

**ANÁLISIS Y PROPUESTA METODOLÓGICA
PARA EL CÁLCULO DE TASAS DE EROSIÓN Y
OTROS INDICADORES COSTEROS EN UN
SECTOR DE LA COSTA ANDALUZA**



<http://laboratorioediam.cica.es/VisorPlayasAndalucia/>, Sotogrande, (Cádiz)

Autor: Jesús Fernández de la Torre

Tutoras: M^a del Pilar Díaz Cuevas y Emilia Guisado Pintado.



Grado: Geografía y Gestión del Territorio. Universidad de Sevilla

Índice

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	4
2. ÁREA DE ESTUDIO	5
3. CONTEXTO. FUENTES DOCUMENTALES , DATOS DE REFERENCIA Y HERRAMIENTAS.	8
3.1. Fuentes documentales y datos de referencia.....	8
3.2. Herramientas.....	11
4. METODOLOGÍA	13
4.1. Fotointerpretación y digitalización de líneas de costa.....	13
4.2. Asignación de información temática a la línea de costa.....	16
4.3. Control de calidad temático y topológico.....	22
4.4. Cálculo de tasas de erosión.....	25
4.5. Cálculo de indicadores	28
5. RESULTADOS	30
5.1. Tasa de erosión	30
5.2. Indicadores de estado y seguimiento ambiental.....	32
5.2.1. Identificación de cada tramo costero en función del campo Nivel_1.....	32
5.2.2. Longitud de playas con dunas en el ámbito costero	34
5.2.3. Anchura media de las playas	39
5.2.4. Porcentaje de línea de costa que responde a la presencia de infraestructuras ..	40
5.2.5. Índice de sensibilidad a la pérdida de playas ante los procesos erosivos.....	42
6. CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
Índice de figuras	52
Índice de tablas	53

RESUMEN

En ese trabajo se pretende evaluar cambios en la línea de costa entre 2001-2011 en un sector de la costa andaluza desde el Puerto deportivo de la Atunara, hasta la punta de El Salto de la Mora. Para ello se procederá a la fotointerpretación y digitalización de líneas de costa para cada fecha a escala detallada 1:2500. Una vez digitalizadas las líneas se realizará el cálculo de tasas de erosión con la herramienta DSAS (Digital Shoreline Analysis System), desarrollada por el U.S. Geological Survey, es ampliamente utilizada en la bibliografía específica.

La incorporación durante el proceso de digitalización de información temática a cada tramo costero permitirá además el cálculo de otros indicadores de gran interés para la evaluación de este tramo costero.

Palabras claves: línea de costa, playas, tasas de erosión, indicadores, Andalucía

Abstract

This work aims to evaluate the sedimentary evolution between 2001-2011 in a sector of the Andalusian coast, from the Puerto de Atunara, to the punta de El Salto de la Mora. Photo-interpretation and digitisation of coastlines for each date at detailed scale 1:2500 have been carried out. Once coastlines have been digitized, erosion rates have been calculated using DSAS tool (Digital Shoreline Analysis System), developed by the U.S. Geological Survey, is very used in the specific bibliography.

The incorporation of thematic information to each coastal stretch during the scanning process will allow the calculation of other indicators, that has great interest for the evaluation of this coastal area.

Key Words: coastline, beaches, erosion rates, indicators, Andalusia.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La costa, constituye uno de los territorios claves debido a su alto valor ecológico y social pues en ella se desarrollan una gran cantidad de actividades (pesca, turismo, etc.) de gran importancia.

La cada vez más intensa antropización de este ámbito, junto con la intensa regulación hídrica y la paulatina subida del nivel del mar, provocada por el cambio climático, genera una alteración del tránsito sedimentario, y por tanto de riesgo de erosión en ciertos sectores.

Cualquier estudio centrado en la zona costera requiere de la existencia de una potente información de detalle (Ojeda et al, 2013) para una gestión integrada de ésta. En este sentido, disponer de una línea de costa fotointerpretada y digitalizada, entendida como la zona de transición entre el ámbito marino y terrestre (Dolan, 1980), permite constituir indicadores de estado y seguimiento ambiental y, como tal, es frecuente encontrarla, en la actualidad, en los resultados de proyectos y estudios que incluyen del cálculo de indicadores sobre ella (Ojeda et al, 2013). Uno de estos indicadores más utilizados lo constituyen las tasas de erosión.

El **objetivo general** de este trabajo consiste en calcular las tasas de erosión en playas para el periodo 2001-2011, así como otros indicadores específicos en un tramo la costa andaluza. La consecución de este objetivo general se llevará a cabo a partir de la consecución de varios **objetivos específicos**:

- 1) Fotointerpretación y digitalización de líneas de costa a escala detallada 1:2.500 para ambas fechas.
- 2) Incorporación de información temática a cada tramo costero digitalizado.
- 3) Cálculo e interpretación de las tasas de erosión.
- 4) Cálculo de otros indicadores de seguimiento y estado ambiental.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La costa andaluza presenta características morfológicas, climáticas y biológicas, que la dotan de singularidad como es el caso de la presencia de dos vertientes, la Atlántica y la Mediterránea, con diferencias destacables entre ellas.

En primer lugar, la vertiente Atlántica, situada desde el oeste desde el río Guadiana hasta el Estrecho de Gibraltar, donde predominan relieves suaves a poca altura, que se extienden hasta la propia costa. Con una dinámica mesomareal (rango de marea entre 2-4 m) y un importante *fetch*, (Ojeda et al, 2013) la morfología presenta diversas formaciones como marismas, e islas-barrera cercanas a la costa, que van cerrándose por el efecto de la deriva cuya dirección predominante es Noroeste-Sureste, (Prieto, 2012) y redes fluviales que drenan las cuencas de algunos de los ríos más importantes de Andalucía como el propio Guadalquivir, el Guadiana, el Guadalete, Tinto o el Odiel, que aportan gran cantidad de sedimentos a las costas, desarrollando dunas a lo largo de esta, con mayor extensión en la zona onubense, con algunas de las más importantes como el acantilado del Asperillo una de las dunas fósiles más altas de Europa con gran importancia ecológica pero también en el litoral gaditano.

Por su parte, en el ámbito mediterráneo predomina una dinámica micromareal (0-2 m), con un menor *fetch* y un relieve escarpado cercano a la costa, (Ojeda et al, 2013). Su clima, de carácter torrencial, con una menor cantidad de depósitos sedimentarios y una deriva continental de sentido Oeste-Este, (Prieto, 2012), se trata además de una zona de elevada presión antrópica. La presencia de construcciones residenciales, como de muros de defensa y espigones, modifican tanto la capacidad erosiva, como la capacidad regenerativa de las playas.

El ámbito de estudio se localiza en esta vertiente (Figura 1). Con una longitud de 46 Kilómetros aproximadamente, recorriendo los términos municipales de La Línea de la Concepción, San Roque, Casares y Manilva, los dos primeros de la provincia de Cádiz y los dos segundos de la provincia de Málaga. Si bien en este tramo no hay gran presencia de relieves escarpados cercanos a la costa, si hay presencia de tramos con numerosos acantilados rocosos, y la extensión de las playas no destacan en su superficie por lo general.



Figura 1: Localización área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (en adelante DERA).

El ámbito de estudio se encuentra plagado de urbanizaciones residenciales y algunos campos de golf, por lo que la vulnerabilidad y la presión antrópica son evidentes. Existen en este tramo espacios de gran importancia ambiental como es el caso del estuario del río Guadiaro que forma parte de la Red Natura 2000, y 3 elementos naturales de importancia, la laguna de Torreguadiaro, Punta Chullera, y la cala de San Diego, los tres complejos litorales de interés ambiental.

En esta zona se encuentran también numerosos arroyos y ríos de gran importancia a escala regional, que forman parte en cierto modo de la dinámica litoral ya que estos reciben la influencia de la deriva en sus desembocaduras, y a su vez pueden aportar sedimentos procedentes de todo el curso fluvial, que propicien la creación de nuevos depósitos, o simplemente alterar los existentes.

Según el DERA, el tramo de costa seleccionado para el estudio engloba un total de 12 arroyos o ríos, si bien algunos de ellos son afluentes del río principal (Figura 2). Tres de ellos sin nombre, aunque registrados en la base de datos del DERA: Arroyo de Veá,

Arroyo de Guadalquitán, junto a este desemboca el arroyo de los dientes, Río Guadiaro el de mayor importancia, Arroyo de Martagina, Arroyo de Alcorrín, Arroyo El Indiano, Arroyo de la Peñuela, Arroyo de los Charcones, Río de Manilva.

Los embalses presentes cercanos al ámbito de influencia de la zona son el del Guadarranque de mayor dimensión y capacidad con 88 Hm³, seguido por el embalse de El Charco redondo, y por último el embalse de Sotogrande, este último, el único que puede ejercer una influencia sobre la dinámica del litoral, debido a que se comunica con el arroyo de Guadalquitán, ya que la presencia de estos en los cursos fluviales supone en muchos casos la retención de sedimentos, por lo que el río dispone de menor carga, y su capacidad erosiva es mayor, modificando todo su sistema. De la misma manera en época de avenidas, el posible vertido de carga grosera, puede suponer grandes cambios aguas abajo del embalse, aunque en este caso sea de pequeña dimensión con tan sólo 1 hectómetro cúbico de capacidad.

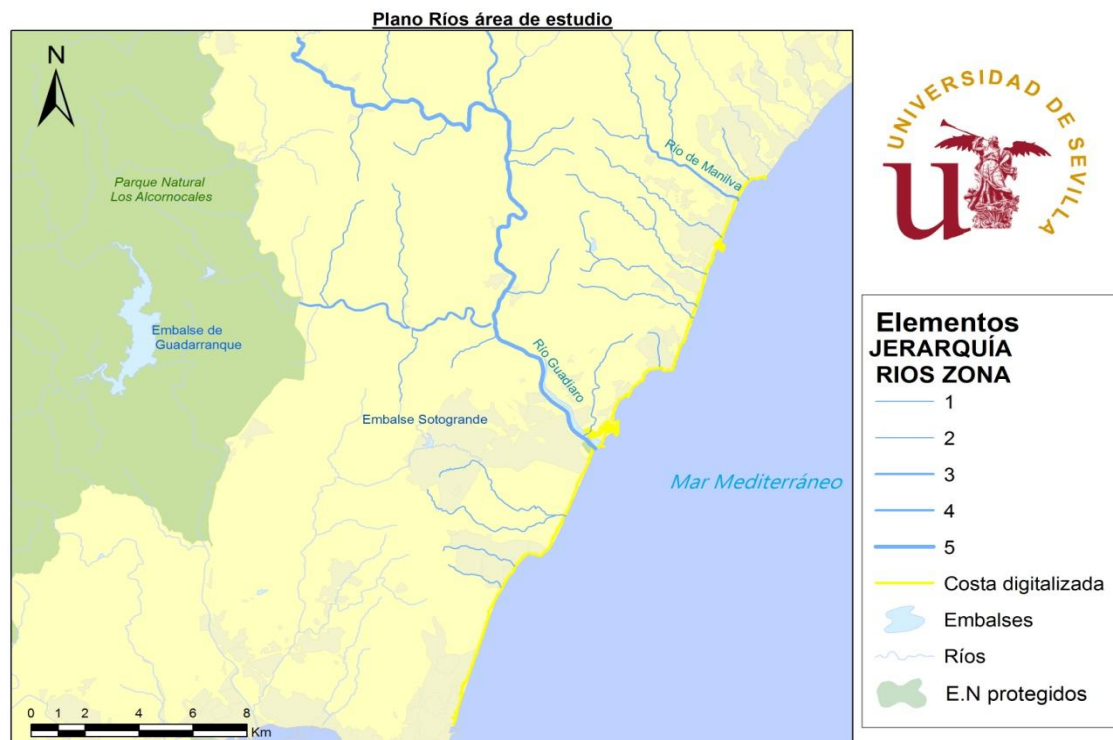


Figura 2: Red fluvial en el ámbito de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de DERA.

3. CONTEXTO. FUENTES DOCUMENTALES, DATOS DE REFERENCIA Y HERRAMIENTAS.

3.1. Fuentes documentales y datos de referencia.

En cuanto a las fuentes documentales usadas para los fines descritos son de especial importancia las consultas realizadas en los trabajos realizados por (Ojeda, 2000; Prieto et al, 2012; Fernández et al, 2015), entre otros, pues suponen el antecedente directo al cálculo de tasas de erosión a escala detallada para Andalucía y constituirán la base documental de este trabajo.

