



PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LAS COSTAS ESPAÑOLAS. APLICACIÓN A LAS COSTAS DE GALICIA

AUGUSTO PÉREZ ALBERTI*

Departamento de Edafología e Química Agrícola. Facultade de Bioloxía, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida, 15782 Santiago de Compostela, España.

RESUMEN. Hay varias clasificaciones costeras. La mayoría de ellas han sido elaboradas a nivel mundial utilizando criterios tectónicos, climáticos, topográficos u oceanográficos. Otras clasificaciones han sido elaboradas a mayor escala y han sido enfocadas a catalogar las formas costeras: acantilados, playas, estuarios, lagunas o complejos dunares.

Este trabajo analiza los tipos de litoral, entendiendo como tal cada sector que presenta determinadas condiciones topográficas marcadas por la elevación y pendiente, y que se modeló sobre un tipo concreto de roca en un entorno climático y marino específico. Se describe un enfoque metodológico para una clasificación a escala detallada. Este enfoque se basa en la delimitación de los diferentes sistemas costeros, ejemplificados en acantilados y playas de bloques, playas de arena y dunas. En este caso las plataformas costeras, marismas y lagunas no han sido consideradas por los problemas técnicos derivados de la fuente de datos LiDAR, de la cual se derivan los modelos digitales del terreno (MDT) de resolución espacial de 2 m.

El primer paso en la clasificación fue una delimitación manual que combinaba MDT y ortofotografías. Posteriormente, se realizó otra tipificación mediante la creación automática de Unidades Topográficas Litorales (UTC). Este índice es la combinación de dos variables: elevación costera y pendiente. La posible integración de otras, como la orientación o la litología, es posible, pero generan un número muy elevado de unidades y dificultan su interpretación. Por esta razón, este estudio no consideró más variables.

En este proyecto se generaron 30 UTC, y luego se seleccionaron solo aquellas que aparecen en los sectores de acantilados, playas de cantos rodados, playas de arena y dunas costeras. La posibilidad de visualizar una o varias UTC en cualquier sector de la costa permite conocer con mayor precisión las condiciones de cada sector y estas categorías podrían mejorar los planes de gestión costera.

Methodological proposal for the characterization and typification of the Spanish coasts. Application to the coast of Galicia

ABSTRACT. There are several coastal classifications. Most of them have been elaborated worldwide using tectonic, climatic, topographic, or oceanographic criteria. Other classifications have been generated on a larger scale and focused on classifying the coastal forms, as cliffs, beaches, estuaries, lagoons, or dune complexes in different places.

This project analyzes the types of coastlines, understanding as such each sector that presents certain topographic conditions marked by the elevation and slope, and that was modeled on a concrete type of rock in a specific climatic and marine environment. This paper describes a methodological approach for a detailed scale classification. This approach based on the delimitation of the different coastal systems, exemplified in cliffs and boulder beaches, sandy beaches, and dunes. In this case the shore platforms, marshes and lagoons have not been considered for the

technical problems derived from the LiDAR data source, from which the 2 m spatial resolution digital terrain models (DTM) are derived.

The first step in the classification was a manual delimitation combining DTMs and orthophotographs. Subsequently, other typification has been carried out through the automatic creation of Coastal Topographic Units (CTU). This index is the combination of two variables: coastal elevation and slope. The possible integration of others, such as orientation or lithology, is possible, but generate a very high number of units and make it difficult to interpret. For this reason, this study did not consider more variables.

In this project 30 CTUs was generated, and then selecting only those that appear in the cliffs, boulder beaches, sandy beaches, and coastal dunes sectors. The possibility of viewing one or several CTUs in any sector of the coast allows to know more accurately the conditions of each sector and these categories could be improve the coastal management plans.

Palabras clave: Geomorfología, UTC (Unidades Topográficas Litorales), Tipos de costa, España, Galicia.

Key words: Geomorphology, CTU (Coastal Topographic Units), Coastal types, Spain, Galicia.

Recibido: 13 Septiembre 2021

Aceptado: 29 Diciembre 2021

*Correspondencia: Departamento de Edafología e Química Agrícola. Facultade de Bioloxía, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida, 15782 Santiago de Compostela, España. E-mail: augusto.perez@usc.es

1. Introducción

La costa es una franja de ancho variable en donde entran en contacto la tierra y el mar. Sin embargo, no siempre es fácil delimitar con exactitud dónde termina el continente y dónde empieza el mar. Esto es particularmente complicado en las costas bajas, en el entorno de los humedales costeros, que unas veces pueden estar dentro de un ambiente terrestre, pero otras se encuentran sumergidas bajo el agua durante la marea alta. Por ello, parece más conveniente hablar de regiones costeras, áreas de contacto entre el mar y la tierra, es decir, el límite hacia la tierra de la influencia marina y el límite hacia el mar de influencia terrestre (Carter, 1988).

Delimitar, clasificar o tipificar las costas tampoco es tarea fácil. Ello se observa en el artículo de síntesis de Finkl (2004) en el que se analizan las diferentes clasificaciones que se han hecho de las costas a nivel mundial o, a modo de ejemplo, en las diferentes entradas de la *Encyclopedia of Geomorphology* dirigida por Goudie (2004).

De su lectura se deduce que una primera cuestión a plantear es la de la escala de análisis. Si se diferencian las costas a una escala global, la clasificación es relativamente fácil. Es el caso de la propuesta de Suess (1906) que diferenció las costas atlánticas, que, según él, cortan las estructuras geológicas, de las del Pacífico, que corren paralelas a ellas. Inman y Nordstrom (1971) elaboraron una clasificación con relación a la tectónica de placas diferenciando entre costas de subducción, de margen de placa divergente y costas marinas marginales. En esta misma línea global, Aufrere (1936) propuso una clasificación costera basada en el clima diferenciando entre costas con cubierta de hielo permanente, costas con capa de hielo estacional, costas templadas húmedas, costas tropicales húmedas, costas áridas y costas semiáridas.

Usando el mismo rango de análisis, Davies (1980) centró su clasificación en los procesos costeros diferenciando costas afectadas por olas de tormenta, costas sujetas a vientos alisios, monzones y ciclones tropicales, es decir costas de energía alta, moderada y baja, así como por el tipo de marea (semidiurna, mixta y diurna) y rangos medios o máximos de marea diferenciando micromareal (<2 m), mesomareal (2-4 m) y macromareal (>4 m), al que se le puede añadir megatidal (>6 m). Por su parte, Cotton (1952) hizo una distinción entre costas de regiones estables y móviles, siendo las primeras las que escaparon a los movimientos tectónicos del Cuaternario que han afectado a las regiones inestables, especialmente en el entorno del borde del Pacífico, donde todavía continúan. En las costas de las regiones estables diferenció entre las dominadas por procesos generados por el levantamiento marino del Cuaternario tardío de las dominadas por características heredadas, especialmente del Pleistoceno, conservadas por un levantamiento anterior.

Un análisis diferente lo había propuesto años antes de Martonne (1909) con una clasificación morfológica diferenciando entre costas escarpadas y planas, proponiendo una serie de subtipos, algunos descriptivos, por ejemplo, costas de estuarios; otros genéticos, costas de falla o modeladas por glaciares. Un enfoque similar siguió Ottmann (1965) que propuso tres categorías de costa acantilada (acantilados que se hunden en las profundidades oceánicas, acantilados con plataformas costeras y acantilados que se precipitan sobre plataformas sumergidas), costas parcialmente sumergidas, costas no acantiladas y costas bajas. Zenkovich (1967) clasificó los rasgos costeros deposicionales en cinco categorías: formas adosadas (incluyendo playas y promontorios), formas libres (incluyendo flechas), barreras, formas en bucle (incluidos los tómbolos) y formas separadas (incluidas las islas-barrera).

Valentin (1952), partiendo de la base de que una línea de costa puede avanzar o retroceder, clasificó las costas entre las que surgieron por emergencia, por deposición orgánica, caso de los manglares o los corales, y por deposición inorgánica, marina o fluvial, mientras que las costas que retrocedieron las dividió entre las que se formaron por inmersión de formas terrestres erosionadas por procesos glaciares o fluviales y las formadas por erosión marina.

Otro autor, Russell (1967) propuso una clasificación de las costas rocosas, sobre la base de la geología y de la estructura, teniendo en cuenta la similitud de formas desarrolladas sobre rocas cristalinas, independientemente del ambiente climático y ecológico. Los granitos que afloran en diferentes lugares de las costas de Escandinavia, en el suroeste Australia, en Sudáfrica o Brasil muestran superficies abovedadas similares. Las calizas, los basaltos y las areniscas también muestran formas costeras originales. Por su parte Haslett (2009) analizó las costas como sistemas dinámicos diferenciando los sistemas costeros dominados por el oleaje, que engloban a las playas, acantilados, plataformas y costas coralinas; sistemas costeros dominados por las mareas, caso de las llanuras intermareales, estuarios, marismas y manglares; y sistemas costeros dominados por los ríos, en los que engloba a los estuarios.

Visto lo anterior, parece evidente que las diferentes clasificaciones sirven en gran medida para obtener una visión global de las costas a nivel mundial pero no para ser empleadas a nivel local. Sin embargo, existen diferentes publicaciones a nivel internacional que se centran en clasificaciones regionales. A este respecto se pueden mencionar algunas como las siguientes: Benedet *et al.* (2006) realizaron una clasificación morfodinámica de las playas de Florida diferenciando cinco compartimentos morfológicos y 24 subsegmentos con distintos niveles de peligro; Del Río *et al.* (2013) propusieron una clasificación basada en la morfología y dinámica de las playas para poder comprender la forma en que las características morfológicas costeras influyen en las tendencias de erosión-acreción; Ward y Roberts (2020) caracterizaron los estuarios de Southland (Nueva Zelanda) dentro de una clasificación relativamente compleja de doce tipos principales y subtipos basados en amplias características físicas. En el caso de Galicia, en el Plan de Ordenación de Litoral de Galicia (POLGalicia, 2011) se diferencian ocho tipos de acantilados, once tipos de playas junto con marismas, estuarios y llanuras intermareales.

El objetivo del presente artículo es proponer una nueva metodología que permita caracterizar mejor los diferentes tipos de costa existentes en cualquier lugar del mundo combinando las distintas variables asociadas al relieve costero, es decir la altura, la pendiente y la orientación. Su combinación junto con los variados tipos de rocas permite entender mejor las diferencias existentes tanto en el diseño de la costa como en su comportamiento dinámico en relación con las variables atmosféricas y oceanográficas.

