ACCIÓN A.1.3: CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIEL

ANNEX A.1.6

LIFE BLUE NATURA

(LIFE2014/CCM/ES000957)

El Carbono Azul en Andalucía y su papel para la mitigación del cambio climático

JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Acción A.1.3: Cartografía temática de Marismas del Odiel

INDICE

Summary…….3

Antecedentes……4

Objetivos……..5

Material y método……..5

Fase I: Análisis información disponible……..…6

Fase II: Definición de criterios para las clases……..…8

Fase III: Análisis de Mareas……..…12

Fase IV: Elaboración de cartografía……..13

Fase V: Cálculo de superficie en detalle……..18

Fase VI: Nuevos resultados esperados……..19

ANEXO CARTOGRÁFICO……..…..20

PLANO 1: Cartografía temática de Marismas del Odiel……..21

PLANO 2: Marisma Baja……..22

PLANO 3: Marisma Media.……..23

PLANO 4: Marisma Alta……..24

PLANO 5: No Marisma……..25

PLANO 6: Playas……..26

Summary

This report includes a thematic cartography in detail of the Odiel Marshes Natural Area (Huelva), establishing the following classes: Low Marsh, Mean Marsh, High Marsh, No Marsh, Beaches.

The final result offer a surface calculation of each of the classes in order to apply the values obtained in the CEAB-CSIC campaign carried out in October 2016, and thereby make a reliable estimate of the blue carbon holding capacity of this tidal marsh.

The Thematic Cartography of Odiel Marshes has been done analyzing the different available cartographic sources, including 23 different sources (raster and vector), from the Environmental Information Network of Andalusia (REDIAM), Universities, Research projects, as well as new products generated expressly for this analysis.

Antecedentes

Al lo largo de la franja litoral atlántica se desarrolla toda una serie de ecosistemas propios de este espacio frontera entre la tierra y el mar: playas, dunas, estuarios, lagunas y marismas se suceden acogiendo una amplia gama de seres vivos propios de uno u otro medio, junto a otros organismos exclusivos de estos ambientes mixtos. El conjunto de marismas mareales mejor conservado de litoral andaluz es el de las Marismas del Odiel, lo que ha llevado al Parlamento Andaluz a declararlos como Paraje Natural (Ley 12/1984, de 19 octubre) y, previamente (1983) en el programa MaB de la UNESCO, Reserva de la Biosfera.

El paraje Natural de las Marismas del Odiel consta de 7.185 has situadas en el estuario de los ríos Odiel y Tinto. En su interior se encuentra las Reservas Naturales de las Marismas del Burro y la Isla de En medio, que destacan por el grado de conservación en sus ecosistemas y por la presencia de importantes colonias de garzas y espátulas. El Paraje se complementa con otros entornos naturales cercanos, que permiten a las especies animales disponer de una mayor heterogeneidad de hábitats para su desarrollo.

La dinámica geomorfológica reciente del litoral onubense determina la existencia de costas bajas con desarrollo de bandas arenosas y marismas asociadas a la desembocadura de los principales ríos, que vierten sus aguas en esta franja litoral, en la que el principal determinante físico está constituido por la oscilación de las mareas, cuyo grado rango se acerca a los cuatro metros. La tendencia natural de evolución en marismas supone un proceso natural de elevación del terreno, que lleva asociados cambios de la flora y fauna, y la consecuente independización de la influencia mareal. Según la posición topográfica, los organismos pasan de estar determinados por factores asociados a la inundación en los niveles inferiores, a otros relacionados con la emersión prolongada propias de los niveles más elevados. Por todo ello, las marismas mareales constituyen unos sistemas de gran dinamismo sometidos a unas modificaciones espacio-temporales muy intensas.

Los ecosistemas marismeños resultan por tanto medios hostiles en los que las condiciones ambientales ejercen un fuerte control sobre los organismos asentados en los mismos. La salinidad y el régimen de encharcamiento son los principales determinantes de la distribución de las especies. Las duras restricciones ambientales explican el bajo número de especies propias de marismas, si lo comparamos con otro tipo de ecosistemas de interior. La mayoría de plantas constituyentes, son especies perennes o vivaces adaptadas a la salinidad y el encharcamiento en mayor o menor medida.