Para la fotointerpretación y digitalización de la línea de costa, se cuenta con diversas fuentes que pueden ser útiles a la hora de realizar esta operación, dependiendo en cierto modo del objetivo que se ha marcado en el proyecto, y el periodo de tiempo a analizar. Cada tipo de fuente tiene características diferentes, sobre todo respecto a la calidad de esta, y la accesibilidad o disponibilidad resulta clave a la hora de realizar estudios a escala regional o en zonas más específicas.

Tanto mapas y gráficos costeros, cartografía histórica, fotografía aérea, GPS, imágenes de Teledetección, Lidar, sensores remotos, etc. pueden ser utilizadas para este tipo de análisis. Sin embargo, algunas de estas fuentes a pesar de obtener datos muy interesantes, son prácticamente inaccesibles, por ejemplo, las imágenes Lidar, que permitirían el cálculo volumétrico de las tasas no serán utilizadas por no estar accesibles al público en general en este tramo de estudio, tienen un alto coste y no existen para el periodo de análisis, o el uso de GPS, que probablemente sea la fuente más exacta posible, pero se precisa de un profesional que transite por el terreno captando puntos de referencia, resulta costoso y requiere demasiado tiempo, ya que se necesitaría realizar el mismo proceso en varias fechas o la Teledetección, que si bien ofrece un elevado volumen de datos sobre las zonas costeras desde sus inicios (años 50-60) con una elevada periodicidad, su utilización para los cálculos de tasas de erosión está limitada por su resolución espacial (Ojeda, 2000), por lo que solo será útil en zonas donde los cambios sean notables y visibles a esa resolución.

Es por esto que se ha utilizado como fuente de referencia para la fotointerpretación y el levantamiento de información los servicios WMS (web mapping services)

representativos de las ortofotografías aéreas de 2011 y 2010 (Tabla 1), todas ellas con una resolución similar (m).

Nombre	Resolución	Escala	URI del servicio	Fuentes
Ortofoto digital pancromática de Andalucía, 2001-2002	0.5 metros	1:20.000	http://www.ideandalucia.es/wms/ortofoto2001?	Vuelo Fotogramétrico Nacional
Ortofoto digital a color de Andalucía, 2010-2011	0.5 metros	1:10.000	http://www.ideandalucia.es/wms/ortofoto2010?	Vuelo Fotogramétrico Nacional. Proyecto PNOA

Tabla 1: Ortofotos utilizadas. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de IDEAndalucía.

Cabe destacar que estas imágenes reciben un tratamiento de corrección antes de ser utilizadas ya que estas parecen de una distorsión causada por una serie de componentes. Las ortofotos que se han utilizado se encuentran disponibles en el repositorio de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), tanto en formato archivo como en servicio WMS, e integradas en la Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía siguiendo las directrices del Sistema Estadístico y Cartográfico de Andalucía. Para su uso como ráster se han descargado del portal Line@, aplicación web para la consulta y descarga de la cartografía disponible de la Junta de Andalucía. Este permite consultar la descripción de los planos, mapas y fotografías aéreas existentes de un área determinada del territorio andaluz, pudiendo localizarlos, ya sea a través del correspondiente topónimo, o bien de forma interactiva, visionando el territorio en cuadrículas según la resolución, disponiendo de un catálogo de archivos disponibles para cada una. Asimismo permite visualizar, imprimir o descargar las distintas series cartográficas de Andalucía para los periodos disponibles, incluido el del estudio.

En el primer caso, se trata de la ortofoto digital pancromática de Andalucía, de 2001, de 0.5 metros de resolución. Esta ortofoto ha sido generada a partir del vuelo fotogramétrico blanco y negro a escala aproximada 1:20.000 entre los años 2001 y

2002. El conjunto de imágenes proporcionadas conforman un mosaico continuo tanto geoméricamente como radiométricamente, que aunque inicialmente se realizó en el sistema de referencia ED-50, en proyección UTM utilizado en la fecha de creación para toda la región andaluza, se ha generado posteriormente también en ETR89 siguiendo las directrices *del Real Decreto 1071/2007, de 27 de Julio de 2007*.

Por su parte la ortofoto digital a color de Andalucía del año 2010-2011 obtenida a través de varios vuelos fotogramétricos incluidos dentro del proyecto PNOA, posee una resolución de 0,5 metros a escala 1:10.000 y ha sido georreferenciada en ETRS89 UTM zona 30N y 29N. Cabe destacar, la diferencia entre usar el propio servicio WMS para la digitalización, de utilizar el archivo de la ortofoto en sí, que procede de la fotografía aérea, debido a que en este caso el WMS tiene menos calidad de resolución espacial y radiométrica que la ortofoto, debido a que se han procesado para disponer de ellas como servicio sin restarle velocidad a los procesos, por lo que se ha optado por el uso de esta, que aunque en principio supone un mayor uso de espacio, debido sobre todo a su peso en bytes, y resulta un proceso más incómodo, se acaban obteniendo resultados más precisos, y útiles para el análisis.

Por ello, en este trabajo se ha utilizado para la digitalización la ortofoto formato ya que además, los wms presentan cierta compresión que puede alterar la radiometría, tan importante en el proceso de fotointerpretación y digitalización. Además a partir de los fotogramas ha sido posible obtener la fecha de vuelo, fundamental en este tipo de análisis donde se requiere para una correcta interpretación, que en ambas fechas las playas dispusieran de un perfil similar.

Para facilitar el trabajo, una vez obtenidas las imágenes de la zona en concreto para cada año, se ha procedido mediante la herramienta disponible en el software Arcgis *Mosaic to new raster*, a "unir" en un mismo shapefile, todas ellas, evitando de esta manera la complejidad de utilizar varias imágenes a la vez, que además ralentiza los procesos por parte de la plataforma SIG. En total han sido 9 imágenes para la fecha de 2001 (107531, 107541, 107534, 107542, 107533, 107532, 107213, 107144, 107143), todas ellas en formato jp2, con la ventaja mencionada anteriormente. Destacar la inexistencia para estas de un archivo auxiliar "prj", donde se le asigne el sistema de referencia, si bien se conoce a la información aportada en la REDIAM, para las mismas imágenes pero como

servicio WMS, por lo que además de reproyectarlas si fuese necesario, se le asignará el sistema de referencia correspondiente, definiéndole la proyección correcta.

Para el año 2011, un total de 10 imágenes, también en formato jp2 (h10_1075_4-1, h10_1075_3-2, h10_1075_3-4, h10_1075_3-3, h10_1075_4-2, h10_1071_4_3, h10_1075_3-1, h10_1072_1-3, h10_1071_4-4, h10_1072_1-2).

Para aplicar la toponimia a cada tramo y playa que se ha digitalizado, como se describirá más adelante se ha utilizado la herramienta “Visualizador de playas de Andalucía”, perteneciente a la Rediam, donde se dispone de amplia información sobre cada uno de los espacios costeros de la Comunidad Autónoma Andaluza, desde meteorología y de temperatura del mar, hasta una la descripción de sus características físicas, ambientales y la dotación de servicios disponibles en cada una de ellas, ocupación, acceso etc., así como de qué tipo de material o sustrato (arena, grava, roca, ...) es predominante en la zona. De esta manera tendremos la posibilidad de conocer que playa en concreto dispone de las características propias, esta obviamente compuesta por varios tramos en su extensión.

Junto con lo anterior, como ayuda para la fotointerpretación otras fuentes de información como el Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 para la península y 1:25.000 en los territorios insulares, la Guía de Playas del Ministerio o Google Earth/Bing aerial, que han sido de especial interés para la fotointerpretación.

3.2. Herramientas

Los SIGs y en concreto el software Arc-Gis 10.3, una de las versiones más modernas de este software, ha sido la herramienta fundamental utilizada en este estudio por varios motivos. Entre ellos destacan los derivados del manejo de su interfaz y de su gran potencialidad para la digitalización y la topología, de gran importancia en este trabajo. Además, esta herramienta permite la incorporación de DSAS (Digital Shoreline Analysis System), software desarrollado por el U.S. Geological Survey, para el cálculo de las tasas de erosión. DSAS se utiliza como una extensión más de Arc-Gis convirtiéndose por tanto en una herramienta casi independiente de gran capacidad, que será utilizada en diferentes tipos de estudios no solo relacionados con la erosión costera. Algunos ejemplos pueden ser proyectos como en la propuesta metodológica para el

cálculo de tasas de erosión aplicada a los deltas mediterráneos andaluces (1956-2009) realizada por Prieto (2012), el estudio de erosión de la playa de San Juan (Alicante) mediante TIGs por Mansilla (2014), la detección de cambios en la línea costera y los efectos del cambio climático relacionados con el incremento del nivel del mar: Distrito de Buenaventura por Cifuentes (2016), el análisis de la evolución reciente de la línea de costa en un sistema playa-dunas deficitario de Maspalomas, en Gran Canaria por Quevedo y Hernández (2014) o la caracterización y modelos de funcionamiento del sistema playa-duna en el Parque Nacional de Doñana llevada a cabo por García y Vallejo (2012), entre otros.

En el uso del DSAS tiene un papel fundamental, las geodatabase o base de datos geográfica en la que se incorpora la información, de forma controlada y buscando posibles errores (con lo cual sirve de mecanismo de control de calidad) para la fase posterior. Además este proceso, aporta la ventaja de poder aplicar controles de calidad topológicos y temáticos como es el utilizar dominios, para introducir dichos datos en las tabla alfanumérica, disminuyendo en tiempo y facilitando el proceso del fotointerpretación y digitalización, así como la definición de las características propias que identifican a cada tramo, todas estas serán introducidas en un mismo *dataset*, con una cuestión en común y es su sistema de referencia.

En cuanto al sistema de referencia utilizado, este ha sido ETRS89, por lo que todos los datos se producirán con esta característica común.

4. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo para alcanzar los objetivos planteados se basa en las siguientes fases:

- Fotointerpretación y digitalización de líneas de costa
- Asignación de información temática a cada tramo costero
- Control de calidad temático y topológico
- Cálculo de tasas de erosión
- Cálculo de indicadores

4.1. Fotointerpretación y digitalización de líneas de costa

El levantamiento de la línea se ha elaborado siguiendo a Fernández et al. (2015) por un solo digitalizador, con el fin de disminuir al máximo posible la subjetividad en el proceso de fotointerpretación. La escala de digitalización ha sido 1:2.500 pues esta soporta la resolución de las ortofotografías utilizadas. Los criterios de digitalización de los elementos serán:

- **Playas**, estas definidas por dos proxys según el criterio:
 - **El límite entre la playa alta y la duna litoral**, se trata del límite más estable en aquellas zonas expuestas al oleaje con material sedimentario y el aconsejado en los análisis evolutivos (Díaz-Delgado, 2008), si no existiese duna, el límite superior se consideraría el contacto entre la playa alta y la infraestructura o formación rocosa existente.
 - **La última marca húmeda de la marea sobre la playa**, otro de los más utilizados, aunque por su carácter inestable (al estar sometido a los efectos de la marea), requiere de sumo cuidado en su interpretación.

La distancia entre ambas será crucial para el estudio de diferentes aspectos como la playa útil, la carga turística, o la vulnerabilidad de esta frente a subidas del nivel del mar, (Ojeda et al, 2013), (Figura 3).

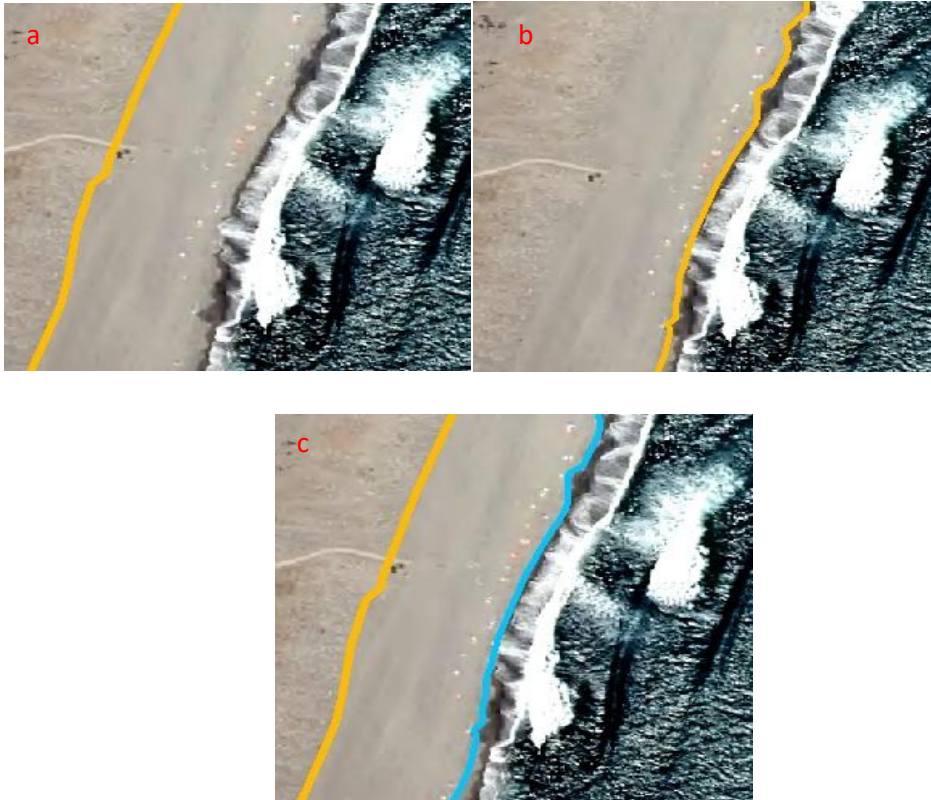


Figura 3: Delimitación de la línea backshore (a), de la última marca húmeda de la marea alta (b) y superficie entre ambos límites (c). Fuente: Elaboración propia.