2. Fuentes y metodología

Caracterizar y tipificar cualquier espacio geográfico requiere el uso de diferentes fuentes y de una metodología clara. En este caso se ha optado por trabajar a dos escalas. Una primera, a escala general de España, que permitiese caracterizar los grandes rasgos de las costas españolas y, una segunda, a mayor escala. A modo de ejemplo, en este caso, se optó por estudiar la costa gallega con el objeto de poder diferenciar mejor los distintos tipos de costa. Para el primer objetivo se creó un Modelo Digital de Elevación (MDE) de 5 m de resolución espacial de una franja de 1000 m de ancho desde la costa. Para el segundo se elaboró MDE de 2 m al que se le superpusieron la ortofotografía del PNOA de los años 2010 y 2017 (IGN, 2021). Los archivos se procesaron usando ArcGIS 10.7 (licencia USC). El análisis litológico se ha llevado a cabo a partir de las capas a escala 1:50.000 y 1: 1.000.000 del IGME (2021), mientras que los datos oceanográficos se han obtenido de Puertos del Estado (2021).

Con los MDEs se han construido los mapas de altitud, pendiente y orientaciones. En el caso de Galicia, se han elaborado mapas de unidades topográficas a partir de la unión de altitud y pendiente. Por otra parte, se ha creado una cartografía detallada de acantilados, playas de bloques, playas de arena y dunas, a partir de la construida durante la elaboración del Plan de Ordenación del Litoral de Galicia (POLGalicia, 2011) bajo la dirección del autor.

3. Resultados

3.1. Caracterización general de las costas españolas

Sin duda se puede afirmar que la diversidad es la principal característica de las costas españolas. A lo largo de los más de 9000 km de longitud (Pérez-Alberti *et al.*, 2019) se encadenan dominios climáticos diferentes, tipos de rocas variados, condiciones oceanográficas distintas y una gran diversidad de acantilados y plataformas rocosas, playas y dunas, marismas, albuferas o lagunas. También se localizan Regiones Biogeográficas (Atlántica, Mediterránea y Macaronésica), Demarcaciones Marinas (Noratlántica, Suratlántica, Estrecho y Alborán, Levantino Balear y Canarias) y diferentes Hábitats de Interés Comunitario (Acantilados, Dunas, Lagunas, Marismas, etc.). Incluso existe una distribución turística de las costas. A lo anterior hay que añadirle que, dado que existen marcadas diferencias desde el punto de vista topográfico, geomorfológico u oceanográfico, se pueden individualizar ocho sectores distintos (Aranda *et al.*, 2019): Costa Cantábrica, Costa de Galicia, Costa del Golfo de Cádiz, Costa del Estrecho, Costa de Alborán, Costa Levantina-Balear, Costa Brava y Costa Canaria.

3.1.1. Longitud de la línea de costa

El cálculo de la longitud de la costa se ha hecho combinando los límites marinos de las diferentes comunidades autónomas a partir de la cartografía del IGN, a escala 1:25.000. Esto ha permitido obtener datos más precisos que los conocidos anteriormente. Así frente a los 6885 km citados en el IGN, la cifra obtenida alcanza los 9265,88 km (Tabla 1). En el 1985 el INE estimaba la longitud de la costa en 5937 km.

Tabla 1. Longitud de los diferentes sectores de la costa española.

Zona	Longitud (km)
Cantábrica	1108,54
Costa Brava	610,74
Costa Canaria	1765,78
Costa de Alborán	758,27
Costa del Estrecho	156,23
Galicia	2021,49
Golfo de Cádiz	347,42
Costa Levantina-Balear	2092,55
Total	9265,88

3.1.2. Diversidad topográfica

Los datos de elevación y pendiente (Tabla 2), permiten saber que el 99,86% de las costas españolas tienen menos de 50 m de elevación y de ese porcentaje el 96,66% se encuentra dentro del rango de menos de 4° de pendiente. Esto indica que dominan las costas bajas y de escasa pendiente, a excepción de lugares muy concretos del territorio. De lo anterior se deduce que las costas acantiladas suponen un porcentaje muy bajo en el total. Sin embargo, ello no quiere decir que su importancia no sea grande en distintos lugares de las costas españolas, caso de la costa cantábrica, Costa de Galicia, Costa Brava o Canarias.

Tabla 2. Distribución por pendiente y elevaciones de las costas españolas.

Pendientes	50m	100m	150m	200m	250m	300m	>300m	Total
0°	99,86%	0,09%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
4°	95,66%	2,45%	1,23%	0,58%	0,06%	0,03%	0,00%	100,00%
8°	76,57%	14,31%	6,25%	2,20%	0,42%	0,25%	0,00%	100,00%
16°	52,10%	30,65%	11,11%	4,04%	1,66%	0,43%	0,01%	100,00%
32°	30,85%	37,02%	19,47%	9,13%	2,99%	0,51%	0,04%	100,00%
64°	40,62%	27,69%	20,14%	8,55%	2,67%	0,33%	0,00%	100,00%
>64°	43,09%	50,34%	5,97%	0,60%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Total	76,06%	13,70%	6,44%	2,74%	0,85%	0,19%	0,01%	100,00%

3.1.3. Orientaciones

La orientación es otro factor clave a la hora de entender el comportamiento dinámico de las costas. Por supuesto, los contrastes entre el Cantábrico, Atlántico y Mediterráneo son un primer rasgo diferenciador, pero, ampliando la escala, se puede observar como las orientaciones son diversas en buena parte de la fachada marítima española (Tabla 3) lo que motiva cambios importantes en su dinámica en sectores próximos.

Tabla 3. Relación entre la elevación y la orientación de las costas españolas.

Orientación	Elevación								Total
	0	50	100	150	200	250	300	> 300	
Este	4,92%	11,78%	12,89%	12,49%	12,23%	11,55%	10,02%	8,65%	11,88%
Noreste	4,31%	10,17%	11,59%	12,33%	11,90%	11,06%	10,51%	9,99%	10,59%
Noroeste	5,86%	10,13%	13,42%	14,31%	14,33%	14,83%	16,51%	18,72%	11,45%
Norte	5,01%	9,43%	12,51%	13,26%	13,35%	13,76%	14,25%	14,99%	10,58%
Oeste	4,95%	9,91%	12,49%	12,52%	12,36%	12,40%	13,85%	15,22%	10,79%
Plano	61,53%	10,88%	0,14%	0,15%	0,15%	0,15%	0,16%	0,17%	7,67%
Sur	4,11%	12,49%	11,81%	11,50%	11,67%	11,93%	10,95%	10,14%	12,17%
Sureste	4,75%	13,76%	13,30%	12,60%	13,17%	13,30%	12,38%	10,81%	13,46%
Suroeste	4,56%	11,44%	11,84%	10,84%	10,84%	11,01%	11,37%	11,32%	11,41%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

3.1.4. Diversidad litológica

Litológicamente las costas españolas se pueden englobar en cinco grandes unidades: graníticas, metamórficas, calizas, sedimentarias y volcánicas. Su composición mineralógica y su grado de fracturación condicionan los rasgos esenciales de los diferentes sectores, pudiéndose decir que existe un control estructural y litológico de las formas. El primero marca el diseño general y el segundo el modelado de detalle.

3.1.5. Rango mareal

Las diferencias en el rango mareal entre los ambientes atlánticos y mediterráneos es otro aspecto para tener en cuenta. Los ciclos mareales de ascenso y descenso a lo largo del día provocan cambios en la humedad que influyen tanto en la fauna y flora como en los procesos de alteración química y física de los materiales rocosos. No se debe dejar de lado el hecho de que en el Noroeste existe un rango mareal de 4 m y en el Sudeste no supera los 0,5 m.

3.1.6. Oleaje

Sin duda, uno de los aspectos más importantes a la hora de entender la dinámica litoral es el oleaje. El análisis de los datos obtenidos indica las grandes diferencias que hay entre regiones. En las costas del norte y del noroeste no son infrecuentes las olas que superan los 10 m e, incluso los 12 m destacando Estaca de Bares o el Cabo Vilán (Tabla 4). Por el contrario, en el Mediterráneo se superan los 6 m en Alborán o Cabo de Gata (Tabla 5), Cabo de Palos y en Dragonera y los 8 m en Mahón. En Canarias las olas máximas registradas en Gran Canaria y Tenerife Sur no alcanzan los 6 m.

Tabla 4. Datos de oleaje en Estaca de Bares (Galicia). Boya de Vilán-Sisargas en el período 1998-2017 (Puertos del Estado, 2021).

Mes	Máxima. Hs	Tp	Dirección	Año	Día	Hora
Enero	13,5	14,3	296	2009	24	1
Febrero	11,7	18,2	275	2017	2	15
Marzo	12,6	14,3	323	2008	10	19
Abril	8,3	14,3	320	2012	18	17
Mayo	8,8	13,4	290	2006	21	21
Junio	6,3	12,5	319	2013	23	5
Julio	5,5	12,5	292	2007	1	2
Agosto	6,3	14,3	313	2008	18	16
Septiembre	7,0	10,0	249	2015	16	8
Octubre	10,2	14,3	309	2003	31	20
Noviembre	11,7	14,3	324	2010	9	3
Diciembre	10,9	12,5	309	2006	8	16

Tabla 5. Datos de oleaje en el Cabo de Gata en el período 1998-2017 (Puertos del Estado, 2021).

Mes	Máxima. Hs	Tp	Dirección	Año	Día	Hora
Enero	6,6	9,5	258	2015	31	9
Febrero	4,8	8,3	248	2016	14	5
Marzo	5,3	9,1	238	2009	5	12
Abril	4,5	8,7	83	2015	8	11
Mayo	4,9	8,3	251	2004	5	23
Junio	3,6	7,7	256	2016	15	22
Julio	3,3	8,7	93	2016	4	3
Agosto	3,9	8,4	60	2007	25	21
Septiembre	3,6	8,5	-	1998	19	0
Octubre	4,2	8,0	253	2009	22	12
Noviembre	5,6	8,7	244	2010	8	19
Diciembre	5,3	9,1	249	2010	23	13

3.2. Delimitación y tipificación de las costas de Galicia

La costa de Galicia tiene una longitud de 2100 km (POLGalicia, 2011). El estudio llevado a cabo para poder conocer la elevación y pendiente de las costas españolas permitió saber que en el caso gallego (Tabla 6) el 68,29% tenían menos de 50 m de elevación y únicamente el 3,15% superaban los 300 m. Por otra parte, el grado de pendiente es muy variable en cualquier intervalo de elevación como se puede ver en la Tabla 6. A lo anterior hay que unirle la diversidad litológica, así como la diversidad de orientaciones. A nivel general dominan las rocas pizarroso-esquistosas y graníticas ricas en cuarzo.