Las marismas mareales se encuentran entre los sistemas más productivos de la Tierra. La riqueza de nutrientes, unido al dinamismo generado por el agua y el movimiento de las mareas, explican la productividad de notables valores de generación de biomasa vegetal, que a su vez mantiene grandes poblaciones de animales, principalmente crustáceos, moluscos, insectos, peces y aves. Esta estas propiedades, hacen que las marismas mareales tengan una gran alta tasa de secuestro de carbono.

Las marismas mareales son de los escasos ecosistemas de la biosfera que se encuentran subsidiados energéticamente de forma natural. Así, mientras que la mayoría de los ecosistemas la entrada exclusiva de energía al sistema físico abierto la constituye la luz solar, en las marismas la redistribución de nutrientes y sedimentos generada por las mareas supone una fuente de energía accesoria que justifica la elevada productividad aludida. La gran producción de biomasa vegetal y la falta de grandes herbívoros que la consuman, convierten a los saprófitos, detritívoros y descomponedores en los grandes protagonistas del entramado ecológico marismeño, en cuanto a la canalización de la energía y, por tanto, en el mantenimiento de toda la estructura trófica. A pesar de lo descrito, las marismas son conocidas a nivel popular fundamentalmente por la existencia de comunidades de aves de gran importancia, por la riqueza de especies y sus efectivos poblacionales, que se mueven por las mismas siguiendo sus tendencias migratorias. Las aves por su capacidad de volar pueden explorar temporalmente las altas productividades que se producen en diferentes zonas húmedas, desplazándose de unos humedales a otros continuamente, poniendo en cuestión la política de conservación de los espacios protegidos, dirigidos exclusivamente a determinados puntos del territorio.

Debido a su situación biogeográfica en la interfase de dos grandes sistemas terrestres (continentes y océanos), las marismas funcionan a modo de encrucijada sujetas a múltiples e intensas interacciones con los ecosistemas periféricos. Así, por ejemplo, una parte de la producción es exportada al resto del espacio litoral, calculándose que en torno al 60% de las pesquerías de bajura dependen en alguna manera de las marismas y estuarios.

Ante este escenario queda demostrado cualitativamente las virtudes de las marismas mareales como el Paraje Natural Marismas del Odiel, como un sistema altamente productivo en materia de captura de carbono. En contraposición, existe un desconocimiento cuanto a su valoración cuantitativa, que de resolverse se dispondría de información para el desarrollo de proyectos Blue Carbon altamente eficientes y rentables como sumideros de Carbono Azul.

La Acción A.1.3 del proyecto LIFE BlueNatura, se plantea dar respuesta a esta incógnita y plantea la realización de una cartografía temática del humedal, con el que realizar un cálculo de la capacidad que este ecosistema tiene de captura de carbono azul, y para ello aplicará los valores obtenidos en sondeos realizados en octubre de 2016, por el Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC).

Objetivos

Como objetivo principal se plantea la elaboración de una Cartografía Temática en detalle del Paraje Natural Marismas del Odiel (Huelva) (en adelante CTMDO) estableciendo las siguientes clases:

1. Marisma Baja
2. Marisma Media
3. Marisma Alta
4. No Marisma
5. Playas

El objetivo final es la realización de un cálculo de superficie de cada una de las clases con el fin de aplicar los valores obtenidos en la campaña del CEAB-CSIC realizada en octubre de 2016, y con ello realizar una estima fiable de la capacidad de retención de carbono azul que tiene esta marisma mareal.

Material y método

Las características geográficas de las Marismas del Odiel, con una orografía casi inexistente (0 a 4 metros) y con zonas aisladas o de difícil acceso (islas, zonas inundadas, sustratos de fangos, etc....) plantea que cualquier caracterización del territorio debe hacerse a partir de la distribución de la comunidad vegetal.

Ocurre, que las especies se distribuyen en función de las condiciones de inundación y salinidad de su ecotono, lo que está directamente relacionado con la influencia mareal, y por ende con la cota. Por ello, un análisis de determinas plantas especialistas o comunidades de ellas, que sólo se encuentran en determinadas cotas, podría aportar información fiable de la cota que está cada zona.

Además, teniendo en cuenta que el secuestro de carbono lo realizan las especies vegetales en su sistema radicular, tiene mucho sentido que la CTMDO se basara en la representación vegetal a lo largo del Paraje.