Si bien el proxy más utilizado para las tasas de erosión es el límite entre la playa alta y la duna litoral (Boak and Turner, 2005; Ojeda, 2000; Ojeda et al, 2013), por estar ésta aislada de las condiciones de marea, la digitalización de la marca húmeda permitiría obtener la anchura de la playa para cada fecha, indicador de gran importancia turística.

- **Infraestructuras**, para la delimitación de la infraestructura se ha digitalizado el límite externo de las infraestructuras situadas en el frente costero y expuestas al contacto directo con el mar, se puede tomar como límite la marca húmeda que hay en esta, que indica el nivel máximo de la pleamar (Figura 4). Ello permitiría por ejemplo disponer del dato de qué longitud de infraestructura habría que limpiar frente a un posible vertido.



Figura 4: Delimitación de infraestructuras. Fuente: Elaboración propia.

Para el proxy backshore/foredune, se ha realizado una simplificación de las infraestructuras, que no se han digitalizado de manera detallada sino que se ha intentado respetar la fisionomía natural de la playa (observando la ortofoto de 1956). Ello permitirá calcular indicadores más reales del frente costero (por ejemplo porcentaje de línea de costa que se ve afectada por alguna infraestructura),(Figura 5).



Figura 5: Diferencia delimitación de las infraestructuras en la última marca húmeda de la marea alta y en el backshore/foredune. Fuente: Elaboración propia.

- La **costa rocosa**, es decir la base de los acantilados o de este tipo de costa, siendo complicado a la hora de delimitar debido al abatimiento de las fotografías respecto a las formaciones en altura, por ello se opta delimitar la base del acantilado como límite para ambas líneas (Figura 6a)

- **Estuarios**, quedan representados como una continuidad de la marca húmeda existente a ambos lados, es decir el trazado que subjetivamente debería continuar la costa si este no existiese. (Figura 6b)



Figura 6: Delimitación costa rocosa (a) y estuario (b). Fuente: Elaboración propia

4.2. Asignación de información temática a cada tramo costero

Además de digitalizar la línea de costa se ha asociado a cada tramo costero información temática durante el levantamiento de datos a cada tramo representado, que aportará a cada tramo unas características propias y será de gran importancia para el cálculo de indicadores de estado y seguimiento ambiental.

Se ha facilitado la introducción de datos mediante el uso de “**dominios**” (disponible en entornos que utilicen *geodatabases* de ESRI), que no solo facilitan al digitalizador la incorporación de la información temática sino que además supone un control de calidad previo a los errores potenciales del proceso de almacenamiento al evitar errores de omisión (ausencia de datos) y comisión (descripción equivocada). En este se incluyen las diferentes opciones de las que dispone cada campo, permitiendo la selección directa de estos a la hora de asignarle la información en los campos que disponen de él, sin necesidad de reescribir los datos para cada tramo (Figura 7).

OBJE	SHAPE *	Date	Accurac	Toponimo	SHAPE	Nivel 1	Infraestructura	anchura duna
1	Polyline	2011	1	La Atunara	375,6	Playa	<Null>	Grande
2	Polyline	2011	1	La Atunara	41,47	Playa	<Null>	Mediano
3	Polyline	2011	1	La Atunara	747,0	Playa	<Null>	Grande
4	Polyline	2011	1	El Burgo	548,3	Playa	<Null>	Grande
5	Polyline	2011	1	El Burgo	236,2	<Null>	<Null>	Mediano
6	Polyline	2011	1	El Burgo	13,49	Playa	<Null>	<Null>
7	Polyline	2011	1	El Burgo	117,9	Costa_roco	<Null>	Grande
8	Polyline	2011	1	<Null>	54,73	Antrópico	costa antropizada indiferenciada	<Null>
9	Polyline	2011	1	<Null>	357,9	Estuario_rio	infraestructura costera longitudinal muro de	<Null>
10	Polyline	2011	3	El Burgo	872,8	Playa	<Null>	Grande
11	Polyline	2011	1	La Hacienda	189,6	Costa_roco	<Null>	<Null>
12	Polyline	2011	2	La Hacienda	863,9	Playa	<Null>	Grande
13	Polyline	2011	2	La Hacienda	18,46	Playa	<Null>	<Null>
14	Polyline	2011	2	La Hacienda	1029,	Playa	<Null>	Grande
15	Polyline	2011	2	La Hacienda	52,15	Playa	<Null>	Mediano
16	Polyline	2011	2	La Hacienda	157,9	Playa	<Null>	Grande
17	Polyline	2011	1	La Hacienda	48,59	Costa_roco	<Null>	<Null>
18	Polyline	2011	2	La Hacienda	469,0	Playa	<Null>	Mediano
19	Polyline	2011	1	La Hacienda	599,4	<Null>	<Null>	<Null>
20	Polyline	2011	1	<Null>	79,50	Estuario_rio	<Null>	<Null>
21	Polyline	2011	1	La Alcaldesa	23,39	Playa	<Null>	Pequeño
22	Polyline	2011	1	<Null>	9,539	Antrópico	infraestructura costera longitudinal indiferen	<Null>
23	Polyline	2011	1	<Null>	92,84	Antrópico	costa antropizada indiferenciada	<Null>
24	Polyline	2011	1	La Alcaldesa	56,89	Playa	<Null>	Pequeño
25	Polyline	2011	1	La Alcaldesa	236,4	Playa	<Null>	Pequeño

Figura 7: Base de datos en proceso de edición, Uso de dominios. Fuente: Elaboración propia.

Así, para los tramos reconocidos como playas se han incluido exclusivamente los campos para:

- **Id línea:** Este campo representa el código que representa cada tramo digitalizado.
- **Shape Length:** Donde queda representada la longitud de cada tramo, dato imprescindible para conocer el alcance en cuanto extensión se refiere, de cada característica y de las propias tasas de erosión.
- **Nivel 1:** En este campo, se representa el tipo de criterio utilizado para cada tramo digitalizado, es decir, si este representa, una zona de playa, una zona de costa rocosa, una zona antropizada o el estuario de un río, descritos anteriormente. El aporte de esta característica, es útil no solo para determinar de qué tipo de zona se trata, sino para conocer el origen y la dinámica que esta tendrá, ya que se verá influida directamente por el límite interior de la playa y el elemento con el que este en contacto, además de poder conocer cuáles de los tramos son playas y por tanto se les asignará un topónimo.

- Topónimo: En este campo como su propio nombre indica, se introducen los topónimos, de las playas existentes, estos recogidos en el visualizador de playas de Andalucía, perteneciente a la Rediam, donde se dispone a una toda la información sobre cada uno de los espacios costeros de la comunidad autónoma, desde meteorología y de temperatura del mar, hasta una la descripción de sus características físicas, ambientales y la dotación de servicios disponibles en cada una de ellas, ocupación, acceso etc. así como de qué tipo de material, arena, grava, roca es predominante en la zona. De esta manera tendremos la posibilidad de conocer que playa en concreto dispone de las características propias, esta obviamente compuesta por varios tramos en su extensión. En total son 16 playas diferentes.

- Infraestructura: Este campo implica una mayor complejidad que otros, debido a que en él se determina no solo la presencia de un elemento antrópico, sino el tipo de este, con un total de 17 posibilidades (rellenos antrópicos, extracciones antrópicas, costa antropizada indiferenciada, puertos, aeropuertos, infraestructuras costeras indiferenciadas, infraestructuras costeras transversales indiferenciadas, infraestructuras costeras transversales diques, infraestructuras costeras transversales espigones, infraestructuras costeras transversales embarcaderos, infraestructuras costeras longitudinal indiferenciada, infraestructuras costeras longitudinal muro de defensa, infraestructuras costeras longitudinal dique escollera, infraestructuras costeras longitudinal paseo marítimo, infraestructuras costeras mixta indiferenciada, infraestructuras costeras mixta espigones en T, infraestructuras costeras mixta espigones /escolleras). Todas ellas nos pueden indicar que tipo de infraestructura ejerce más o menos presión sobre la costa y su dinámica, generando un balance sedimentario positivo o negativo.

- Duna: Para estas, se realiza un proceso de fotointerpretación la presencia de dunas costeras en conexión con la playa actual para la posterior estimación de su extensión hacia el interior. Por ello se ha delimitado de la manera más precisa posible el límite de esta con la playa alta. Por tanto somos capaces de definir que tramos corresponden a playas con dunas, y si es así, cual es la anchura media de la duna, clasificada en tres tamaños según la media de las medidas realizadas.

- Anchura duna: En este caso, se representa la dimensión de la duna cuando esta está presente, clasificándose en tres tamaños, pequeño, mediano y grande, mencionados anteriormente. Se ha utilizado un dominio para agilizar el trabajo, ya que a pesar de existir tan solo tres opciones, existen muchos tramos donde existe duna costera, por lo que se agiliza el proceso de caracterizar cada tramo con el tamaño de esta, teniendo en cuenta que son cuatro líneas digitalizadas, con sus correspondientes tramos. Para estimar la anchura de esta, el proceso a seguir, consiste en estimar esta a partir de mediciones realizadas en la propia duna, este se realiza, obteniendo tres medidas para cada tramo realizadas en rectas virtuales transversales realizadas por el digitalizador para facilitar la operación, y calculando la media de las tres medidas realizadas. Estas según el tramo en el que han sido tomadas pueden variar. Para realizar la estimación, se eligen tres puntos más o menos equidistantes situados en la línea digitalizada representativos de la duna que se encuentren en el límite con la playa (backshore) y se calcula la media en metros entre las tres, obteniendo finalmente el resultado (Figura 8).



Figura 8: Ejemplo medición anchura media de las dunas. Fuente: Elaboración propia

- Anchura de la playa; Será una información muy útil para la estimación de diferentes indicadores, además de otros fines que pueden ser relacionados con

los objetivos de este estudio, como el conocimiento de la playa útil, interesante para actividades como el turismo. Esta se comprenderá como la diferencia existente entre la línea que marca el límite de la playa alta con la foredune, y la marca húmeda, por lo que el método de estimación de dicha anchura será semejante al de las dunas, tomando medidas cada cierta distancia constante, cuyas cotas serán representativas de la anchura media de cada playa según su topónimo. Para su cálculo, ha sido necesario el uso de transectos –necesarios para el cálculo de tasas de erosión-. Este proceso se describirá en los apartados siguientes (Figura 9).



Figura 9: Estimación anchura media de la playa utilizando transectos generados con DSAS. Fuente: Elaboración propia.

- Destacar también dentro de este campo, la superficie de la playa que será estimada de manera sencilla, con el uso de la herramienta *Feature to polygon*, disponible en Arcgis, que convierte el espacio cercado por ambas líneas en polígono, de esta manera se irán seleccionando solo aquellos polígonos que se encuentren entre líneas cuyo nivel_1 sea playas, siendo esta la playa útil, y permitiendo en su tabla de atributos calcular la superficie total, y de cada playa según su topónimo, si estas se han dividido previamente.