Tabla 6. Distribución por elevación y pendiente de las costas de Galicia

	50m	100m	150m	200m	250m	300m	Resto	Total
0°	99,67%	0,25%	0,05%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	100,00%
4°	88,39%	8,32%	2,16%	0,69%	0,29%	0,06%	0,10%	100,00%
8°	70,09%	20,16%	6,05%	2,12%	0,66%	0,29%	0,63%	100,00%
16°	47,15%	31,29%	13,24%	4,84%	1,80%	0,76%	0,92%	100,00%
32°	31,25%	30,39%	20,30%	9,86%	4,43%	2,09%	1,69%	100,00%
64°	61,06%	20,22%	10,79%	7,26%	5,56%	4,73%	8,38%	100,00%
>64°	18,73%	37,48%	19,78%	9,89%	4,24%	1,77%	8,12%	100,00%
Total	68,29%	18,04%	7,78%	3,19%	1,32%	0,62%	0,76%	100,00%

Morfológicamente destacan las rías, brazos de mar que penetran en el continente separadas por estrechos sectores rectilíneos observándose una intensa relación entre la red de entrantes y salientes con la litología y la fracturación.

El diseño de las formas litorales está íntimamente relacionado con la evolución geotectónica de Galicia y se puede ver desde varias perspectivas; desde la de las megaformas, que marcan los rasgos generales de la costa, hasta el de las microformas, que introducen matices de diferenciación a escala de detalle. En ello los movimientos tectónicos han jugado un papel fundamental tanto a nivel general como en la costa, en particular. La parte final de la orogenia Varisca, estudiada por diferentes autores ha sido la más importante desde el punto de vista geomorfológico. En aquel momento el territorio gallego se fragmentó en numerosas parcelas siguiendo una serie de fracturas conjugadas NE-SW, con direcciones que oscilan alrededor de los 50° N con desplazamiento horizontal del bloque sudoeste hacia el nordeste. También se debe tener en cuenta que, aunque actualmente Galicia forma parte de un margen continental estable, en el pasado ha sido un límite de placas. A cualquier escala, la disposición de los distintos afloramientos rocosos establece las líneas del trazado en planta de la costa, mientras que en el perfil vertical sus características se relacionan con la disposición estructural de los materiales. La efectividad

y los modos de operación de los procesos erosivos no dependen tan solo del tipo de roca, sino de la geometría (densidad, dirección e inclinación) o del patrón de discontinuidades, que son las que establecen las líneas de debilidad en las que se produce preferentemente la erosión (Trenhaile 1987).

La fachada marítima de Galicia se encuentra, de acuerdo con Davies (1972), en un ambiente mesomareal, con un rango medio de marea de 2,5 m y un rango máximo de alrededor de 4 m. Respecto al régimen de oleaje, Galicia se localiza en la zona de transición entre las áreas afectadas principalmente por el oleaje tipo *swell* y las afectadas por oleaje tormentoso. Las olas de mar de fondo tienen una dirección de aproximación predominantemente del NW, y con menor frecuencia del W y el SW. Las olas de mayor tamaño (>3 m) tienen una mayor frecuencia durante el invierno y generalmente con direcciones NW y W, generadas por las borrascas que se desplazan desde estas direcciones.

3.2.1. La cartografía manual de los tipos de costa

Tanto durante la elaboración del POL de Galicia (POLGalicia, 2011) como en trabajos posteriores se ha tratado de crear una metodología útil en el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat costeros en España (Pérez-Alberti *et al.*, 2019) probando diferentes opciones para llevar a cabo una clasificación automática usando imágenes de satélite y los SIG. Los resultados no fueron plenamente satisfactorios por lo que se ha optado por, en primer lugar, llevar a cabo una cartografía manual de los diferentes ambientes y, posteriormente, engazarlos con diversos análisis SIG.

Para ello, en primer lugar, se ha creado el SIG Costa-Galicia en el que se ha cargado un modelo digital del terreno (MDT) y otro de superficie (MDS), ambos de 2 m de resolución espacial, y las ortofotografías del PNOA de los años 2010, 2011 y 2017. El uso de un MDT y MDS responde a la mejor caracterización de la costa granítica, donde en los MDT quedan truncadas las formas de modelado, posiblemente debido a que en los procesos de clasificación los grandes bolos o domos fueron interpretados como elementos antrópicos y eliminados. En cambio, en el MDS, con la presencia de estas geoformas permiten una mejor cartografía. En segundo lugar, se han creado las capas de acantilados, playas de bloques, playas, dunas, lagunas costeras y marismas. En el caso de los acantilados, playas, dunas y marismas, se han utilizado como punto de partida las capas del POL (POLGalicia, 2011).

Una vez creado el SIG se pulieron con mayor exactitud las capas citadas y se crearon otras nuevas, concretamente las de playas de bloques y lagunas costeras. En el primer caso se utilizó la escala 1:5000 para dibujar los contornos de cada sector. En las lagunas y playas de bloques que tienen una extensión menor se usó la escala 1:500. Para la cartografía de las plataformas costeras, de pequeña extensión, se han usado ortofotografías y modelos digitales elaborados mediante el uso de UAVs (Pérez Alberti y Trenhaile, 2015; Gómez Pazo *et al.*, 2021). Por último, con el objeto de poder hacer visibles los diferentes tipos de costa cartografiados en las figuras se ha creado una malla con cuadrículas de 10 km de lado. Ello permite mostrar con mayor precisión cualquier sector de la costa como se puede ver, a modo de ejemplo, en la Figura 1.

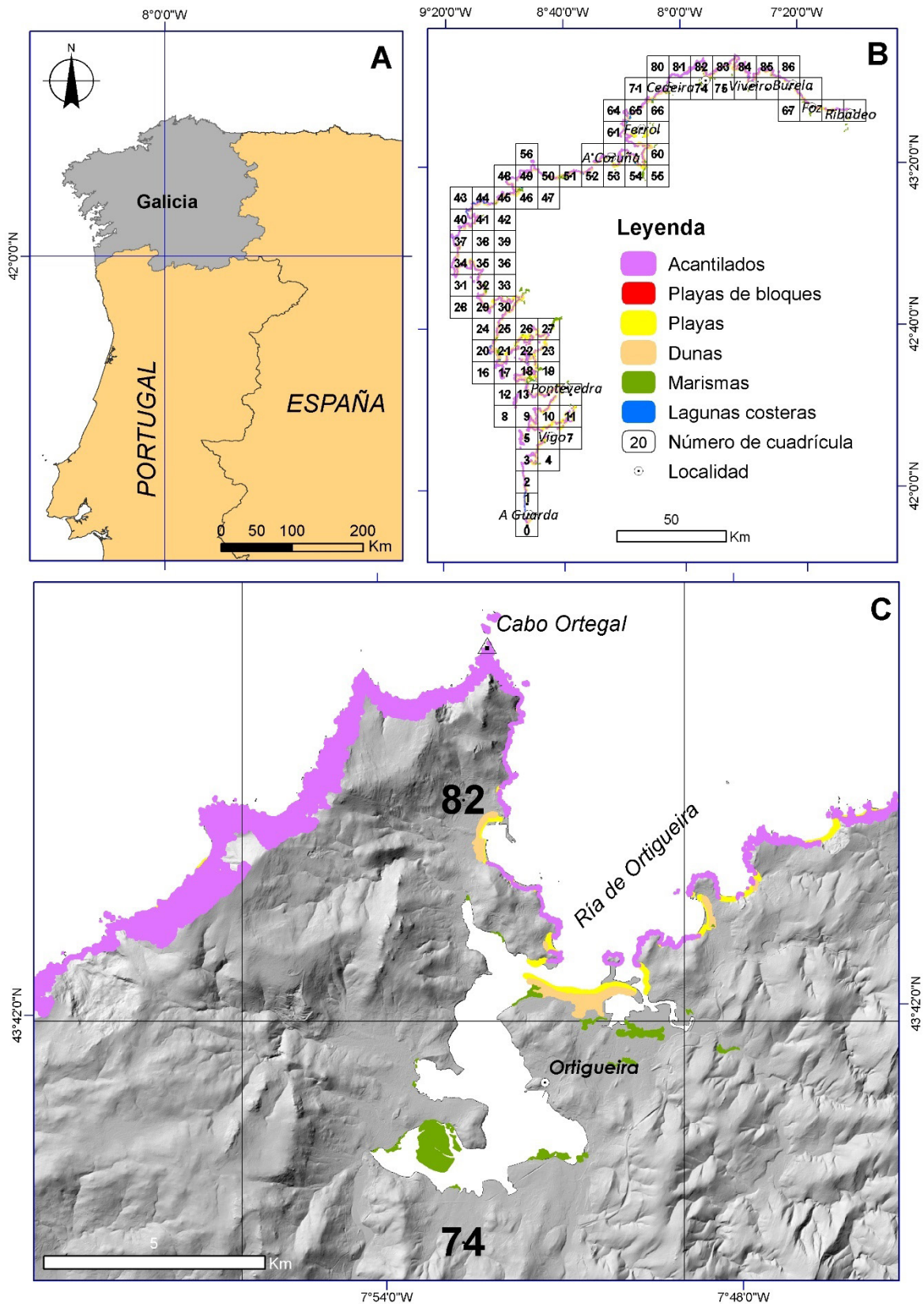


Figura 1. A) Situación del área de estudio; B) Cuadrículas de los acantilados, playas, dunas, playas de bloques, lagunas y marismas de Galicia, modificado de (POLGalicia, 2011); C) Detalle de la Ría de Ortigueira (A Coruña).

3.2.2. Cartografía mediante SIG de la costa

Se ha considerado que las formas costeras son laderas que tienen una elevación, pendiente y orientación determinadas. Como tal puede ser homogénea o no, es decir que toda la fachada costera es uniforme o está compuesta por diferentes segmentos escalonados, emplazados a una elevación determinada y con pendientes diferentes. Por ello, con el objetivo de poder conocer con mayor exactitud el encadenamiento en altitud de los diferentes segmentos y sus relaciones que, a la postre, caracterizan y tipifican la costa, se creó el SIG Unidades Topográficas Costeras (UTC). En este caso se cargó el MDT de 2 m y las capas citadas anteriormente, es decir acantilados, playas, dunas y playas de bloques. Las plataformas costeras fueron descartadas dado que al estar afectadas por las mareas no aparecen bien reflejadas en el MDT; esto también se aplica a las lagunas y marismas que no fueron consideradas por ser formas planas y con presencia de agua, lo que genera problemas en el uso de información LiDAR. También se empleó la capa del ámbito del POL (POLGalicia, 2011) dado que, aunque abarca una amplia franja costera que supera el espacio objeto de estudio, permite poder analizar la costa de una manera más integrada y muy especialmente poder ver la relación que existe entre las UTC de la fachada costera y el engarce con el continente lo que ayuda a diferenciar tipos de costa.

