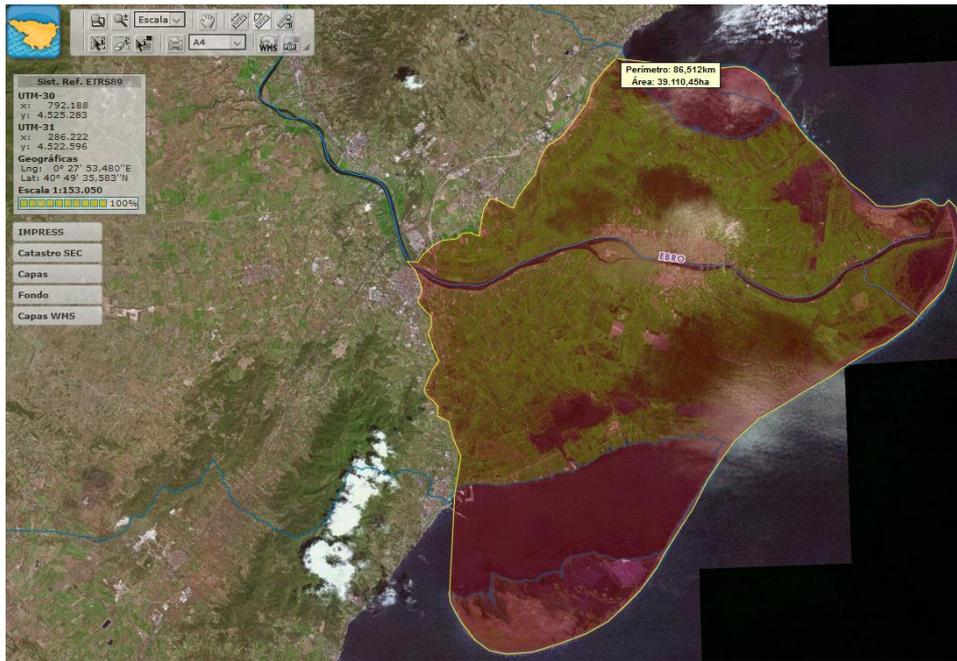


Figura I.26 Delimitación de la superficie ocupada por el delta del Ebro. Perímetro: 86 512 km; Área: 39 110 ha (aproximadamente). Escala 1:80.000. Fuente: elaboración propia a partir del uso del visor *online* de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE)²⁰.

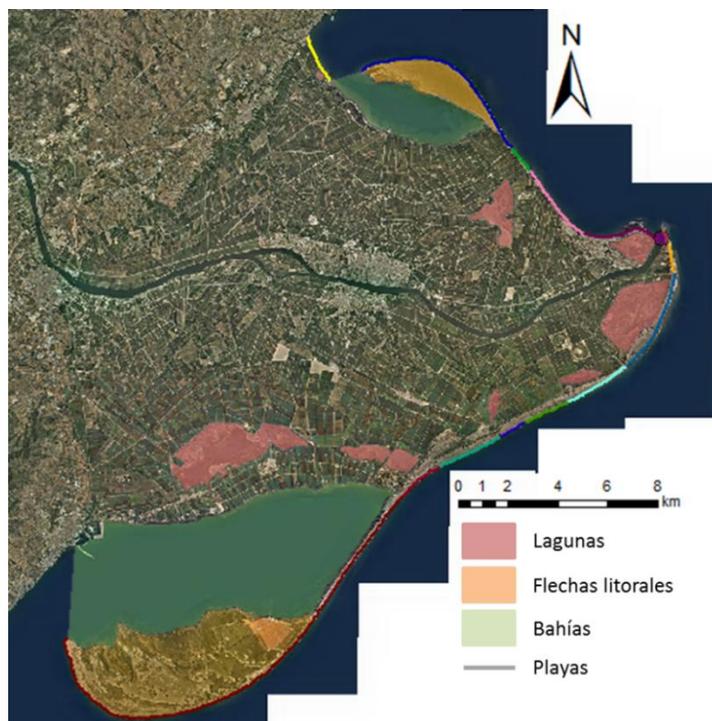


Figura I.27 Zonación de los tipos de hábitat presentes en el delta del Ebro. Escala 1:80.000. Fuente: elaboración propia a partir del uso del visor *online* de la CHE.