En la base de datos creada, junto a la incorporación de la información temática que caracteriza el modelo de datos citado, se han incorporado una serie de campos necesarios, diseñados en parte para el cálculo e interpretación posterior de las tasas calculadas, además de introducir las características de cada tramo, de ellos dependerá la fiabilidad y las fechas de las líneas de costa que tomará el programa para el cálculo de las tasas de evolución anuales. Sus campos principales son:

- Date: En este se representa la fecha de la imagen sobre la que se ha realizado la digitalización de las líneas pertinentes, su formato de representación será (dd/mm/yyyy). Este dato resulta fundamentalmente para conocer a que periodo pertenecen los datos introducidos, que serán utilizados en los cálculos de las tasas de erosión. Las ortofotos de ambas fechas fueron tomadas en verano. Por lo tanto, ambas describen un perfil similar, si bien un análisis del oleaje días antes sería conveniente para poder realizar esta afirmación de manera rotunda.
- Accuracy: Este campo va orientado fundamentalmente a justificar la calidad de la ortofoto, a la hora de delimitar tanto la marca húmeda como el límite interno de la playa, es decir su fiabilidad, basada en características de esta, como la resolución espacial, el contraste y la claridad en la definición de los contactos claves para aportar un nivel de confianza a los resultados que se obtendrán posterior a la digitalización. Esta se representa por valores numéricos que se sitúan entre 1 y 4, siendo el valor 1 el indicador de menor fiabilidad posible, y progresivamente hasta llegar a 4, que significa alta fiabilidad. Este campo será definido por el digitalizador a la hora de realizar la delimitación, y según su propio criterio teniendo en cuenta las características citadas.

Para entender con mayor facilidad toda la estructura elaborada, en esta base de datos, con sus interrelaciones y condicionantes, así como la organización de los datos clasificados, se realiza un esquema sencillo, en el que se muestran de manera jerarquizada, la trama que se ha utilizado para el desarrollo del estudio, la digitalización, y posteriormente será utilizado en cierto modo para la estimación de las tasas de erosión, con el uso de ciertos campos en concretos más prácticos para el caso (Figura 10).

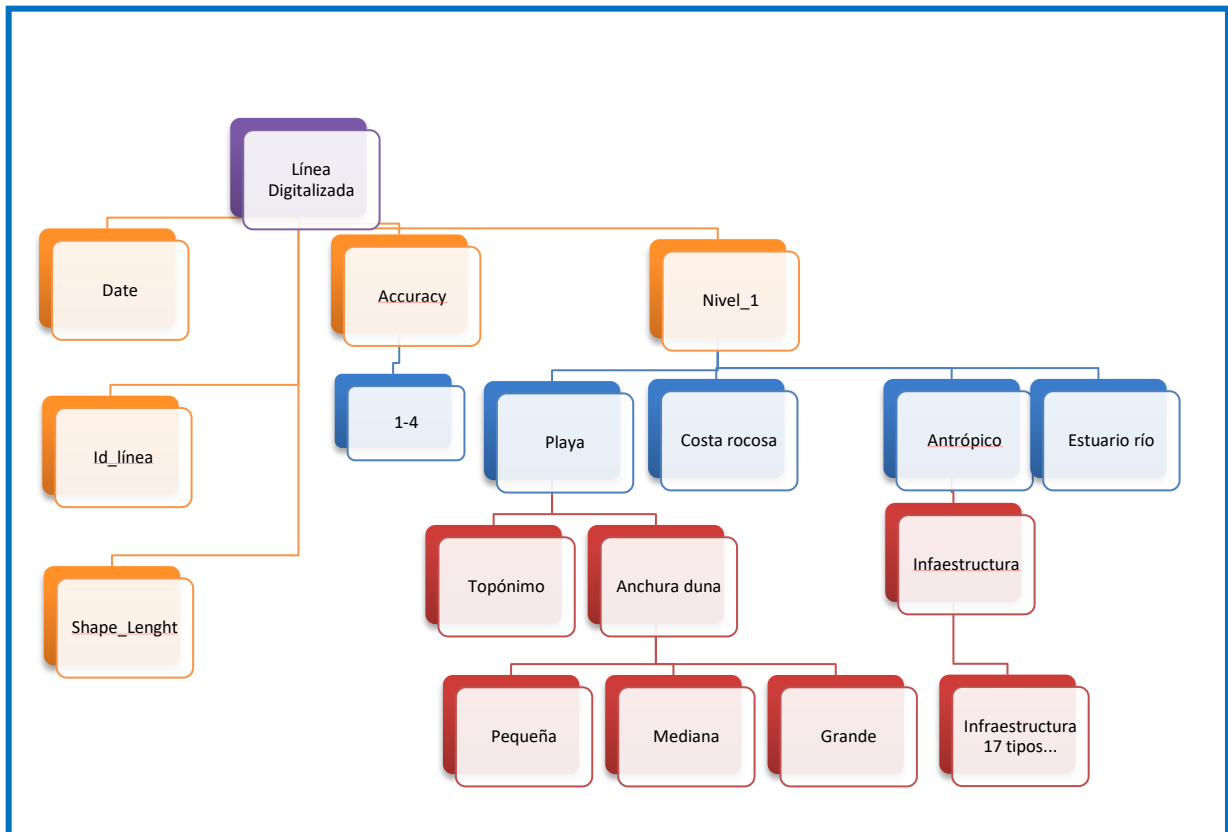


Figura 10: Incorporación de información temática a línea de costa. Fuente: Elaboración propia

4.3. Control de calidad temático y topológico

Un paso muy importante en el proceso tras haber digitalizado las líneas, es aplicar el control de calidad sobre los datos creados y obtenidos. Estos suponen una operación fundamental, que asegura la calidad y veracidad de los datos, así como su coherencia, para no tergiversar la interpretación de los datos, y por tanto los resultados.

En cuanto al control de calidad temático, se aplica sobre la información temática se realiza una comprobación tramo a tramo con la ortofoto de fondo, donde se comprueba,

que coinciden los datos que se han asignado con los que se pueden interpretar en la imagen, del mismo modo, se comprueba que exista una coherencia entre la línea que marca el límite entre la foredune y el backshore, y la marca húmeda de la última marea, las cuales deben compartir la información coincidiendo tramo a tramo, para poder estimar más adelante, la extensión y localización de los datos.

Otro de los procesos que se realizan, es el suavizado de bordes, que consiste en una representación de las líneas digitalizadas, que evita la presencia de picos y segmentos demasiado lineales, que si bien se adaptan a las morfologías, evitan la armonía de las líneas, distando de la realidad, donde los límites son dinámicos, como ejemplo la (Figura 11).



Figura 11: Ejemplo suavizado línea digitalizada. Fuente: Elaboración propia

En último lugar, se realiza el control de calidad que final hace referencia al control topológico de las líneas de costa. Este permite prevenir errores geométricos como solapamiento entre tramos o la continuidad de la línea en todo el ámbito, sin cortes entre los tramos que la forman. "Debido a la linealidad de nuestras features se deberán aplicar una serie de reglas topológicas específicas, centradas en la corrección de errores específicos propios de cada tipo de ente" (Prieto, 2012: pp.36). En este estudio se aplicarán tres reglas topológicas, creadas previamente en el portal del software, Arccatalog,

- No debe superponerse (Overlaps) Supone que las líneas no se superpongan con otras líneas en la misma clase y entidad. Esta regla se usa en aquellos tramos de línea que no se deben duplicar, es decir que dos líneas no recorran el mismo tramo simultáneamente (Figura 12):

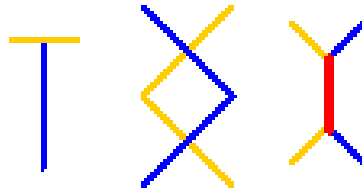


Figura 12: Regla topológica que evita superposición. Fuente: Arcgis Desktop 10.3

- No debe haber nodos sueltos (Dangles), Supone que cada tramo de línea deba tocar con tramos de líneas desde la misma clase (o subtipo) de entidad por ambos extremos. Un extremo que no esté conectado con otra línea se llama nodo colgado (dangle), dando continuidad a la línea aunque esté este dividida en tramos (Figura 13).

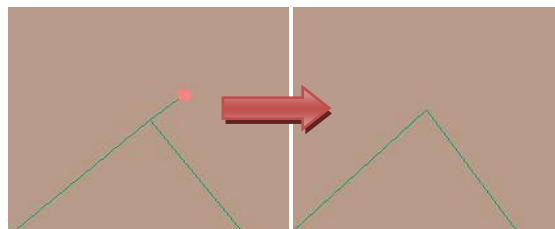


Figura 13: Regla topológica que evita la presencia de dangles, ejemplo de corrección en Arcgis Fuente: Elaboración propia.

- No debe superponerse consigo mismo, (Self-intersec), Supone que los tramos de línea no se crucen ni se superpongan entre sí, evitando que se dupliquen los datos.



Figura 14: Regla topológica que evita la superposición consigo mismo. Fuente: Arcgis Desktop 10.3.

Una vez asignadas las reglas topológicas, se validará dicha topología y con la ayuda del *inspector de errores*, herramienta de Arcgis, se identificarán los puntos donde existen fallos, corrigiéndolos posteriormente. En algunos casos será preciso marcar como excepción ciertos errores, como ejemplo los extremos de cada línea, que según la regla que evita la presencia de dangles se contemplan como tal, sin embargo no lo son ya que se trata del principio y final de cada línea, tratándose de nodos solo conectados con un tramo.

4.4. Cálculo de tasas de erosión

Integrada en ArcGis, DSAS, ampliamente utilizada para el cálculo de tasas de erosión (Thieler et al, 2009; Prieto et al, 2012; Albuquerque et al, 2013; Darsan, 2014), permite los cálculos para secciones equidistantes que puede generar el propio programa a petición del usuario.

Para el uso de la herramienta DSAS, se deben cumplir una serie de requisitos mínimos que permitan realizar la operación de manera coherente, obteniendo resultados fiables. Entre los requisitos necesarios se encuentra disponer de dos líneas de costa, una para cada año, entre la que se establecerán las mediciones, en este caso se ha utilizado para el cálculo las líneas de costa digitalizadas con el proxy 1(límite backshore/foredune). También es necesaria la existencia de una línea base, digitalizada paralelamente a la línea de costa y por tanto a la shoreline por el digitalizador, a una distancia prudente de

la que partirán los diferentes transectos ortogonales hacia el mar, intersectando con la línea de costa.

La herramienta traza de manera semiautomática los transectos. La separación asignada entre ellos en este caso han sido 50 metros y debe ser acorde a la escala de trabajo, y a la situación de la realidad. Las intersecciones de estos con las líneas de costa deben ser ortogonales y se emplean para cuantificar a lo largo de cada uno la distancia entre ambas líneas (2001-2011).

Por tanto, una vez trazados los transectos, en algunos tramos ha sido necesario una modificación manual de estos, para garantizar la ortogonalidad (Figura 15).

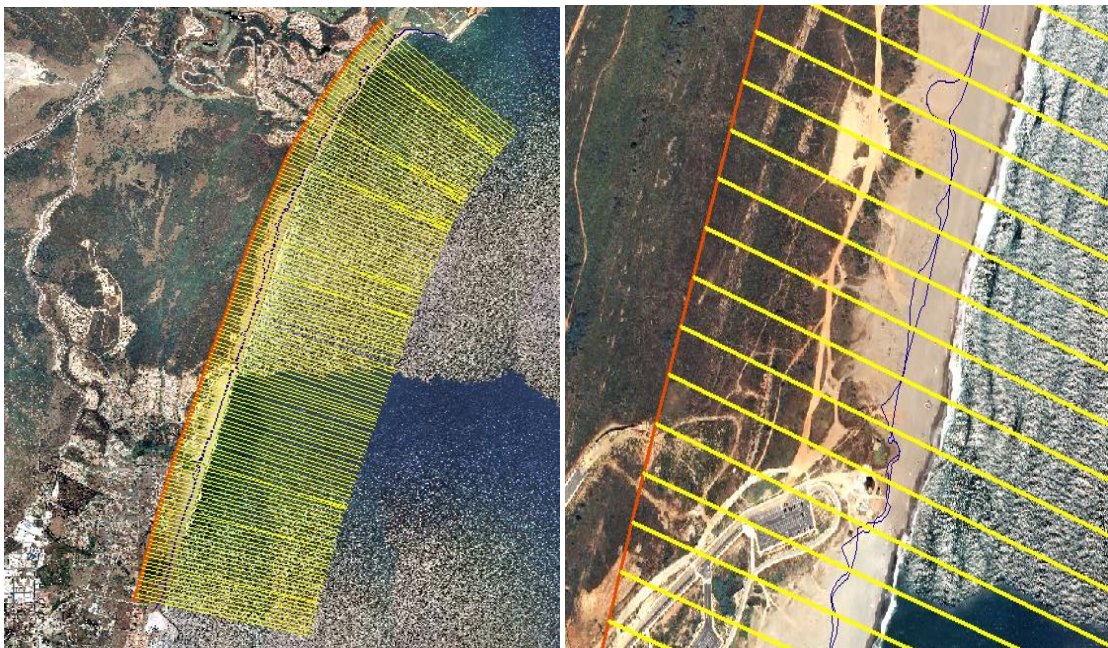


Figura 15: Ejemplo transectos ortogonales. Fuente: Elaboración propia.