A partir de la mencionada información, se han generado en formato ráster: a) un MDT del ámbito del POL; b) el mapa de elevaciones; c) el mapa de pendientes; d) el mapa de UTCs y e) la extracción de las UTC enmarcadas dentro de las capas de acantilados, playas, dunas y playas de bloques. Posteriormente, los mapas se han convertido a formato vectorial para extraer cada una de las UTC, analizarlas por separado y ver su combinación en los diferentes sectores de costa.

3.2.2.1. Mapa de elevaciones

Se generó a partir del MDT de 2 m derivado de los datos LiDAR del año 2015. Posteriormente se han reclasificado las elevaciones en cinco niveles: 0-25, 25-50, 50-100, 100-300 y >300 m. Esta clasificación se hizo teniendo en cuenta que la mayor parte de las costas de Galicia no superan los 50 m de elevación pero que, por encima de esta, aparecen sectores de gran interés geomorfológico. Finalmente se han renombrado los niveles como 10, 20, 30, 40 y 50 (Figura 2, parte superior). Esto supone que a la hora de observar las UTC las decenas indiquen la elevación de la costa.

3.2.2.2. Mapa de pendientes

Se ha elaborado a partir del mismo MDT del caso anterior. Como para las elevaciones, se ha creado un número reducido de grupos pero que fueran representativos: 0-4°, 4-8°, 8-16°, 16-32°, 32-64° y >64° que se renombraron como 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (Figura 2, parte inferior). Esto quiere decir que las unidades reflejan la pendiente.

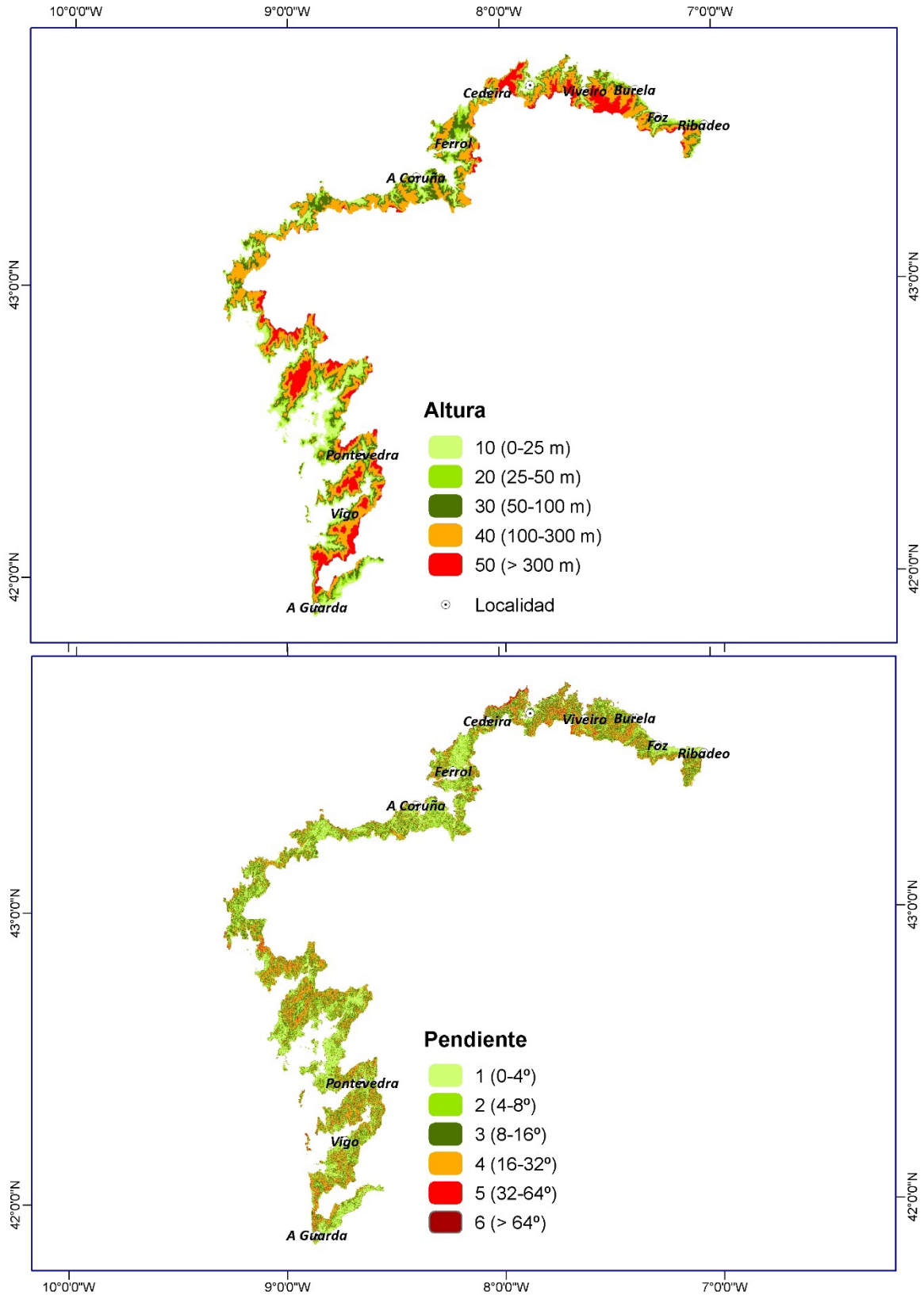


Figura 2. Mapa de elevación de la costa (superior) y pendiente (inferior) reclasificadas.

3.2.2.3. Mapa de Unidades Topográficas Costeras (UTC)

Hay que tener presente que cualquier forma topográfica lleva asociada las variables elevación, pendiente y orientación lo que supone que un cambio en cualquiera de ellas provoca una modificación en el resto. Por ello, en los primeros ensayos llevados a cabo para elaborar las UTC, aparte de los mapas de elevación y pendiente, se creó el de orientaciones y el litológico. Sin embargo, a pesar de introducir un número pequeño clases, al combinarlas con las otras once, el número de UTC resultantes era tan amplio que dificultaba su interpretación. No se debe de olvidar que la creación de cualquier clasificación costera debe de buscar el poder ser útil en la gestión. Por ello se ha optado por combinar solamente las dos primeras. En total han resultado 30 UTC que aparecen reflejadas en la Figura 3.

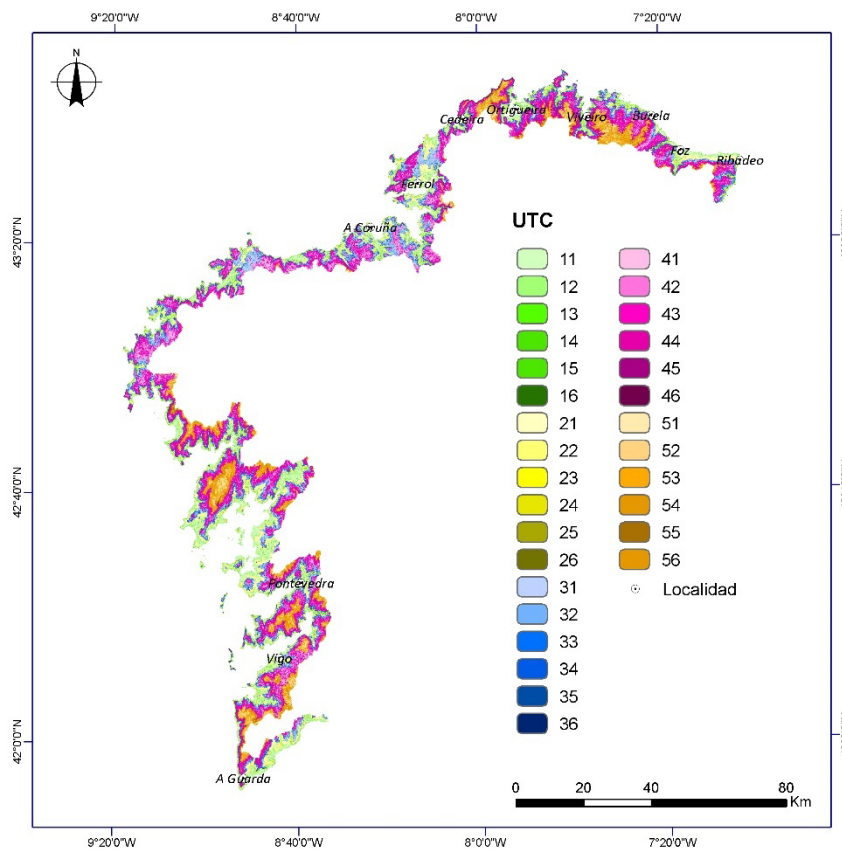


Figura 3. Mapa de UTC de la costa de Galicia.

3.2.2.4. Extracción de las UTC de los acantilados, playas, dunas y playas de bloques

La extracción de las UTC de forma individualizada permite ver con claridad como se combinan en cada ambiente concreto. Una UTC puede englobar totalmente la fachada marítima o combinarse con otras caracterizando los distintos tipos de costa. En el primer caso hay una uniformidad en la forma; en el segundo existen diferentes segmentos que, en función de las UTC, indican cambios en la elevación, lo que pueden provocar cambios en la dinámica y/o diferencias en un hábitat costero. En la Tabla 7 aparecen remarcadas las UTC existentes en los acantilados, playas de bloques, playas y dunas.

Tabla 7. UTC existentes en las áreas de acantilados, playas de bloques, playas y dunas.

UTC	Elevación (m)	Pendiente (°)	Acantilados	Playas de bloques	Playas	Dunas
11	0-25	0-4	X	X	X	X
12	0-25	4-8	X	X	X	X
13	0-25	8-16	X	X	X	X
14	0-25	16-32	X	X	X	X
15	0-25	32-64	X	X	X	X
16	0-25	>64	X	X	X	X
21	25-50	0-4	X			X
22	25-50	4-8	X			X
23	25-50	8-16	X			X
24	25-50	16-32	X			X
25	25-50	32-64	X			X
26	25-50	>64	X			X
31	50-100	0-4	X			X
32	50-100	4-8	X			X
33	50-100	8-16	X			X
34	50-100	16-32	X			X
35	50-100	32-64	X			
36	50-100	>64	X			
41	100-300	0-4	X			
42	100-300	4-8	X			
43	100-300	8-16	X			
44	100-300	16-32	X			
45	100-300	32-64	X			
46	100-300	>64	X			
51	>300	0-4	X			
52	>300	4-8	X			
53	>300	8-16	X			
54	>300	16-32	X			
55	>300	32-64	X			
56	>300	>64	X			

3.2.2.5. Análisis de la combinación de UTC y tipos de acantilados

La combinación de las distintas unidades que se encadenan en la costa de Galicia y de las existentes en su entorno continental ha permitido diferenciar los tipos de acantilados más comunes (Figura 4): acantilados con planicie anexa, acantilados con remate plano y amplia planicie anexa, acantilados vertiente, acantilados convexos y grandes acantilados.