La complicación recae en que no hay tantas especies especialistas, y sí que hay muchas otras especies más cosmopolitas o generalistas que podría soportar una heterogeneidad de hábitats. Por ello se requería, además de unos criterios biológicos, otros físicos asociados a la Marea que permitiese segmentar la distribución de las especies y comunidades que podrían aportar ruido al análisis.

Ante este planteamiento, para la elaboración de la Cartografía Temática de Marismas del Odiel, se requieren la ejecución de ha ejecutado las siguientes fases:

1. **Fase I. Análisis de la información disponible**
2. **Fase II: Definición criterios para las clases**
3. **Fase III. Análisis de Mareas**
4. **Fase IV: Elaboración de cartografía**
5. **Fase V: Cálculo de superficie en detalle**
6. **Fase VI: Nuevos resultados esperados**

Fase I. Análisis de la información disponible

En esta fase se han analizado las diferentes fuentes cartográficas disponibles, esto ha incluido 25 fuentes diferentes (ráster y vectoriales), provenientes de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), Universidades, Proyectos de investigación (tesis doctorales), así como nuevos productos generados expresamente para este análisis. En la siguiente tabla se indican las bases cartográficas consultadas, así como los autores de las mismas:

Bases cartográficas consultadas para la CTMDO				
ID	**Fuente**	**Tipo**	**Año**	**Autor**
1	Cobertura Vegetación en detalle	Vectorial	1996	Universidad de Sevilla
2	Modelo Digital del Terreno	Ráster	2004	Universidad de Sevilla
3	Unidades fisiológicas del litoral	Vectorial	2007	REDIAM
4	Línea de Costa	Vectorial	2011	REDIAM
5	Cartografía geomorfológica Marina	Ráster		REDIAM
6	Mareógrafos y series históricas del nivel del mar. Litoral de Andalucía y Algarve	Vectorial	2000	REDIAM
7	Batimetría del litoral andaluz (1:50.000)	Ráster/vectorial	2009	REDIAM
8	Zonificación Reserva de la Biosfera Marismas del Odiel, Andalucía	Vectorial	2016	REDIAM
9	Mapa Topográfico P.N. Bahía de Cádiz	Vectorial	1998	REDIAM
10	Indicadores de vulnerabilidad ecológica y socioeconomía	Ráster/vectorial	2015	REDIAM
11	Hábitat de Interés Comunitario de Andalucía, publicación 2016	Vectorial	2016	REDIAM
12	Hábitat de Interés Comunitario de Andalucía, publicación 2010. Vege 10	Vectorial	2010	REDIAM
13	Límites de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA), Información actualizada	Vectorial	2017	REDIAM
14	Base Cartográfica SIOSE Andalucía. Escala 1:10.000. Ocupación del suelo	Vectorial	2013	REDIAM
15	Ocupación de los estratos de vegetación extraída del SIOSE Andalucía 2011	Vectorial	2011	REDIAM
16	Cartografía y evaluación de la vegetación de la Masa forestal de Andalucía a escala de detalle 1:10000. Año 1996-2006	Vectorial	2006	REDIAM
17	Coberturas de estratos vegetales a escala 1:10.000 de la masa forestal de Andalucía.	Vectorial	2009	REDIAM
18	Comunidades vegetales de la masa forestal de Andalucía	Vectorial	2011	REDIAM
19	Modelo Digital del Terreno en el marco del PNOA Vuelo 2016	Ráster	2016	REDIAM
20	Modelo Digital de Superficie en el marco del PNOA Vuelo 2016	Ráster	2016	REDIAM
21	Modelo Digital de vegetación en el marco del PNOA Vuelo 2016	Ráster	2016	REDIAM
22	Modelo Digital de sombras en el marco del PNOA Vuelo 2016	Ráster	2016	REDIAM
23	Modelo de hábitats del Odiel	Ráster	2016	Tesis doctoral Miriam Fernández (US)
24	Modelo de marismas del Odiel	Ráster	2016	Tesis doctoral Miriam Fernández (US)
25	Unidades geomorfológicas del Odiel	Vectorial	2016	Tesis doctoral Miriam Fernández (US)

Sobre estas bases, se realizaron diversas comprobaciones en cuanto a:

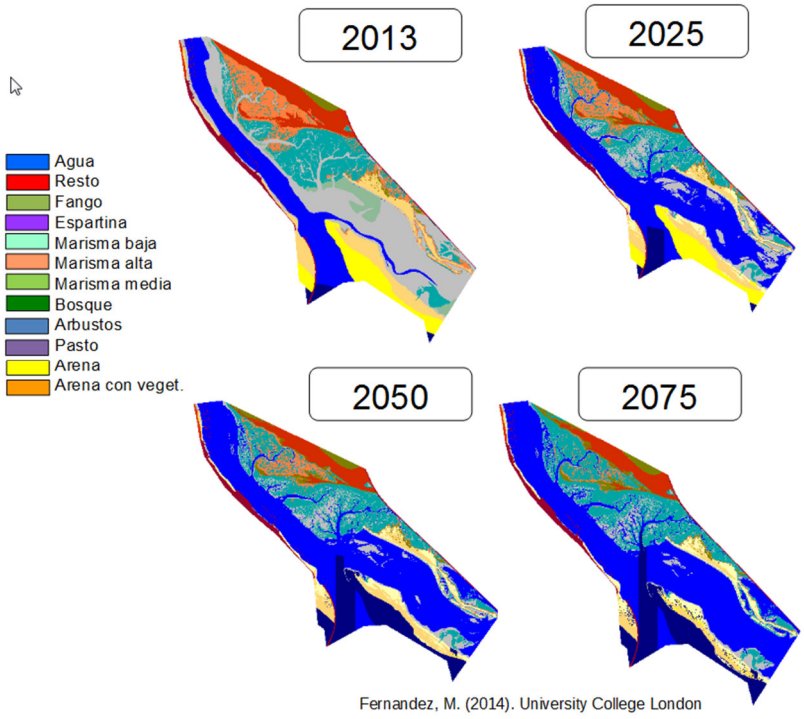
- Calidad de la información
- Resolución
- Tabla de atributos
- Año de actualización

Estas comprobaciones incluyen comparativas con Ortoimágenes actuales, análisis SIG y de los propios metadatos asociados a las cartografías. Una vez descartadas las bases cartográficas que no cumplían las exigencias se procedió a la aplicación de tratamientos SIG para unificar criterios en cuanto:

- **Sistema de referencia Cartográfica**: Teniendo en cuenta que el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España, define que para la referenciación geográfica y cartográfica se utilice el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), en este proyecto se ha determinado que toda la cartografía utilizada y generada sea en dicho sistema de referencia cartográfico, Huso 30 y coordenadas formato UTM. Las fuentes que estaban desactualizadas en ED50 fueron convertidas a ETRS89.
- **Formato**: Con el fin de aprovechar al máximo la resolución de las bases cartográficas de mayor detalle, especialmente el MDT que supondría una pieza clave en la creación del modelo final, se optó por trabajar todo en formato RASTER. Para ello las Bases cartográficas vectoriales se convirtieron a Ráster.
- **Alineación**: Los modelos ráster debían estar perfectamente alineados con el fin de que cada cuadrícula pudiera gestionarse correctamente según los algoritmos aplicados en la calculadora Ráster.
- **Resolución**: Se optó por una resolución para todas las bases cartográficas determinada por el MDT, que era de 2x2 metros.

El análisis previo incluye la unificación de criterios de resolución, calidad de información y descarte de las fuentes que no cumplían los criterios mínimos para ser utilizadas.

Hay que destacar que una de las bases cartográficas utilizadas proviene de una tesis doctoral de la Dra. Miriam Fernández Núñez (University College London) titulada *"Fusion of airbone LiDAR, multiespectral imagery and spatial modelling for understanding saltmarsh response to sea-level rise".*



Fernandez, M. (2014). University College London

Esta tesis de mayo de 2016 elabora un modelo predictivo con el que se valora el efecto de una hipotética subida del nivel del mar en un horizonte de 25-50-75 años, para lo cual realiza un análisis SIG. Su similitud en el análisis de las cotas con el realizado para esta CTMDO, así como los criterios utilizados para la definición de algunas de sus clases, ha propiciado que parte del trabajo ejecutado en esta tesis se haya aprovechado en la elaboración de la CTMDO.