²⁰ <http://iber.chebro.es/SitEbro/sitebro.aspx>



Por último, en la Tabla I.2 se muestran los tipos de hábitat presentes en el delta del Ebro.

Tabla I.4 Elementos geomorfológicos presentes en el delta del Ebro. Fuente: elaboración propia a partir de Gobierno de Cataluña (2008).

Elemento geomorfológico	Nombre	Longitud / Longitud de la línea de costa / Perímetro (km)	Superficie (ha)
Delta	Delta de l'Ebre	58,42	29 753,24
Flechas litorales	Punta del Fangar	13,80	489,90
	Punta de la Banyà	41,74	2664,69
Bahías	El Fangar	31,73	2430,31
	Els Alfacs	59,89	6994,93
Playas	Arenal	1,98	4,18
	Fangar	7,39	480,06
	Goleró	1,13	62,00
	Marquesa	1,77	12,67
	Bassa de l'Arena	3,10	14,50
	Riumar	3,45	59,75
	Sant Antoni	1,93	14,97
	Buda	4,66	107,16
	Alfacada	2,77	55,80
	Serrallo	1,81	72,65
	Platjola	1,31	56,65
	Eucaliptus	2,68	77,42
	Aluet	1,95	29,94
Trabucador	20,39	561,01	
Sistemas dunares	Platja del Fangar		77,71
	Platja de la Marquesa		8,34
	Platja de la Bassa de l'Arena		7,82
	Platja del Trabucador		336,00
	Altres		204,47
Lagunas	Les Olles	2,40	27,80
	Canal Vell	8,68	245,46
	Garxal	6,04	205,72
	Calaixos de Buda	12,13	507,09
	Alfacada	3,94	65,86
	Platjola	5,00	50,14
	Tancada	9,11	238,80
Encanyissada	22,68	782,40	



I.11. Referencias

Camacho A, Morant D, Ferriol C, Santamans A C, Doña C, Camacho-Santamans A, Picazo A. 2019. Descripción de métodos para estimar las tasas de cambio del parámetro 'Superficie ocupada' por los tipos de hábitat leníticos de interior. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.

Foreshore Assessment using Space Technology (FAST). 2014-2018. European Union's (EU) Seventh Framework Programme (FP7). <http://www.fast-space-project.eu/>.

Gobierno de Cataluña. 2008. Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña. Número 1: El delta del Ebro. Oficina catalana de Cambio Climático. Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya. [http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/estudis_base_estrategia_DELTA_\(cas_ang\).pdf](http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/estudis_base_estrategia_DELTA_(cas_ang).pdf).

Ibáñez C, Canicio A & Day J W. 1997. Morphologic evolution, relative sea-level rise and sustainable management of water and sediment in the Ebre Delta. *Journal of Coastal Conservation*. 3(1): 191-202.

López J. 2015. Evolución morfosedimentaria e histórica de los estuarios asturianos de Navia, Nalón, Avilés, Villaviciosa y Ribadesella. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. 307 pp.

Montes J. 2014. Influencia de los temporales a corto plazo en un sistema isla-barrera: Caso Cortadura-Punta del Boquerón (Bahía de Cádiz). Trabajo Final de Máster. Universidad de Cádiz. 56 pp.

Ramírez-Cuesta J M, Rodríguez-Santalla I, Gracia F J, Sánchez M J & Barrio F. 2016. Application of change detection techniques in geomorphological evolution of coastal areas. Example: Mouth of the River Ebro (period 1957-2013). *Applied Geography*. 75: 12-27.

Bibliografía adicional de interés

Espinar J L. 2009. 1310 Vegetación halonitrófila anual sobre suelos salinos poco evolucionados. 70 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.

Ibáñez C, Caiola N, Nebra A & Wessels M. 2009. 1130 Estuarios. 73 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.