- a) **Acantilados con estrecha planicie anexa.** Se trata de acantilados que aparecen flanqueados hacia el continente por estrechas planicies litorales suavemente onduladas. Se encuentran modelados tanto sobre rocas graníticas como esquistosas. Son de baja elevación y en ellos dominan las UTC 13, 14, 15, es decir formas por debajo de 25 m y con pendientes entre los 8° y los 64°. Los mejores ejemplos aparecen en el entorno de la Ría de Arousa y en el margen meridional de las de Muros e Noia, Costa de Dexo, así como en la Ría de Ares y Betanzos (Figura 5A).
- b) **Acantilados de remate plano con amplias planicies anexas.** Se diferencian de los anteriores porque presentan un perfil muy vertical y por detrás la horizontalidad y amplitud es mayor. Entre la base y la parte superior se encadenan las UTC 15, 24, 25, 35 o 45 según los sectores. Se trata pues de formas que no alcanzan los 25 m hasta otros que pueden alcanzar los 300 m. Su fisonomía aparece claramente condicionada por la estructura, bien por los planos de estratificación verticales; bien por la existencia de líneas de fractura que de manera nítida señalan el límite entre el mar y la tierra. Ejemplos de este tipo de acantilados son los de Picón (Ortigueira, A Coruña) y Augasantas (Ribadeo, Lugo). Litológicamente dominan las pizarras con buzamientos prácticamente horizontales o subhorizontales (Figura 5B)

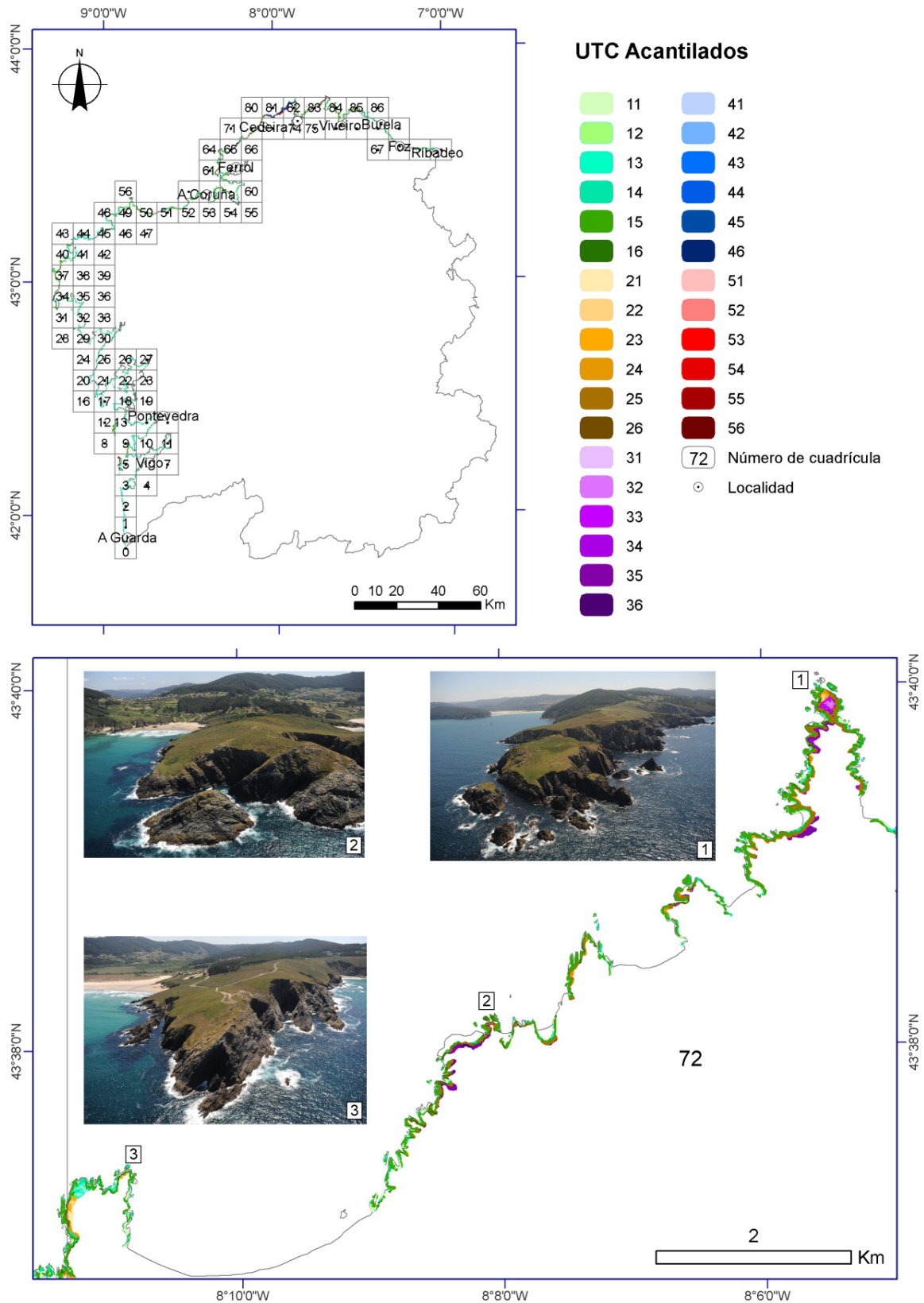


Figura 4. Tipos de acantilados (superior) y detalle de los acantilados de la cuadrícula 72 (inferior) con la localización de las imágenes, Fotos: POLGalicia (2011).

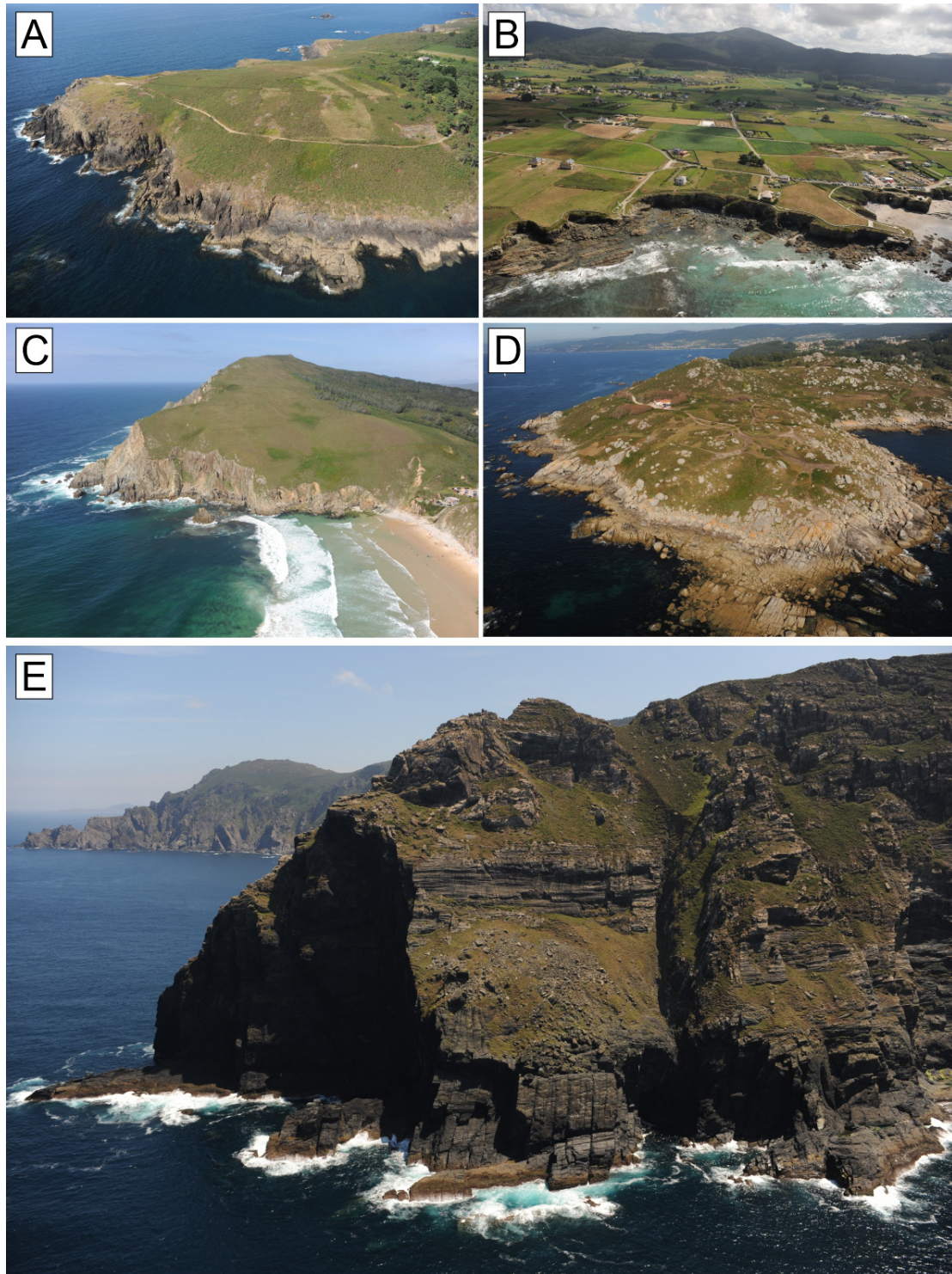


Figura 5. Ejemplos de tipos de costa en Galicia, A) Costa de Dexo (A Coruña); B) Augasantas (Lugo); C), Valdoviño (A Coruña); D) Bueu (Pontevedra); E) A Capelada (A Coruña), Fotos: POLGalicia (2011).

- c) **Acantilados vertiente.** Este tipo de acantilados dibujan una línea continua desde la orilla del mar hasta parte alta de la vertiente. En ella se encadenan, según los sectores, las UTC 13, 14, 15, 24, 25 o 34 y no están asociados a planicies. Se podría diferenciar a su vez entre acantilados de vertiente suave o fuerte. Se han modelado fundamentalmente sobre rocas graníticas y son los más abundantes en las costas de Galicia (Figura 5C).