Tras este primer análisis se seleccionan ocho bases cartográficas para la elaboración de la CTMDO:

- Cobertura Vegetación en detalle de la Universidad de Sevilla (US).
- Ocupación de los estratos de vegetación extraída del SIOSE Andalucía 2011 (REDIAM)
- Hábitat de Interés Comunitario de Andalucía, publicación 2016 (REDIAM)
- Límites de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA), Información actualizada (2017) (REDIAM)
- Zonificación Reserva de la Biosfera Marismas del Odiel, Andalucía (2016, REDIAM)
- Modelo Digital del Terreno en el marco del PNOA Vuelo 2016 (REDIAM)
- Modelo de hábitats del Odiel (Fernández, M. PhD (2016))
- Modelo de marismas del Odiel (Fernández, M. PhD (2016)).

Fase II: Definición criterios para las clases

En la marisma mareal las especies vegetales se distribuyen en función de las condiciones ambientales, especialmente el grado de salinidad y régimen de inundación, criterios que se encuentran relacionados directamente con la cota en la que se encuentran. Además, son las especies vegetales las que capturan Carbono y retienen de forma estable en su fase subterránea, con lo que tiene sentido aprovechar la distribución de las especies vegetales para definir las diferentes clases de la CTMDO.

La mayor parte de la calidad del modelo final se basaba por tanto en una buena definición de los criterios que debían cumplir cada una de las clases resultantes. En este sentido se tuvieron en cuenta:

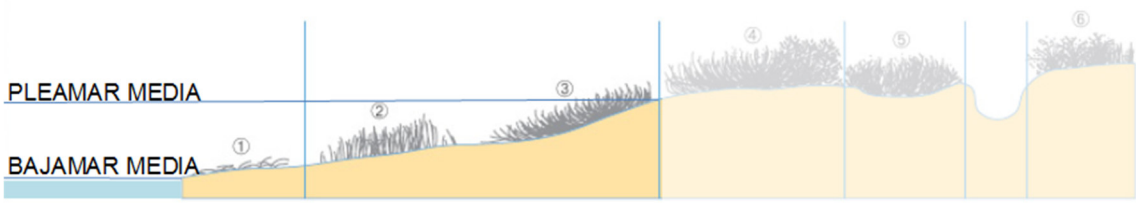
- **Biotopo**: o el espacio físico con unas condiciones ambientales determinadas (suelo, agua, salinidad, etc.). Su descripción es fundamental ya que en gran parte define las condiciones en las que se produce el secuestro de carbono azul.
- **Especies vegetales** que lo conformaban: especialmente porque en ello se determina el secuestro de carbono final que tiene cada una de las clases. Para ellos las especies seleccionadas deberías cumplir:
    - **Especies perennes**: ya que las herbáceas disponen de una baja capacidad de captura de carbono, al disponer de un ciclo muy corto y efímero, no teniendo tiempo para desarrollar un sistema radicular que permita retener una cantidad apreciable y estable de carbono.
    - **Distribución especialista**: Especies con adaptaciones a entornos muy concretos que permitan definir un ecotono con su distribución.
- **Comunidades vegetales**: Al igual que las especies vegetales existe información detallada de comunidades vegetales en forma de estratos vegetales o de Hábitats de Interés Comunitario (en adelante HICs). Esta asociación de una o varias especies vegetales con un tipo de biotopo concreto que se pueda corresponder con una de las clases requeridas en la CTMDO.
- **Cota**: Las bases cartográficas que se utilizaron incluían algunas especies o hábitats que no se ajustaban con precisión a una sola clase (más bien a la intersección entre dos o más), con lo que se requería la aplicación de un criterio físico que permitiera segregar dichos polígonos. Para ello se valoró unos niveles de cota basados en la influencia mareal.

Durante esta fase se realizaron varias reuniones con expertos botánicos y especialistas en ecosistemas de marismas mareales y consulta de bibliografía relacionada, con el fin de establecer los criterios biológicos que permitiesen definir correctamente las cinco clases de la CTMDO.