En estos la herramienta incluye los diferentes campos estadísticos relacionados con las tasas de erosión, como pueden ser:

Distancia Neta,(NSM): Denominado Net Shoreline Movement, la cual representa el valor de la distancia que existe entre las líneas de costa de ambos años, es decir, la

diferencia, siendo valores positivos en aquellas zonas donde existe progradación de la playa, y negativos donde existe erosión de estas. Teniendo en cuenta la antigüedad de las líneas.

Distancia Absoluta,(SCE): Denominado Shoreline Change Envelope, que se asemeja al resultado anterior, con la diferencia de que en este caso, los datos se representan en valor absoluto, por lo que no se conoce si ha existido progradación o erosión, tan sólo, que se ha producido una evolución en metros.

Tasa de Erosión,(EPR): Denominado End Point Rate, para el objetivo marcado en el estudio , se trata del resultado más importante, debido a que en este se representa la tasa de cambio que ha sufrido la costa, expresada en metros por año. Para su cálculo se utiliza la distancia neta, que será dividida entre el número de años que separan las fechas de las líneas de costa digitalizadas, en este caso 10. Esta será utilizada más adelante para la estimación del índice de sensibilidad de las playas.

Además de estos, existen dos estadísticos más relacionados con rectas de regresión que representan el comportamiento global, así como las tasas ponderadas de esta, denominados Linear Regression (LRR) y Weighted Linear Regression Rate (WLR), que no serán utilizados en este estudio, ya que se buscan otro tipo de resultados, que den respuesta a los objetivos marcados. Por lo que serán NSM, SCE para la medición de los datos a escala global y EPR para estimar las tasas de cambio, los estadísticos que se apliquen.

Para representar los resultados de las tasas de erosión, dado que los transectos impiden una correcta visualización de estos, se ha digitalizado una nueva línea paralela a la línea base, pero esta vez en el lado opuesto, es decir en el mar, a una distancia similar, donde se representa puntualmente, la intersección entre los transectos y esta nueva línea, adquiriendo dichos puntos la información necesaria para representar los datos.

El valor de la tasa se ha representado con símbolos proporcionales a la magnitud de su tasa, utilizando un color rojo para las zonas que sufren erosión y un color verde para zonas donde existe progradación, y color blanco en aquellas zonas donde la tasa de erosión es nula (=0), todos ellos visualmente coherentes con su significados.

Por último, recordar, la necesidad de que ambas líneas de costa digitalizadas, contengan en su tabla de atributos, los campos de fecha, DATE_, y de la calidad de la imagen,

ACCURACY, que son demandados por la herramienta para asegurar la fiabilidad y delimitar los periodos que serán incluidos en el cálculo de las tasas de erosión.

En este caso se ha aplicado a un tramo concreto del área de estudio, considerando este como representativo de la situación de todo el litoral, combinando zonas con presencia de infraestructuras longitudinales y transversales, zonas con ausencia de estas y presencia notable de dunas, y zonas mixtas, correspondiendo a una sección de 7,43 Km de longitud que se extiende desde la playa de La Atunara, hasta la playa de La Alcaidesa.

4.5. Cálculo de indicadores

La asignación de información temática a la línea de costa durante el proceso de levantamiento de esta permite el cálculo de diferentes indicadores de estado y seguimiento ambiental.

Destaca como ejemplo de un indicador complejo, el cálculo del índice de sensibilidad de pérdida de playas ante los procesos erosivos diseñado y elaborado por Ojeda et al (2013) para toda la costa andaluza. El indicador utiliza la información obtenida en las anteriores operaciones, integrando estas en una fórmula final, de la que se deduce el valor del índice:

$$S = (D + A + P) - E$$

Donde la S representa el valor del índice de sensibilidad en sí, la D significa la anchura media de la duna en metros, A la anchura media de la playa útil en el tramo estudiado, P la tasas de erosión favorables a la progradación, es decir positivas, y por último la E, tasas de erosión negativas, en valor absoluto.

Dejar claro que "aunque este índice proporciona resultados de forma numérica, estos no deben asociarse directamente a cambios físicos específicos, es decir, se trata de un indicador adimensional"(Ojeda et al,2013: pp.47). Pero permite mostrar la relación que tienen estas variables combinadas y los efectos provocados por la acción y aportación de cada uno.

Previo a la aplicación de dicha fórmula, resulta necesario una normalización de las variables, expresándoles en unidades semejante para poder establecer operaciones y comparaciones entre ellas. En este sentido se recalcularán resultando valores entre 0 y 1, mediante otra fórmula utilizada en la que se asigna el valor 1 al valor máximo, siendo los cercanos a este los más altos, y por el contrario 0 al valor mínimo de la serie, del mismo modo siendo los valores más bajos los cercanos a este.

$$X_{in} = 1 - \frac{(X_i - X_{max})}{(X_{min} - X_{max})}$$

En esta fórmula, X_{in} supone el valor normalizado de la variable estimada, X_i , es el valor de la variable que se va a normalizar, ya que esta se aplica a cada una de ellas, en todos los datos de los que se dispone. X_{max} , trata el valor máximo disponible en serie de datos, y por último X_{min} , que por el contrario es el valor mínimo existente en la serie de datos de cada variable. Una vez ya se han normalizado de todas, se podrá proceder con el cálculo del índice de sensibilidad antes descrito.

5. RESULTADOS

5.1. Tasas de erosión

La (Figura 16) muestra las tasas de erosión calculadas en el tramo de estudio para el periodo 2001-2011. Atendiendo a los datos generales, se registra para el tramo de estudio un total de 89 metros al año de progradación, y 24 metros por año de erosión. El 70% de los puntos representados presentan progradación y un 30% de erosión.

Por tanto predomina la acumulación de sedimentos en el ámbito de estudio aunque habrá que realizar un análisis detallado de la distribución de estos valores, ya que en muchos casos estos se concentran en una sección de todo el tramo, por la presencia de alguna infraestructura que retiene sedimentos.

Mientras que las tasas que presentan progradación tienen una mayor continuidad, por el contrario, las zonas con mayor erosión se reparten de manera heterogénea con alguna concentración más extensa, coincidentes principalmente con zonas que presentan una alta presión antrópica, ausencia de dunas o una escasas anchura en estas y en algunos casos, en zonas cercanas a espigones o puertos que favorecen la erosión, ya que al otro lado de estas, no llegan los sedimentos transportados por la deriva. Este hecho unido a la llegada perpendicular del oleaje provoca una incidencia mayor, incrementando la erosión en algunos tramos por ello en el tramo cercano al puerto de La Atunara, se localizan múltiples puntos representantes de estas tasas de erosión, que se acercan a los -1,35 metros por año, si bien la presencia cercana de dunas de considerable anchura, contrarresta en cierto modo una mayor intensidad de la acción regresiva.

Respecto a los valores máximos y mínimos, cabe destacar que el total de los resultados se localiza entre el máximo de 3,72 metros al año de progradación (los máximos valores aparecen distribuidos de manera más heterogénea, coincidiendo con zonas donde existen grandes depósitos de sedimentos, zonas cercanas a la punta de La Mala, al norte del tramo, y también secciones donde existen infraestructuras que permiten una acumulación de sedimentos, y por tanto la progradación) y el mínimo de 2,18 metros por año de erosión (coincidiendo en su mayoría con zonas en las que existen infraestructuras como paseos marítimos).

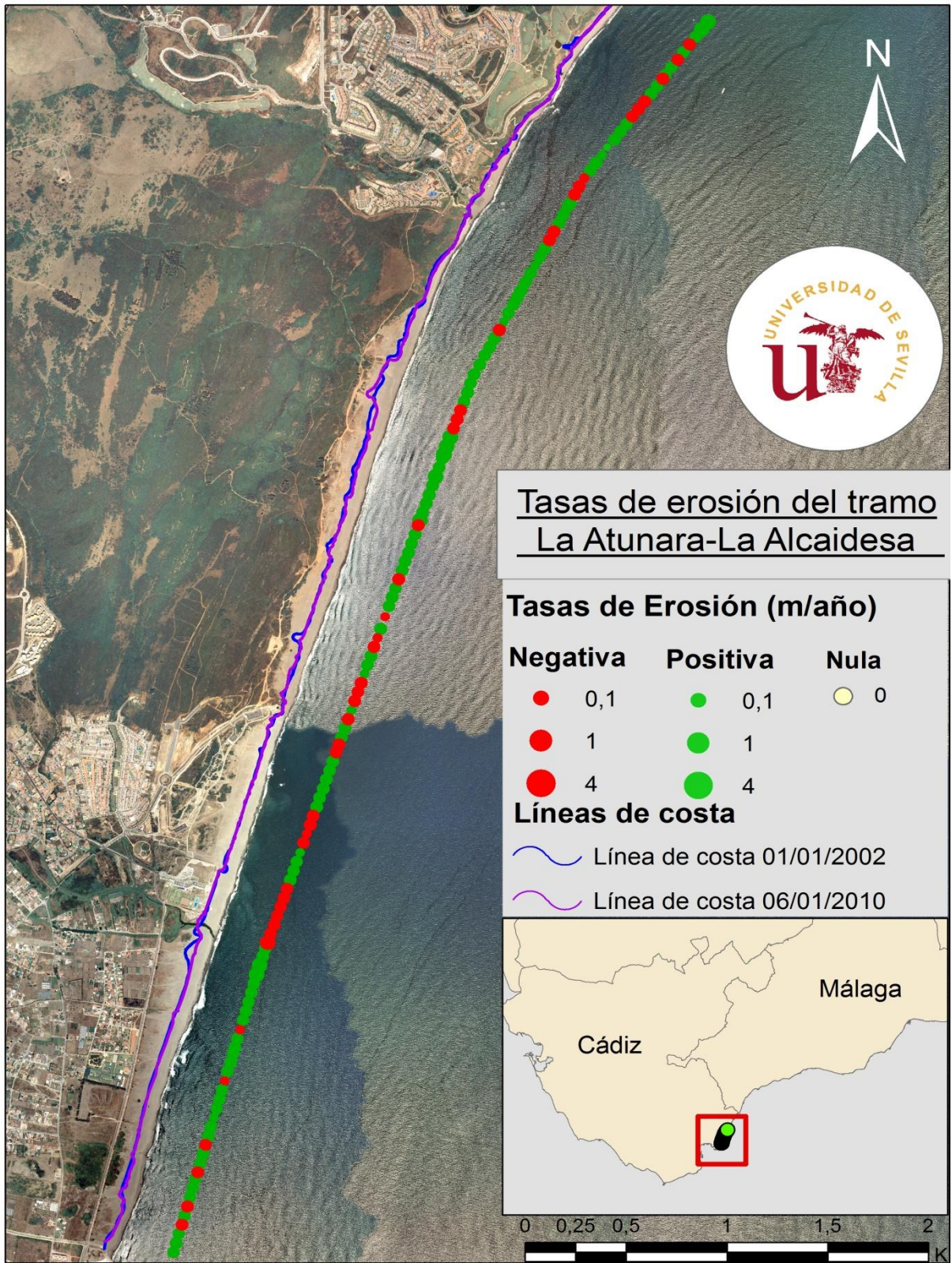


Figura 16. Tasas de erosión costera en el tramo La Atunara-La Alcáidesa estimadas con la herramienta DSAS y representadas posteriormente. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Indicadores de estado y seguimiento ambiental.

La asignación de información temática a la línea de costa durante el proceso de levantamiento de esta permite el cálculo de diferentes indicadores de estado y seguimiento ambiental. Entre los indicadores de estado y seguimiento ambiental calculados destacan:

- Identificación de cada tramo costero en función del campo Nivel_1 (playas, costa antropizada, costa rocosa o estuario).
- La longitud y extensión de playas con dunas costeras, de gran importancia para conocer qué porcentaje de playas dispone de dunas susceptibles de ser utilizadas como reservas sedimentarias y por tanto son menos vulnerables ante la erosión costera.
- La anchura media de la playa, de gran importancia ya que las playas con menor anchura resultaran más sensibles ante los procesos erosivos.
- El porcentaje de línea de costa con presencia de infraestructuras, indicador de las zonas con mayor nivel de rigidización.

Además, dado que disponemos de estas medidas para las fechas de 2001 y 2011 se realizará un análisis evolutivo.