- d) **Acantilados convexos.** Son acantilados que dibujan un perfil convexo, generalmente compuesto por segmentos bien diferenciados en los que se combinan las UTC 13 y 14. Se trata de formas asociadas a las rocas graníticas como las que se puede observar en el entorno del Cabo Udra (Pontevedra) (Figura 5 D).
- e) **Grandes acantilados.** En este grupo se encuentran formas relacionadas más con la dinámica tectónica que con la acción del mar que únicamente les afecta en su base. Los mejores ejemplos se pueden ver en el sector costero que se prolonga desde Cabo Ortegal hasta la Ría de Cedeira, así como en los Montes das Lagoas (Narón-Ferrol), en la Costa da Vela (Cangas) o en las Illas Cíes. Las UTC se escalonan, con cambios importantes en la elevación lo que da lugar a segmentos en los que dominan las UTC 12 o 13, con otros en las que domina la 33 o 34 o incluso, como es el caso de los acantilados de A Capelada, las 44 o 56 (Figura 5E).

3.2.2.6. Las UTC en las playas de bloques (*coidos*)

Las UTC 12, 13, 14, 15 y 16 son las dominantes en las playas de bloques, que son formas muy singulares de las costas graníticas, caso del sector del Cabo Vilán (Camariñas, A Coruña), en el de Corrubedo (Ribeira, A Coruña) o en el tramo de costa que se alarga entre el Cabo Silleiro y A Guarda (Pontevedra) (Figura 6). La existencia de las UTC 14, 15 y 16 son indicativas de su carácter reflectivo que hace que a mayor tamaño de los bloques mayor es su pendiente. La tipificación de las playas de bloques se ha hecho por su diseño en planta diferenciando *coidos* longitudinales, en saliente simple, en doble saliente, en arco y en canal (Pérez Alberti y Gómez Pazo, 2019).

3.2.2.7. Las UTC en las playas

Las UTC que son dominante en las playas son las 11, 12, 13, 14, 15 y 16, de manera especial las tres primeras mientras que las otras tres están asociadas a bermas, cúspides de playa o a zonas de contacto con sistemas de dunas (Figura 7). Y, como en el caso de las playas de bloques, la tipología hay que ponerla en relación con su diseño en planta. Se trata por lo general de arenales de pequeña extensión a excepción de los existentes en lugares muy concretos de la costa, caso de Corrubedo (Ribeira, A Coruña) o Carnota (A Coruña). El tratamiento mediante las UTC ha permitido diferenciar con claridad 8 tipos de playas (Figura 8): sobre tómbolo (1), de fondo de bahía (2), sobre flecha simple (3), sobre flecha doble (4), anclada en dos salientes rocosos (5), de desembocadura fluvial (6), sobre plataforma rocosa (7) y de fondo de saco (8).

3.2.2.8. Las UTC en las dunas

Las UTC 11, 12 y 13 son las más abundantes en los sistemas dunares, marcando con claridad el cambio en las ondulaciones existentes. Las UTC de los grupos 20, 30 y 40, se corresponden con dunas rampantes, caso del arenal de O Trece (Camariñas, A Coruña), Monte Branco (Ponteceso, A Coruña) o A Frouxeira (Valdoviño, A Coruña). En Galicia se han diferenciado 10 tipos de dunas (Pérez-Alberti y Vázquez Paz, 2011): dunas embrionarias o incipientes, colas de arena, lingüiformes, antedunas o primarias, piramidales, parabólicas, barjanoides, rampantes o remontantes, transversales y grises. La mayor parte de estas tipologías están muy degradadas (Figura 9). Las UTC costeras no permiten diferenciar todas las formas dunares, únicamente las de mayor tamaño, caso de las dunas incipientes, pinaculares, rampantes o parabólicas. Sin embargo, la combinación del sombreado, junto con las UTC y las curvas de nivel de 2 m ayuda a diferenciar no sólo el tipo de duna sino aspectos importantes de su topografía, caso de la existencia de corredores de deflación o de frentes de avance dunar (Figura 10A y B). Por otra parte, ayuda a visibilizar muy bien la existencia de distintos cordones separados por campos eólicos. Esto es visible, entre otros, en el caso del campo dunar de Valdoviño (Figura 10A).

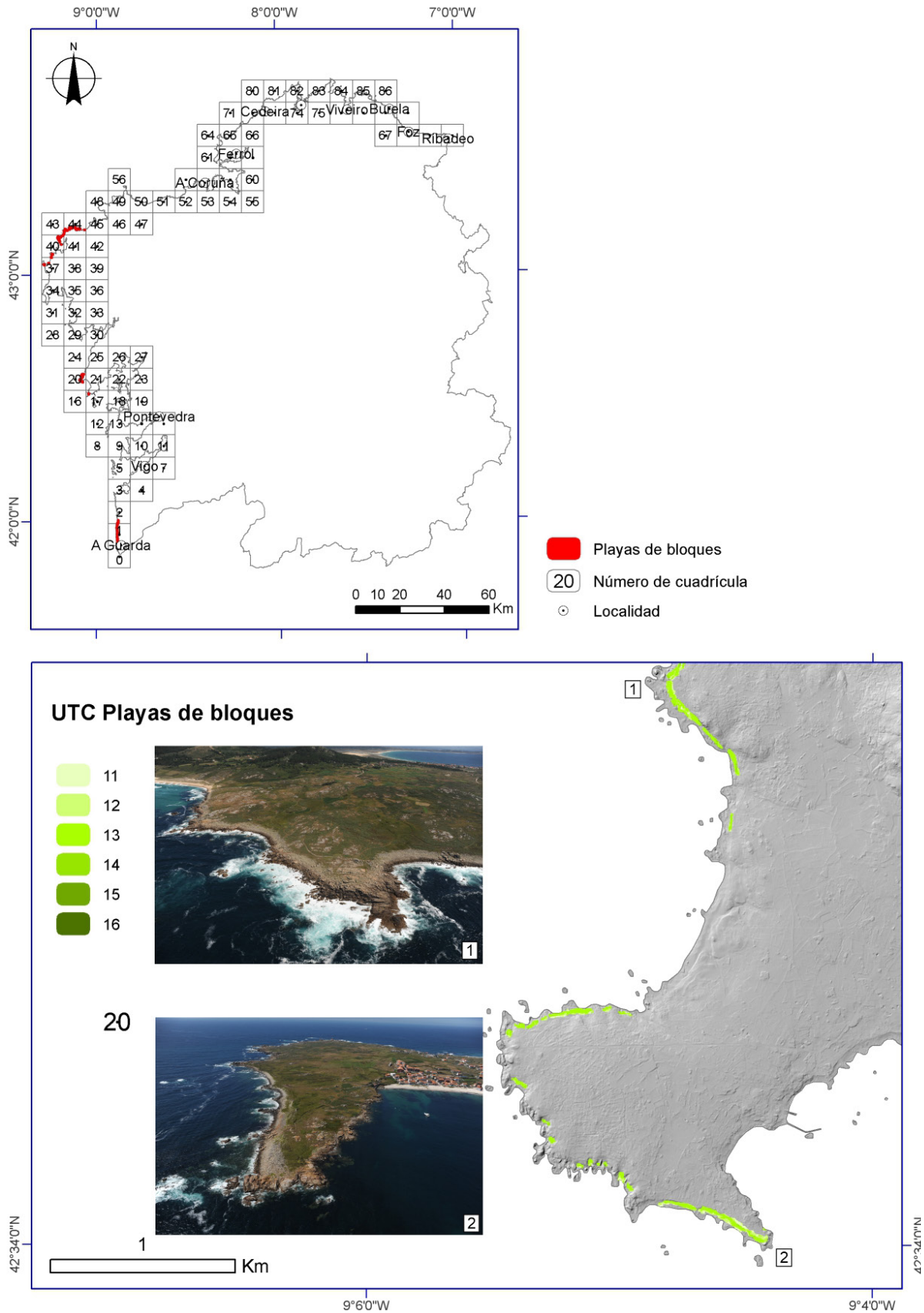


Figura 6. Distribución de las playas de bloques (superior) y UTCs en la cuadrícula 20, en el sector de Corrubedo (A Coruña) (inferior), Fotos: POLGalicia (2011)

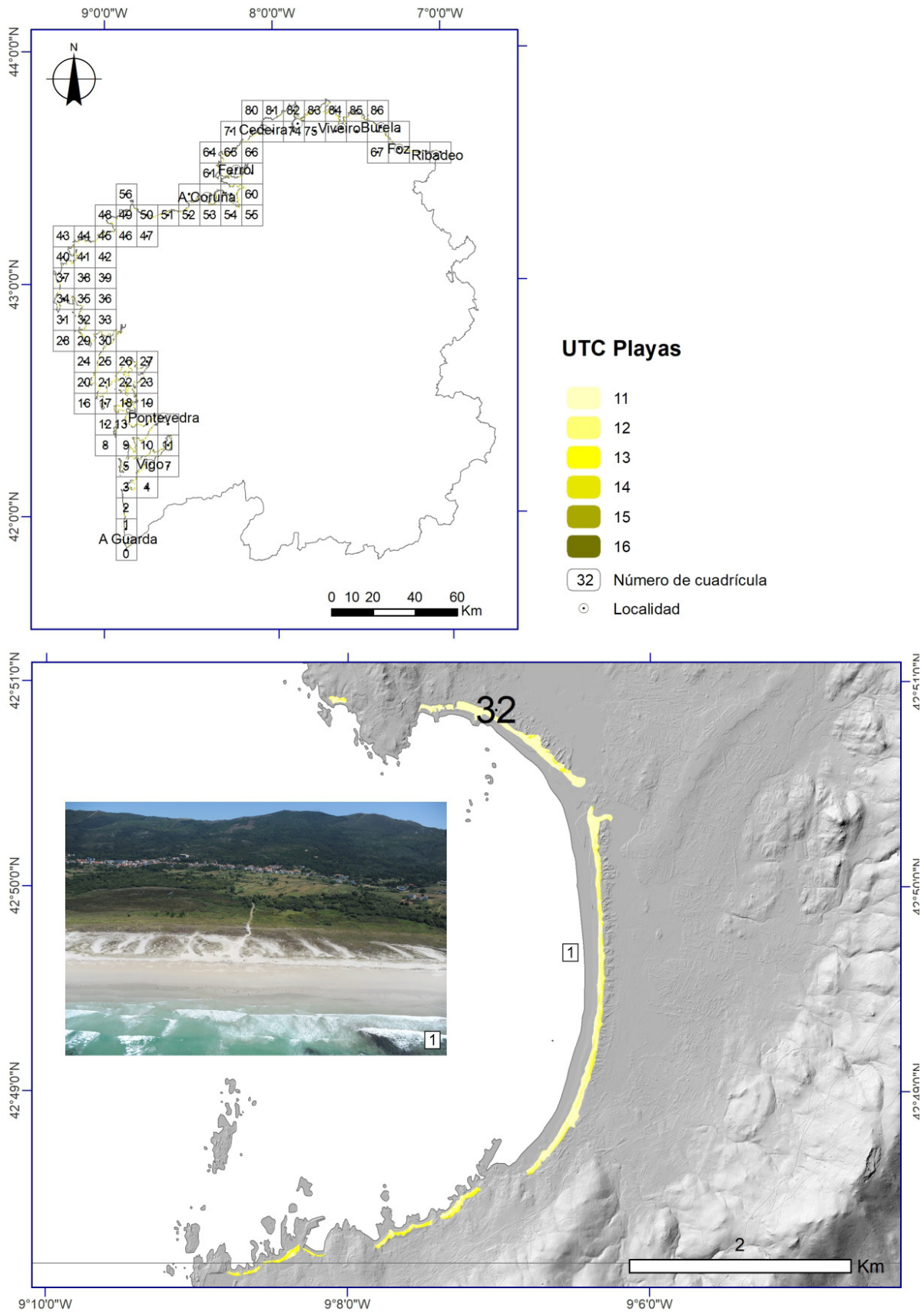


Figura 7. Distribución de las UTCs de las playas en la costa de Galicia (superior); detalle de la cuadrícula 32 (Carnota, A Coruña) (inferior), Foto: POLGalicia (2011).