También se tuvo especial interés en contrastar los criterios con los técnicos del Parque Natural de Bahía de Cádiz que están elaborando la Cartografía Temática de esta marisma mareal. Teniendo en cuenta que los requerimientos y objetivos para este trabajo eran los mismo que para la CTMDO, se hacía indispensable que se aplicaran los mismos criterios en ambos espacios. Para ello se realizó una reunión en el Centro de Visitantes del Parque Natural de Bahía de Cádiz, el 20 de febrero de 2018.

En este escenario los criterios resultantes para las diferentes clases fueron:

- **Marisma Baja (MB)**:
  - **Biotopo**: Parte del terreno que se inunda dos veces al día por acción de la marea. Son suelos desnudos o con vegetación escasa formada por especies que soportan grandes periodos de inundación y un carácter pionero y colonizador
  - **Inundación**: alta por efecto de la marea diaria.
  - **Límites**: Su cota se define entre la bajamar media y la pleamar media.
  - **Vegetación**: Las principales especies son *Zostera noltii, Spartina marítima y Sarcocornia perennis*.
  - **Comunidades vegetales**: El Hábitat de Interés Comunitario (HIC) 1140 es el más característico de esta clase. Se define como "*Llanos fangosos o arenosos que no están cubiertos de agua cuando hay marea baja*".
  - **Cota**: Se sitúa entre los -65 y los 156 cm Sobre el Nivel Medio del Mar en Alicante (SNMMA).

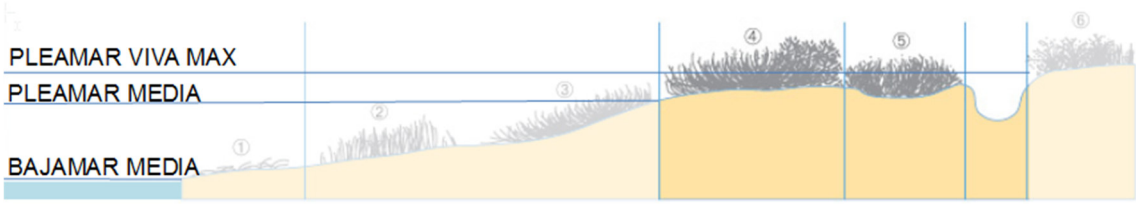


Zostera noltii

Spartina maritima

Sarcocornia perennis

- **Marisma Media (MM):**
  - **Biotopo**: Parte del terreno que se inunda sólo con mareas vivas o en coeficientes mayores a la pleamar media.
  - **Inundación**: media o escasa.
  - **Límites**: Su límite inferior lo marca la pleamar media y el superior el nivel de pleamar viva máxima. Por cota se sitúa entre la Marisma Baja y Marisma Alta.
  - **Vegetación**: formada por matorrales halófitos mediterráneos y termoatlánticos, dominados por *Halimione portulacoides* y *Sarcocornia fruticosa*.
  - **Comunidades vegetales**: El HIC más característico de esta clase es el 1420, definido como *"Matorrales halófitos mediterráneos y termoatlánticos (Sarcocornetea fruticosae)"*.
  - **Cota**: Se sitúa entre los 156 y 205 cm SNMMA.



Halimione portulacoides

Sarcocornia fruticosa

- **Marisma Alta (MA):**
  - **Biotopo**: Parte del terreno que por su altura se prácticamente no se inunda nunca, pero tienen una gran influencia de salinidad. Son terrenos prácticamente estabilizados desde el punto de vista geomorfológico.
  - **Inundación**: Nula.
  - **Límites**: A nivel de cota se consideran terrenos por encima del nivel de la Pleamar Viva Máxima. El nivel superior no está definido con precisión, ya que se asocia más a una transición a especies de interior, más que a una cota determinada. Por tanto, se situaría entre MM en cotas más bajas y zonas de No Marisma (NM).
  - **Vegetación**: Su vegetación está compuesta por especies leñosas adaptada a suelos salinos continentalizados, dominados por *Arthrocnemun macrostachyum, Spartina densiflora* y *Limoniastrum monopetalum*.
  - **Comunidades vegetales**: El Hábitat de Interés Comunitario más característico es el 1320, "*Pastizales de Spartina (Spartinion maritimi)*".
  - **Cota**: Se sitúa entre los 205 y 405 cm aproximadamente.

Arthrocnemun macrostachyum

Spartina densiflora

Limoniastrum monopetalum

Los criterios finales, fueron presentados en la Reunión del Grupo Asesor de Proyectos Carbono Azul, celebrada en Cádiz el 6 y 7 de marzo de 2018.