5.2.1. Identificación de cada tramo costero en función del campo Nivel_1.

La Tabla 2 muestra para cada indicador de línea de costa digitalizada y para ambas fechas, la longitud de línea de costa caracterizada en función del campo Nivel_1. Cabe destacar que los cálculos están sujetos a cierto margen de error, debido a las diferencias en la calidad de la imagen entre una fecha u otra (resolución radiométrica) y a la presencia de elementos confusos o no permanentes que impiden su reconocimiento.

Tal y como se esperaba, las medidas tomadas en la marca húmeda suelen ser mayores debido a que en esta la línea recorre más distancia ya que se adapta de manera más exacta a los perfiles de los elementos, en este caso los puertos mayormente y los espigones a diferencia de las digitilización realizada para el indicador backshore/foredune que se ciñe al transcurso, "natural", del perfil de costa si no existiesen este tipo de infraestructuras.

Para ambas líneas los tramos de estuario y costa rocosa, deberían coincidir o aproximarse, ya que estos han sido digitalizados de la misma manera en ambas líneas, sin embargo, existen desigualdades en este sentido entre ambos años, justificado por la calidad de las imágenes utilizadas para digitalizar que a veces ha generado problemas de identificación de ciertos elementos rocosos. Además de ello algunos tramos resulta complicado determinar hasta qué punto se trata de costa rocosa o no, incluso en la ortofotografía de más calidad resolutive, por lo que existe un cierto margen de error en la estimación. Este motivo se podrá extrapolar al resto de categorías sin embargo este será el caso más evidente.

	2001		2011	
	Marca húmeda	Foredune	Marca húmeda	Foredune
Playas	24,7	27,8	23,2	27,7
Costa rocosa	1,01	1,01	1,81	1,81
Estuarios	0,23	0,23	0,43	0,44
Costa antropizada	12,5	1,04	14,5	1,66
Total	38,4	30	39.9	31,6

Tabla 2. Longitud línea de costa en Km según el campo, Nivel_1, Fuente: elaboración propia

La diferencia interna de los valores de longitud de la playa, es decir entre ambos proxies (marca húmeda/backshore) en cada año, se explica porque en el proxy backshore/foredune, el límite se adapta a los diferentes entrantes y salientes que se suceden en la morfología costera, a pesar del suavizado que se aplica, a diferencia de la marca húmeda, que a pesar de coincidir en el espacio con esta, sufre una menor variación de su trazado mucho más homogéneo, siendo algo más rectilíneo dentro de que se trata de una curva casi continua, por lo que la distancia recorrida es considerablemente menor.

También importante, en relación a la dimensión de los estuarios, estos además pueden sufrir cambios a mayor velocidad, ya que reciben la influencia tanto del mar, como del propio río, por lo que existen multitud de factores que podrían condicionar la situación

de estos, aunque las dimensiones no cambien demasiado a escala general. En este caso la longitud de los estuarios aumenta tanto en el proxy backshore/foredune como en la marca húmeda, unos 200 metros más en 2011. Este hecho se aprecia mejor esta dinámica es en el río Guadiaro como se aprecia en la (Figura 17), con una desaparición de la flecha que parece situarse en la desembocadura. Se debe a que la dinámica del estuario ha sido fuertemente degradada durante las últimas décadas debido a la extracción de áridos que se llevaba a cabo en el lugar con el objetivo de suplir la necesidad de materiales para la construcción de las urbanizaciones cercanas.



Figura 17. Comparación desembocadura Río Guadiaro, Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Longitud de playas con dunas costeras en el ámbito de estudio

A lo largo de este apartado se analizará la longitud de los tramos que corresponden a las playas del ámbito de estudio con presencia de dunas, en cada año, permitiendo localizar en que zonas predominan estos, y cuales tienen una mayor continuidad. Para ello se ha elaborado una tabla comparativa de la longitud de las playas según su topónimo para cada año, pudiendo establecer comparaciones entre ambos (Tabla 3).

Con carácter general el ámbito de estudio presenta una disminución de la longitud de tramos de playa con presencia de dunas costeras susceptibles de ser aprovechadas como reservas sedimentarias (un 72 % de las playas del ámbito de estudio posee presencia de dunas en 2001 mientras que en 2011 esta cifra ha disminuido hasta el 68%).

No obstante es necesario tener cierto cuidado en la interpretación de los resultados pues aunque existan grandes playas longitudinalmente hablando con presencia de estas, se debe analizar también el tamaño de los depósitos.

Playa	2001 (Km)	2011 (Km)
Chullera	0,90	0,92
El Burgo	1,22	0,95
El Cabrero	0,95	0,62
El Negro	1,26	1,18
Guadalquítín	1,90	2,01
La Alcaidesa	2,05	1,87
La Atunara	0,57	0,56
La Hacienda	3,6	3,6
Las Arenas	0,34	0,33
La Duquesa	X	X
Playa Ancha	0,58	0,48
Sabinillas	X	X
Sotogrande	0,89	0,62
Torre Carbonera	1,78	1,48
Torre Guadiaro	1,36	0,84
Los Toros	0,5	0,39
Total	17,9	15,8

Tabla 3: Longitud de playas con dunas para ambos años (Km), Fuente: elaboración

Atendiendo a la extensión/tamaño de las dunas, cuyo método ha sido descrito en apartados anteriores se disponen de datos de la anchura media en metros, de las dunas de cada tramo de playa, con una extensión más o menos similar adaptada a las características de la morfología costera. Por ello se representa en la (Tabla 4), la anchura media en metros, por duna de cada playa.

Playa	2001	2011
Chullera	22	12
El Burgo	115	92
El Cabrero	51	10
El Negro	43	18
Guadalquitín	60	60
La Alcaidesa	35	26
La Atunara	102	101
La Hacienda	94	71
Las Arenas	24	12
Playa Ancha	12	14
Sabinillas	X	17
Sotogrande	19	19
Torre Carbonera	54	40
Torre Guadiaro	46	24
Los Toros	13	11
Media Total	49	36

Tabla 4: Anchura media de la duna en metros por playa, Fuente: Eaboración propia.

Los máximos valores se localizan en la playa de El Burgo que presenta dunas de hasta 115 metros de extensión en 2001 disminuyendo a 92 metros en 2011, siendo la playa de La Atunara, la que dispone de mayor anchura en este último año con 101 metros. Por el contrario los valores mínimos corresponden a la playa de Los Toros con 13 metros en 2001 y 11 metros en 2011, sin embargo el valor mínimo se sitúa en 2011 en la playa de El Cabrero con tan sólo 10 metros, apenas suficientes para la regeneración de las playas.

Así, la tendencia general en la evolución de las dunas, es de regresión de estos depósitos, disminuyendo en 13 metros la media total en sólo 10 años. De las 14 playas con presencia de dunas en ambos años, 11 sufren una disminución de sus depósitos, del resto, dos se mantienen en el mismo valor, y en una, en el caso de Playa Ancha, su valor aumenta en tan sólo dos metros su media.

Dentro de estas variaciones la más intensa se sucede en la playa de El Cabrero con una disminución de 41 metros en 10 años, lo que supone casi la pérdida total de la duna. Seguida por la playa de El Negro donde disminuye unos 25 metros de media, con una variación aproximada a la media final, en todo caso en descenso. Esto se explica por la presión ejercida sobre la costa, con nuevas urbanizaciones e infraestructuras, como se observa en la (Figura 18).



Figura 18: Avance de la presión antrópica en la playa de El Negro, Fuente: Elaboración propia.

Para la interpretación visual de estos valores se ha representado la línea de playa con duna, con diferentes grosores según el tamaño medio de la duna (Figura 19). Siguiendo a (Ojeda et al, 2013) se han establecido los márgenes de mayor de 130 metros, para ser una duna extensa, entre 30-130 metros para ser una duna mediana y menos de 30 metros para ser una duna pequeña. De esta manera se puede observar de manera evidente, donde existen dunas de mayor o menor tamaño, y además comparar los grosores con entre los años.

En este caso, lo que llama la atención a primera vista en la (Tabla 5), es una tendencia general a la regresión de los depósitos sedimentarios, con un gran número de playas, en las que la duna ha disminuido desde mediana a pequeña, o desde grande a mediana. En el resto de casos se mantiene en su tamaño, si bien conociendo los valores reales estimados de la media, se sabe que en estos casos también existe disminución.



Figura 19: Playas con duna costera a) Grande, b) Mediana y c) Pequeña. Fuente: Elaboración propia. pon aquí como en el resto (a, b y c)

Playa	2001	2011
Chullera	Pequeña	Pequeña
El Burgo	Grande	Grande
El Cabrero	Mediana	Pequeña
El Negro	Mediana	Pequeña
Guadalquítín	Mediana	Mediana
La Alcaldesa	Mediana	Mediana
La Atunara	Grande	Grande
La Hacienda	Grande	Mediana
Las Arenas	Pequeña	Pequeña
Playa Ancha	Pequeña	Pequeña
Sabinillas	X	Pequeña
Sotogrande	Pequeña	Pequeña
Torre Carbonera	Mediana	Mediana
Torre Guadiaro	Mediana	Pequeña
Los Toros	Pequeña	Pequeña

Tabla 5: Anchura media de la duna según categoría para ambos periodos, Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Anchura media de las playas

La anchura media de las playas del ámbito de estudio puede ser estimada de dos formas, una de ellas como la superficie comprendida entre las líneas correspondientes a los dos proxies utilizados (marca húmeda y backshore/foredune) y otro mediante el uso de los transectos generados por la herramienta DSAS que como ya se comentó en apartados anteriores intersectarán con el polígono de anchura de playa útil previamente calculado. En la (Tabla 6) se presenta para cada una de las playas la anchura media en metros en ambas fechas.

Playa	2001(m)	2011(m)
Chullera	39	35
El Burgo	72	82
El Cabrero	46	47
El Negro	95	62
Guadalquítín	44	27
La Alcaidesa	48	42
La Atunara	71	50
La Hacienda	86	64
Las Arenas	50	47
La Duquesa	64	55
Playa Ancha	46	63
Sabinillas	66	56
Sotogrande	59	45
Torre Carbonera	56	53
Torre Guadiaro	56	46
Los Toros	64	51
Media Total	60	52

Tabla 6: Anchura media de cada playa (m) para cada fecha, Fuente: Elaboración propia.

Recalcar que se está representando la anchura media, es decir, el valor medio de todas las medidas tomadas, por lo que obviamente existirán tramos de playa con menor anchura, y de la misma manera con mayor anchura a los valores máximos.

Con carácter general se observa para todo el tramo de análisis una disminución de la anchura media en 8 metros en los últimos 11 años, lo que supondría de manera general un aumento de la sensibilidad de este tramo frente a los procesos erosivos, sin embargo hay que tener en cuenta otros factores.

Analizando de manera específica cada playa, se observa como la anchura máxima se sitúa en 95 metros en 2001 en la playa de El Negro, y en 2011 en 82 metros en la playa de El Burgo ambas extensiones considerables, que suponen una gran disposición de playa útil. Por el contrario los valores mínimos se sitúan en la playa de La Chullera con 39 metros de ancho en 2001, y 27 metros de ancho en la playa de Guadalquítín para 2011, que a pesar de ser los mínimos, se pueden considerar útiles.

En cuanto a la tendencia general, se observa como en 13 de las playas analizadas se ha producido una disminución de la anchura media, siendo 3 casos en los que existe un aumento, destacando el caso de Playa Ancha, con 13 metros de más, cercana al tramo final, donde se suceden las construcciones de urbanizaciones residenciales.

5.2.4. Porcentaje de línea de costa que responde a la presencia de infraestructuras

Atendiendo a la presencia y tipo de infraestructuras en el frente costero, se representa en la (Tabla 7), el tipo de infraestructura y su extensión en cada una de las fechas del estudio, proporcionando también el porcentaje que supone esta en el total de la suma de todos los tipos de infraestructuras presentes según el campo infraestructura de la base de datos. Para la medición de la longitud de las infraestructuras se ha utilizado el proxy “marca húmeda” al recoger esta una delimitación detallada de las infraestructuras (ya comentada en el correspondiente apartado metodológico). Son 9 las categorías representadas, que incluyen infraestructuras tanto transversales como longitudinales y mixtas. Se observa como la categoría con mayor extensión en ambas fechas, son los puertos, con 9,98 kilómetros en 2001, suponiendo un 50% del total de la longitud de tramos con infraestructuras y el 12,8% en 2011 suponiendo el 60% de esta fecha. En

este caso, la diferencia de extensión, se debe a la mayor exactitud en la última digitalización, que se ajusta mejor a los límites existentes dentro de estos debido a la visión pancromática de la foto, ya que en ambas fechas ya existían los dos puertos existentes en el ámbito de estudio, el Puerto de Sotogrande de mayor extensión, y el puerto deportivo de La Duquesa.