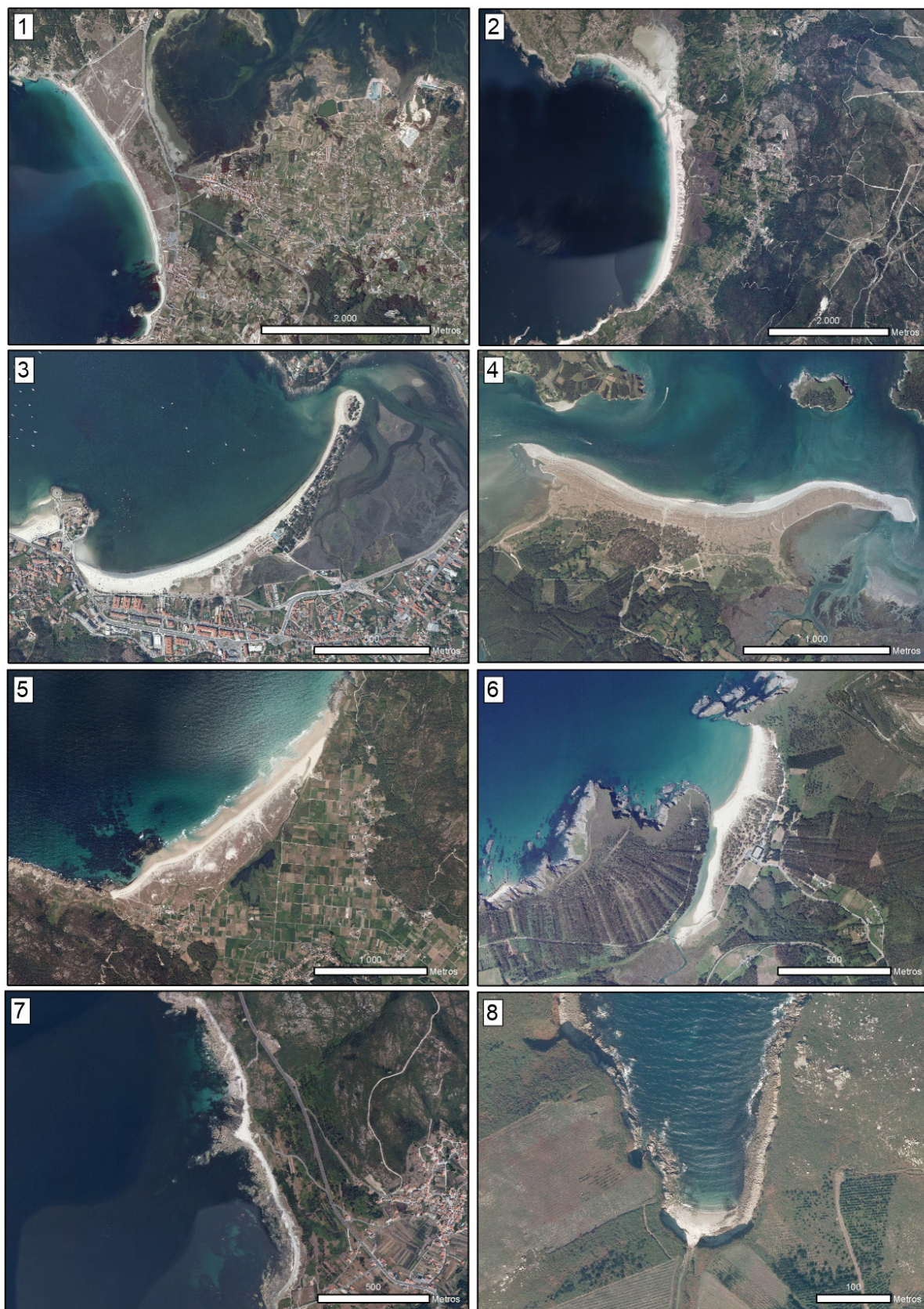


Figura 8. Ejemplos de los tipos de playas diferenciadas en Galicia. 1) A Lanzada (Sanxenxo-O Grove, Pontevedra); 2) Corrubedo (Ribeira, A Coruña); 3) Ladeira (Baiona, Pontevedra); 4) Morouzos (Ortigueira, A Coruña); 5) Traba (Laxe, A Coruña); 6) Esteiro (Mañón, A Coruña); 7) Lariño (Carnota, A Coruña); 8) Arnela (Muxía, A Coruña). Fuente: PNOA (2011), IGN (2021).

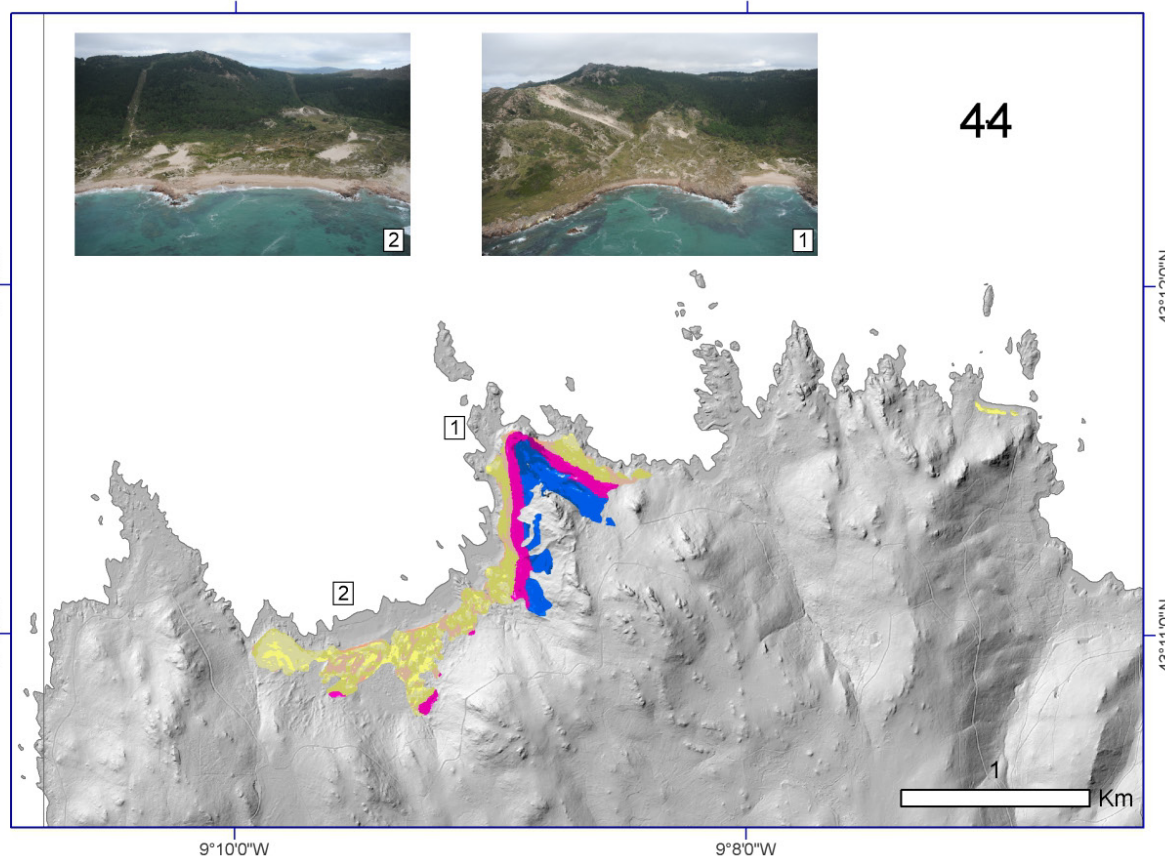
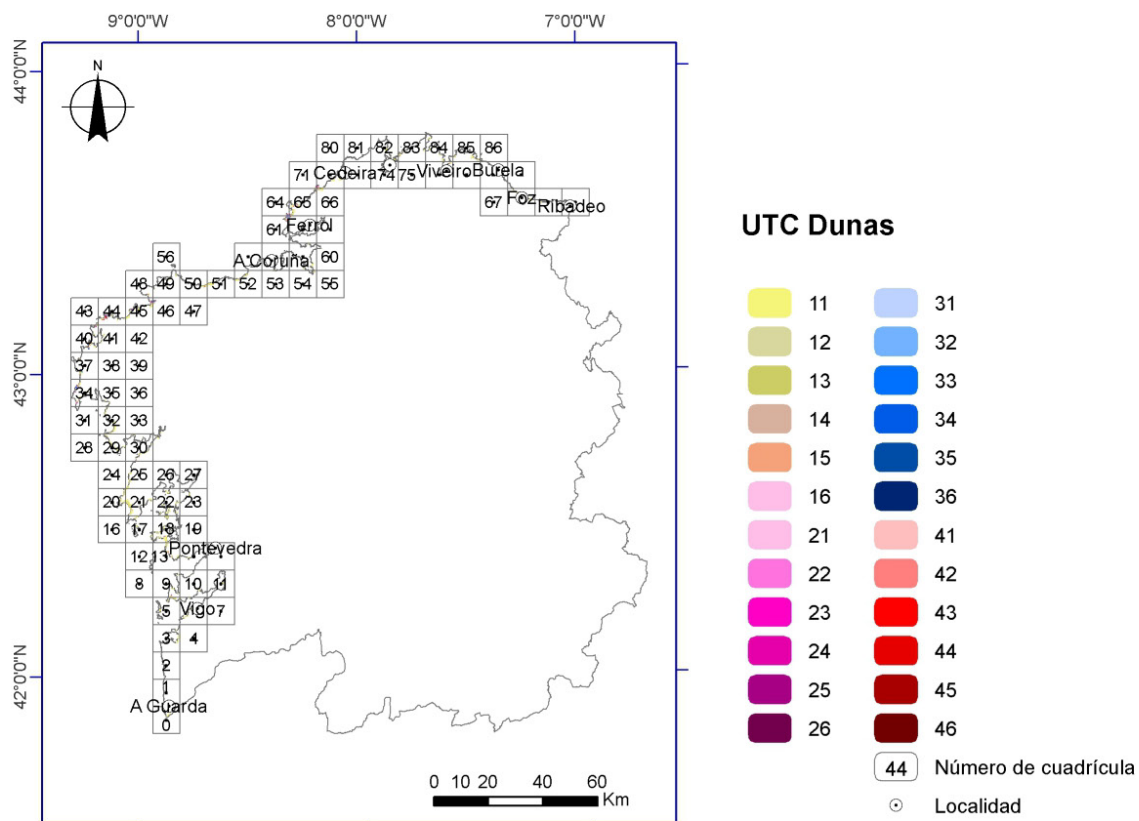