Infraestructura	2001 Km(%)	2011 Km(%)
Costa antropizada indiferenciada	0,85 (4,3%)	1,13 (5,3%)
Infraestructura costera longitudinal dique escollera	1,68 (8,4%)	0,89 (4,2%)
Infraestructura costera longitudinal indiferenciada	5,83 (29%)	0,68 (3,2%)
Infraestructura costera longitudinal paseo marítimo	0,83 (4,2%)	3,03 (14,2%)
Infraestructura costera mixta indiferenciada	0,19 (0,9%)	0,28 (1,3%)
Infraestructura costera transversal espigones	0,58 (2,9%)	0,58 (2,7%)
Infraestructura costera transversal indiferenciada	0,05 (0,2%)	X
Infraestructura costera longitudinal muro de defensa	X	1,94 (9,1%)
Puertos	9,98 (50,1%)	12,8 (60%)
Total	19,9 (100%)	21,3 (100%)

Tabla 7. Longitud de infraestructuras presentes en las playas para ambos años; Fuente: Elaboración propia.

Destacan también los valores vinculados a la presencia de tramos que son infraestructuras costeras longitudinales indiferenciadas que alcanzan un total de 5,83 kilómetros en 2001 (un 29% del total), y las infraestructuras costeras longitudinales, paseos marítimos, en 2011, con 3,03 kilómetros (que suponen un 14,2%). El resto repartido entre las demás, escolleras, espigones, o muros de defensa, destacando mayor presencia de infraestructuras indiferenciadas en el año 2001, debido a la menor

resolución de la ortofoto, que impide diferenciar con claridad el tipo de categoría a la que pertenece cada tramo. Se incrementan en 10 años la costa antropizada indiferenciada así como los paseos marítimos y muros de defensa. Se percibe en estos resultados un incremento de la rigidización de la costa y de las infraestructuras de defensa ante los procesos erosivos.

5.2.5. Índice de sensibilidad a la pérdida de playas ante los procesos erosivos.

Tras la aplicación de las fórmulas descritas previamente en el apartado 4.5, se obtienen los resultados de la zona de estudio elegida. Estos han sido clasificados según su valor para su representación. Así, los tramos que alcanzan un valor de 0 son los que presentan mayor sensibilidad ante los procesos erosivos. Por lo general, las peores situaciones se registrarían en playas que tienen menor anchura, poseen tasas de erosión negativas y no dispone de duna o dispone de una muy pequeña, mientras que por el contrario, los que alcanzan valores entre 0,8 y 2,5, son los que presentan una sensibilidad baja y se corresponden con playas anchas, progresivas y con presencia de dunas costeras (Tabla 8).

Valor del índice	Clasificación sensibilidad	Clase
0	1	Muy Alta
0,001;0,2	2	Alta
0,201;0,8	3	Media
0,801;2,5	4	Baja

Tabla 8: Clasificación índices de sensibilidad según intervalo, Fuente: Elaboración propia.

Para la representación espacial de los valores del índice se ha utilizado el mismo método que para las tasas de erosión, es decir, se ha digitalizado de nuevo una línea paralela a la línea base de los transectos, pero esta vez al otro lado de las líneas de costa (en la zona marina), donde al interseccionarla con los transectos, que poseen la información del índice,

se obtienen los puntos que disponen de toda la información y a los cuales se les aplicará la simbología. Los valores más graves del índice serán representados en colores rojo y naranja, y los valores medios y bajos en color amarillo y verde, sin ser símbolos graduales en este caso, ya que lo importante es conocer el nivel de vulnerabilidad general de cada zona de la costa, siendo suficiente esta diferenciación (Figura 20).

Observando la figura, se confirma la predominancia de bajos niveles de sensibilidad, con una homogeneidad generalizada en las playas de las zonas media y sur, y una tendencia a clases más altas en la zona norte, con algunas excepciones. Estas son las zonas con mayor presencia de dunas, y sobre todo mayor anchura donde la tendencia se acerca a la baja vulnerabilidad, que junto con la anchura de estas playas, reafirma de nuevo la importancia de los depósitos sedimentarios en los procesos de la dinámica costera, siendo imprescindibles para la regeneración frente a los procesos erosivos, y la proliferación de estas playas, de interés no solo natural y ambiental, sino también turístico.

Por el contrario, es en la zona norte donde predominan infraestructuras, la escasez de dunas y su mínima anchura, que influye negativamente en estos resultados, con la presencia de urbanizaciones residenciales y campo de golf, que se sitúan casi en contacto directo con la playa. Aquí se localizan los valores del índice medios-altos, y las zonas con valores muy altos, en gran peligro de pérdida inminente de playa cuando los procesos erosivos se suceden. Todo ello a pesar de ser una zona donde debido a la morfología costera, se acumulaba sedimento, y existía cierta progradación, sobre todo en la zona situada más al norte donde sí es cierto que estos índices no son tan elevados, acercándose a clases medias.

Atendiendo a casos más concretos, en aquellas zonas donde destacan algunos de los valores de manera generalizada, encontramos los tramos menos afectados (Figura 21), visualizándose una homogeneidad de bajos índices de sensibilidad. Destaca en este tramo, la presencia de varios puntos de clase media e incluso alguno de clase alta, que coinciden en su totalidad, con la presencia de un paseo marítimo y urbanización residencial, cuyas construcciones, impiden la presencia de un depósito de sedimentos suficientemente grandes como para tener capacidad de regeneración de la playa, siendo prácticamente inexistentes, aunque sin embargo se trata de una playa con aceptable anchura.

En la Figura 22, se visualizan los valores más altos del índice, esto es las playas más sensibles, los casos más graves. Este fenómeno se ve explicado de nuevo por la presencia de infraestructuras costeras, tanto caminos, como lo que parecen ser aparcamientos y un campo de golf, además del propio conjunto residencial, todo ello unido a la casi inexistencia de dunas, y en las zonas en las que existe, esta dispone de escasa anchura, por lo que la playa se encuentra indefensa a la acción de la deriva.

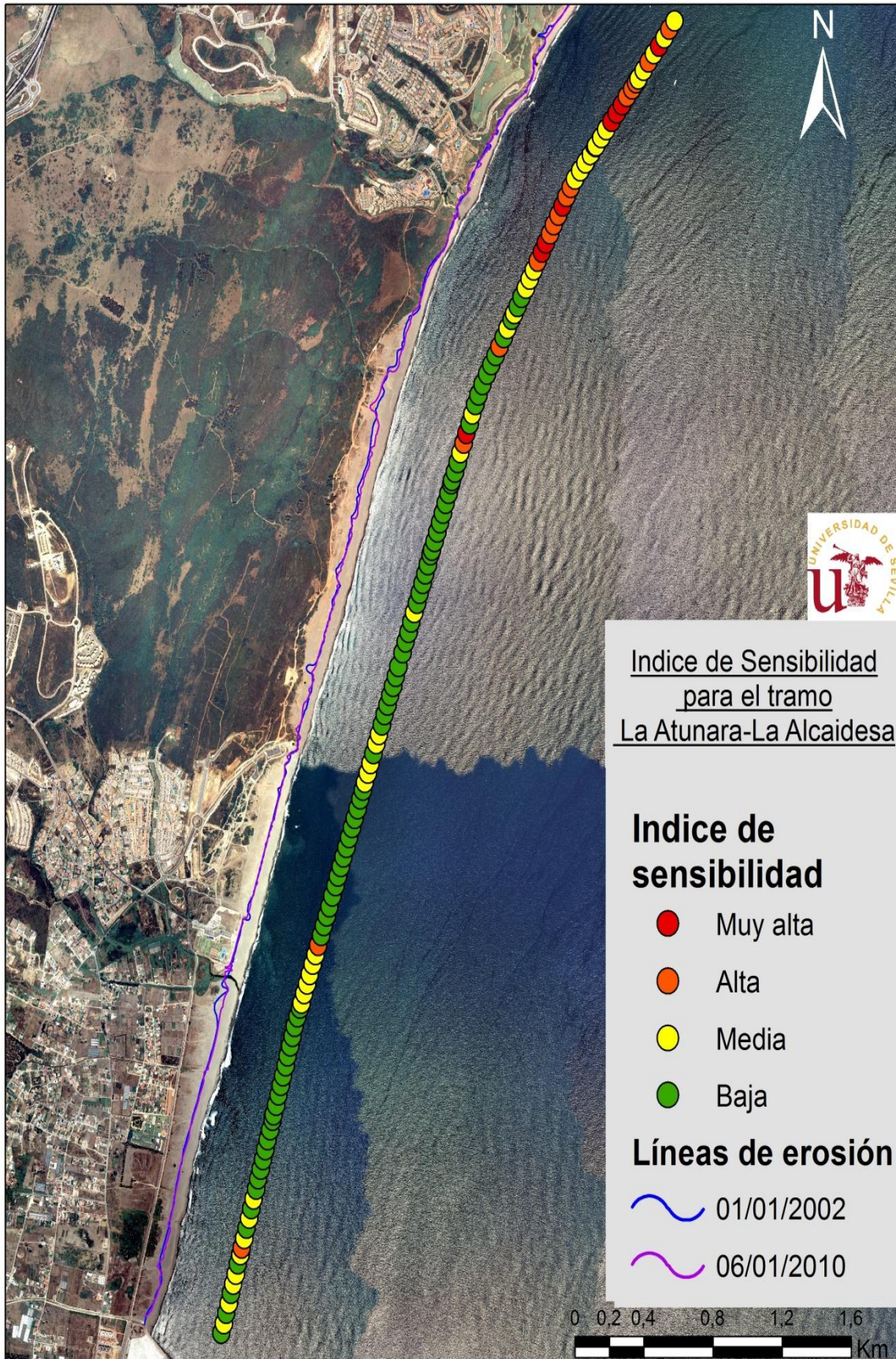


Figura 20: Índice de sensibilidad para el tramo La Atunara-La Alcaldesa, Fuente: elaboración propia.

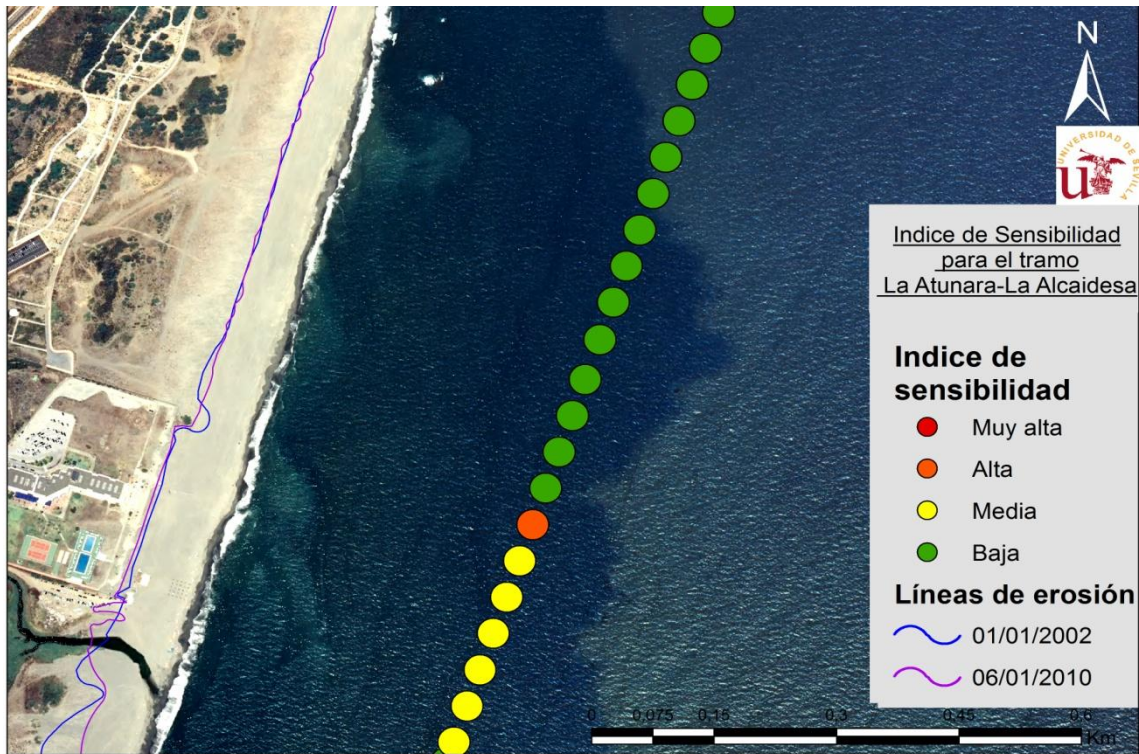


Figura 21: Tramo con índices de sensibilidad bajos. Fuente: elaboración propia.

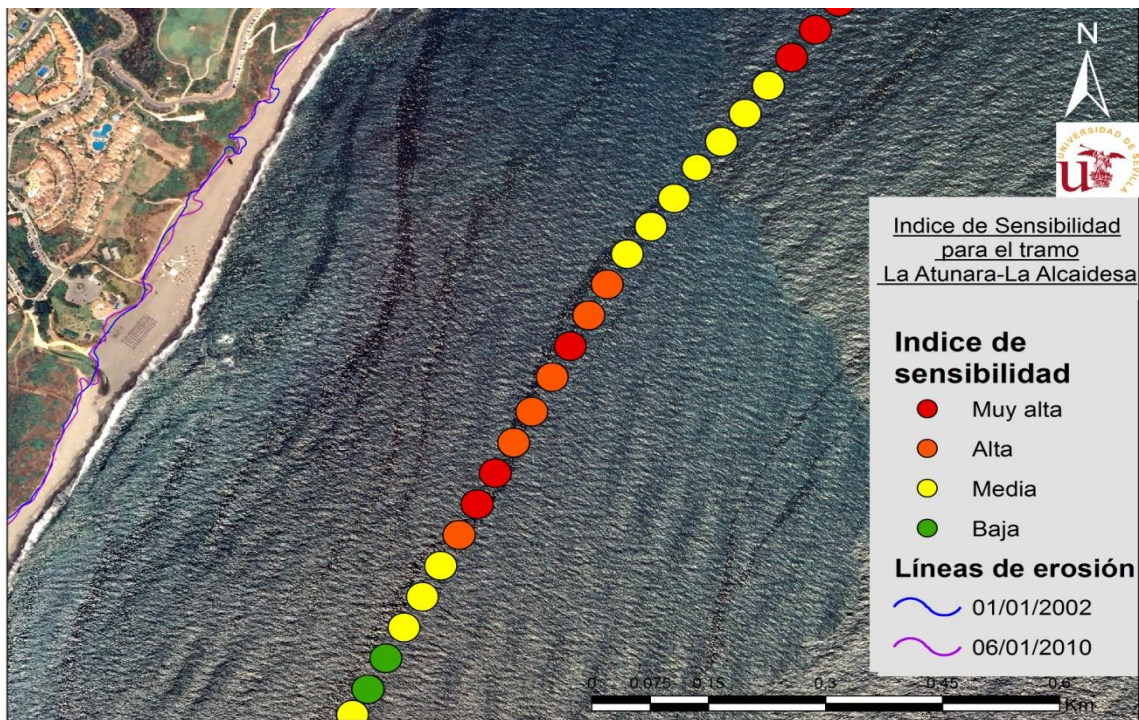


Figura 22: Tramo con índices de sensibilidad altos. Fuente: elaboración propia

6. CONCLUSIONES

Todas las operaciones y acciones llevadas a cabo para cumplir los objetivos establecidos inicialmente, han permitido conocer la evolución de la dinámica del litoral frente a la erosión costera en el tramo determinado, y justificar las principales relaciones causales principales que fundamentalmente atañen a la presión antrópica creciente, que se extiende por todo el litoral Andaluz incluyendo el ámbito de estudio, generando importantes cambios que impiden un desarrollo y regeneración natural de las playas.

La revisión bibliográfica y de fuentes de datos realizada (la disponibilidad para el tramo de estudio de ortofotografías aéreas ha posibilitado el análisis en cuestión), junto con el uso de las herramientas disponibles en el software Arcgis, han sido fundamentales para acceder y administrar de manera adecuada los resultados obtenidos, incluyendo el DSAS, el cual ha sido imprescindible para evaluar las tasas de erosión y operar otros indicadores.

Del mismo modo la asociación de información temática a las líneas de costa durante el proceso de digitalización, así como la organización de la información en una base de datos estructurada, que facilita la labor del fotointérprete y digitalizador mediante el uso de dominios, son de gran rendimiento para, en primer lugar, para la generación y levantamiento de la información y para , posteriormente la explotación de esta para la generación de indicadores temáticos y la estimación de las tasas de erosión.

En lo referente a los resultados temáticos obtenidos, no hacen más que confirmar la negativa influencia ejercida por la actividad antrópica, así como permitir el conocimiento de los diferentes aspectos tanto ambientales como estadísticos, de la zona elegida, con una heterogeneidad de datos. No obstante es necesario tener en cuenta varios aspectos:

1. Como se ha advertido continuamente en el estudio, se ha de tener en cuenta el margen de error, debido a la interpretación del digitalizador y a la diferencia de resolución entre ambas imágenes que influye en dicha interpretación.
2. Si bien en el tramo estudiado predomina la progradación, ha de tenerse en cuenta que estos valores deben ser interpretados con sumo cuidado pues si bien la línea de costa prograda en la mayor parte de los puntos analizados, no hay que olvidar que la medición

de la erosión, fenómeno tridimensional (pérdida de volumen) se ha simplificado a un proceso bidimensional (cálculo de distancias y superficies).

3. La erosión, la pérdida de playas acaba siendo un proceso extendido por toda la costa aunque también es cierto que no lo hace de manera homogénea, ya que en el ámbito de estudio también existen múltiples zonas donde sucede una progradación. Esto no solo es debido a la acción antrópica (presencia de infraestructuras, paseo marítimo o realización de embalses que puede alterar el tránsito sedimentario...), única causa analizada, sino también la influencia del oleaje (temporales, dinámica) es otra de las principales causas de la erosión a corto plazo.

4. A pesar de ello, el índice de sensibilidad muestra que las playas más sensibles ante los procesos erosivos son aquellas que se encuentran en secciones donde ha intervenido la mano del hombre.

Todo ello plantea como líneas de investigación futuras:

- Utilización de nuevos datos, con información procedente de nuevas ortofotos, así como otras fuentes de datos, que permitan una mayor aproximación a la dinámica costera.
- Realización de aproximaciones a la medición tridimensional para el tramo de estudio
- Analizar la influencia del oleaje como causa de la erosión de las playas del tramo de estudio entre 2001 y 2011.

BIBLIOGRAFÍA

- Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., de Oliveira, A., Corrêa, I., & Calliari, L. (2013). "Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the change polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches". *Journal of Coastal Research*, 65(sp2), 1710-1714.
- Boak, E.H., & Turner, I.L. (2005). "Shoreline Definition and Detection": a review. *Journal of Coastal Research*, 21(214), 688–703. <http://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Cifuentes, M. (2016). "Detección de cambios en la línea costera y los efectos del cambio climático relacionados con el incremento del nivel del mar: Distrito de Buenaventura", 65. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/54485/>
- Darsan, J. (2014). "Digital Mapping of the Coastline Evolution of Cocos Bay (Manzanilla), Trinidad." *Caribbean Journal of Science*, 48(2-3), 103-116.
- Díaz, R. (2008). "Cartografía dinámica costera del Parque Nacional de Doñana". *Actas de las Jornadas Técnicas las nuevas técnicas de información geográfica al servicio de la gestión de zonas costeras: Análisis de la evolución de playas y dunas*, 28-32.
- Dolan, R., Hayden, B.P., May, P., and May, S. (1980): "The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs", en *Shore and Beach*, 48(4), pp. 22 - 29.
- España. Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España. *Boe*, 207, 35986–35989.
- Fernandez, M., Díaz, P., Ojeda, J., Prieto, A., & Sánchez, N. (2015). "Multipurpose line for mapping coastal information using a data model: the Andalusian coast (Spain)." *Journal of Coastal Conservation*, 19(4), 461–474. <http://doi.org/10.1007/s11852-015-0400-1>
- García, D., Vallejo, I. (2012). "Caracterización y modelos de funcionamiento del sistema playa-duna en el Parque Nacional de Doñana (Huelva , España)." *XV Congreso Nacional de Tecnologías de La Información Geográfica*, (September 2012).
- Mansilla, F. (2014). "Estudio de erosión de la playa de San Juan (Alicante) mediante TIGs." Retrieved from <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/46505>

-Ojeda, J.(2000). "Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta." En: *Boletín de la A.G.E.*, 30. pp. 103-118

-Ojeda, J., Díaz, P., Prieto, A., & Álvarez, J. (2013). "Línea de costa y sistemas de información geográfica: modelo de datos para la caracterización y cálculo de indicadores en la costa andaluza." *Investigaciones Geográficas*, 60, 37–52.
<http://doi.org/10.14198/INGEO2013.60.02>

-Prieto, A., Ojeda, J., Rodríguez, S., Gracia, F., & Río, L. (2012). "Procesos erosivos (tasas de erosión) en los deltas mediterráneos andaluces: herramientas de análisis espacial (DSAS) y evolución temporal (servicios OGC)." *XV Congreso Nacional de Tecnologías de La Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC*, (February 2014), 19–21.

-Prieto, A.(2012). Máster Universitario en: Ordenación y Gestión del Desarrollo Territorial y Local Título : "Propuesta metodológica para el cálculo de tasas de erosión."

-Quevedo , U., & Hernández, L. (2014). "Evolución reciente de la línea de costa en un sistema playa-dunas deficitario (Maspalomas, Gran Canaria)." 163–171. *XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante,from http://age-tig.es/2014_Alicante/ponencia1/66.pdf

-Thieler,E.R, Himmelstoss EA, Zichichi J.L.(2009). "The Digital ShorelineAnalysis System (DSAS) Version 4.0 -An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. Open-File Report." *US Geological Survey Report* No. 2008-1278:
<http://woodshole.er.usgs.gov/projectpages/dsas/version4/>

Direcciones web

-Consejería de economía y conocimiento Junta de Andalucía. Instituto de Estadística y Cartografía. Line@. Retrieved February 10, 2017, from
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/lineav2/web/>

-Google Maps. <https://www.google.es/maps/>

-Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Consejería de Economía y Conocimiento. Junta de Andalucía. Datos Espaciales de Referencia de Andalucía DERA,from, <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/>

- Red de Información Ambiental de Andalucía: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio : <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>
- Visor de Playas de Andalucía. (n.d.). Retrieved July 13, 2017, from <http://laboriorrediam.cica.es/VisorPlayasAndalucia/>

Índice de figuras

Figura 1: Localización área de estudio.....	6
Figura 2: Red fluvial en el ámbito de estudio.....	7
Figura 3: Delimitación de la línea backshore (a), de la última marca húmeda de la marea alta (b) y superficie entre ambos límites (c).	14
Figura 4: Delimitación de infraestructuras	15
Figura 5: Diferencia delimitación de las infraestructuras en la última marca húmeda de la marea alta y en el backshore/ foredune.....	15
Figura 6: Delimitación costa rocosa (a) y estuario (b).	16
Figura 7: Base de datos en proceso de edición, Uso de dominios.....	17
Figura 8: Ejemplo medición anchura media de las dunas	19
Figura 9: Estimación anchura media de la playa utilizando transectos generados con DSAS	20
Figura 10: Incorporación de información temática a línea de costa.....	22
Figura 11: Ejemplo suavizado línea digitalizada.....	23
Figura 12: Regla topológica que evita superposición.....	24
Figura 13: Regla topológica que evita la presencia de dangles, ejemplo de corrección en Arcgis	24
Figura 14: Regla topológica que evita la superposición consigo mismo	25
Figura 15: Ejemplo transectos ortogonales	26
Figura 16. Tasas de erosión costera en el tramo La Atunara-La Alcaidesa estimadas con la herramienta DSAS y representadas posteriormente	31
Figura 17. Comparación desembocadura Río Guadiaro.....	34
Figura 18: Avance de la presión antrópica en la playa de El Negro	37
Figura 19: Playas con duna costera a) Grande, b)Mediana y c) Pequeña	38

Figura 20: Índice de sensibilidad para el tramo La Atunara-La Alcaidesa	45
Figura 21: Tramo con índices de sensibilidad bajos	46
Figura 22: Tramo con índices de sensibilidad altos	46

Índice de tablas

Tabla 1: Ortofotos utilizadas.	9
Tabla 2. Longitud línea de costa en Km según el campo, Nivel_1	33
Tabla 3: Longitud de playas con dunas para ambos años (Km)	35
Tabla 4: Anchura media de la duna en metros por playa	36
Tabla 5: Anchura media de la duna según categoría para ambos periodos	38
Tabla 6: Anchura media de cada playa (m) para cada fecha	39
Tabla 7. Longitud de infraestructuras presentes en las playas para ambos años	41
Tabla 8: Clasificación índices de sensibilidad según intervalo	42