Figura 9. Distribución de las UTCs de las dunas de la costa de Galicia (superior); detalle de la cuadrícula 44 (Camariñas, A Coruña) (inferior), Fotos: POLGalicia (2011).

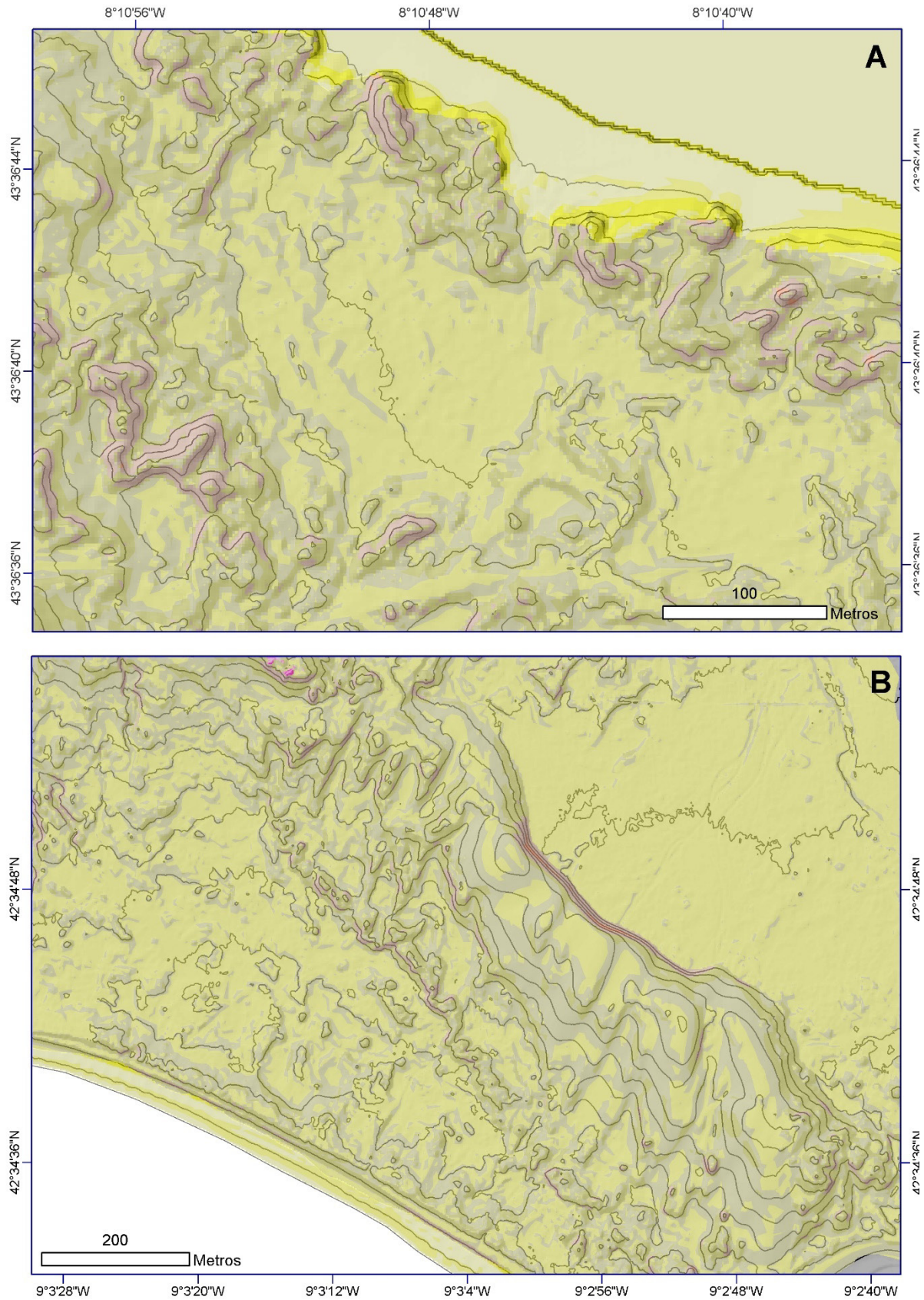


Figura 10. Combinación del sombreado, las curvas de nivel con 2 m de intervalo y UTCs, A) Campo dunar de Valdoviño (A Coruña); B) Duna de Corrubedo (A Coruña).

4. Conclusiones

1. Hay que partir de la idea de que cualquier tipo de clasificación de tipos de costa presenta problemas y es discutible.
2. La combinación de múltiples variables (elevación, pendiente, orientación, litología o grado de estabilidad) dificulta llevar a cabo una clasificación simplificada lo que motiva la necesidad de seleccionar variables.
3. En la presente investigación se ha optado por una cartografía manual que delimitase las áreas ocupadas por los diferentes sistemas costeros (acantilados, playas de bloques, playas y dunas) combinada con un análisis mediante SIG para diferenciar los distintos tipos existentes en cada uno de ellos.
4. La creación de 30 Unidades Topográficas Costeras (UTC) ha permitido caracterizar los tipos de costa proporcionando un análisis más objetivo de la realidad existente en cualquier sector de las costas españolas en general o en las gallegas en particular.

Referencias

- Aranda, M., Gracia, F.J., Pérez-Alberti, A. (coords.). 2019. *Selección y descripción de variables que permitan diagnosticar el estado de conservación de la "estructura y función" de 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, 132 pp.
- Aufrere, L. 1936. Le role du climat dans l'activite morphologique littorale, *Proceedings, 14th International Geographical Congress*, Warsaw, 2, 189-195.
- Benedet, L., Finkl, C.W., Klein, A. H.F. 2006. Morphodynamic classification of beaches on the Atlantic coast of Florida: geographical variability of beach types, beach safety and coastal hazards. *Journal of Coastal Research* SI 39, 360-365. <https://www.jstor.org/stable/25741596>
- Carter, R.W.G., 1988. *Coastal Environments*. Academic Press, London, UK.
- Conselleraría de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas. 2011. Plan de Ordenación do Litoral de Galicia (POLGalicia). Xunta de Galicia. <http://www.xunta.es/litoral/web/index.php/descargables>
- Cotton, C.A. 1952 Criteria for the classification of coasts. *Proceedings 17th Conference, International Geographical Union*, Washington, 315–319.
- Davies, J.L. 1972. *Geographical Variation in Coastal Development*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Davies, J.L. 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*. Longman, London.
- De Martonne, E., 1909. *Traite de Geographie Physique*. Colin, Paris.
- Del Río, L., Gracia, F. J., Benavente, J. 2013. Morphological and evolutionary classification of sandy beaches in Cadiz coast (SW Spain). *Journal of Coastal Research* 65 (10065), 2113-2118. <https://doi.org/10.2112/SI65-357.1>
- Finkl, C.W. 2004. Coastal classification: systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. *Journal of Coastal Research* 20 (1), 166-213. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[166:CCSATC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[166:CCSATC]2.0.CO;2)
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. 2021. High resolution mapping and analysis of shore platform morphology in Galicia, northwestern Spain. *Marine Geology* 436, 106471. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106471>
- Goudie, A. 2004. *Encyclopaedia of Geomorphology*. Routledge publisher, New York, 1250 pp.
- Haslett, S. 2009. *Coastal systems*. Routledge, London, 240 pp. <https://doi.org/10.4324/9780203893203>

- IGME (Instituto Geológico y Minero de España). 2021. *Mapas disponibles en:* <http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/cartoGeo.htm>
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 2021. *Información disponible en:* <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Inman, D.L., Nordstrom, C.E. 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *Journal of Geology* 79, 1–21.
- Ottmann, F. 1965. *Introduction a la Geologie Marine et Littorale*. Masson, Paris.
- Pérez-Alberti, A., Vázquez-Paz, M.C., 2011. Caracterización y dinámica de sistemas dunares costeros de Galicia. En E. Sanjaume Saumell, F.J. Gracia Prieto (Eds). Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, pp. 161-185.
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. S., 2015. Clast mobility within boulder beaches over two winters in Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology* 248, 411-426. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.001>
- Pérez-Alberti, A., Gómez-Pazo, A. 2019. The Rocky Coasts of Northwest Spain. In *The Spanish Coastal Systems. Dynamic Processes, Sediments and Management*. Springer, Cham, pp. 27-47. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2>
- Puertos del Estado. 2021. *Datos disponibles en:* http://portus.puertos.es/Portus_RT/?locale=es
- Russell, R. J. 1967. *River Plains and Sea Coasts*. University of California Press, Berkeley, CA.
- Suess, E. 1906. *The Face of the Earth*. Clarendon Press, Oxford
- Trenhaile, A.S. 1997. *Coastal Dynamics and Landforms*. Oxford University Press, Oxford.
- Valentin, H. 1952. *Die Kusten der Erde*. Petermanns Geographische Mitteilungen, 246 pp.
- Ward, N., Roberts, K.L. 2020. *Estuaries and Coast: Classification and Attributes for Southland*. Environment Southland Regional Council, Publication number 2020-03, Environment Southland: Invercargill.
- Zenkovich, V.P. 1967. *Processes of Coastal Development*, Oliver and Boyd. Edinburgh.