Fase III: Análisis de mareas.

Con la elaboración de estos criterios para la definición de las clases que se incluyen en la CTMDO, se hacía necesario conocer con precisión las cotas a las que se sitúan los diferentes niveles de marea, ya que la marea con su distribución en la marisma define en gran parte los diferentes biotopos de las especies vegetales de este ecosistema.

Para el análisis se recurrió a las medidas realizadas por el mareógrafo del puerto de Mazagón (Huelva 5), y perteneciente a la RED de MAReógrafos de Puertos del Estado (REDMAR), que dispone de medidas en continuo desde 1997. Las marismas atlánticas como la del Odiel disponen de un régimen mareal semidiurno, con dos bajamares y pleamares diarias, y con una marea viva y muerta al mes relacionada con las diferentes fases de la luna. En este escenario, la serie temporal muestra que hay diferencias diarias de altura de la marea, con lo que había que asumir medias aritméticas calculadas en series temporales largas, para poder describir la influencia mareal sobre el medio.

Para ello, se tomaron la serie temporal 1997-2013, al ser la más actualizada y larga de los datos disponibles. Una serie temporal de 16 años que se asume que ha modelizado en ecosistema con el régimen de inundación aplicado.

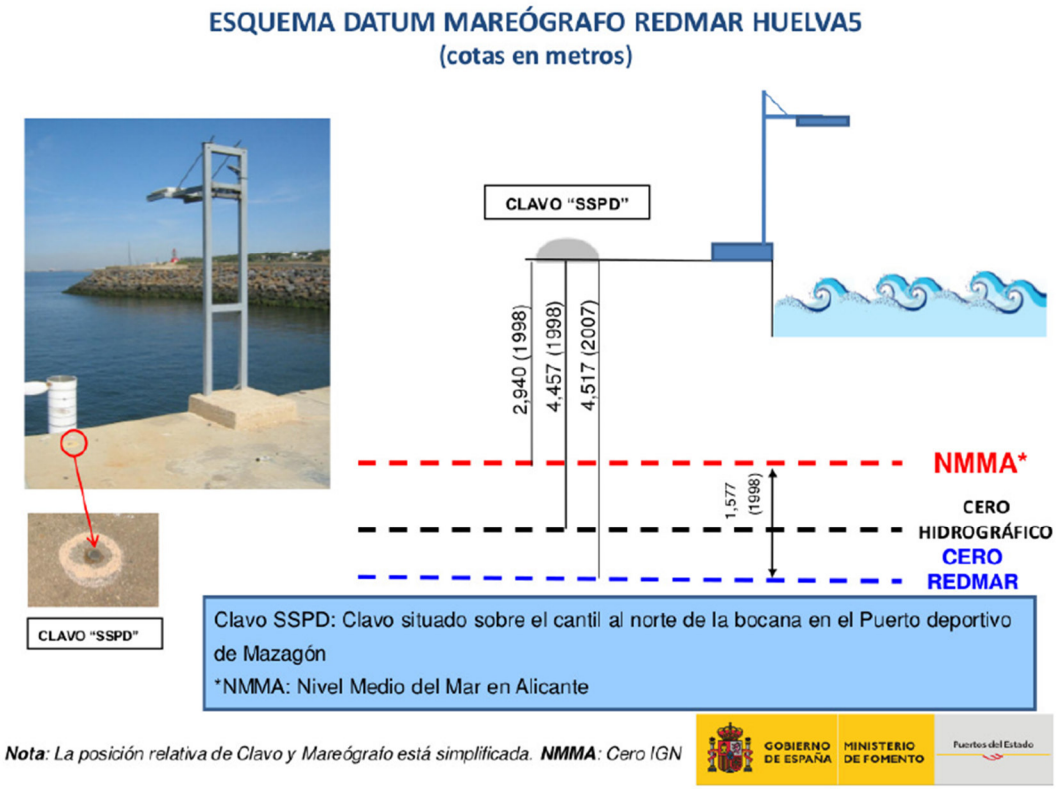
En la siguiente tabla se muestran los estadísticos calculados (en centímetros), en el análisis temporal 1997-2013. Las medidas de la estación muestran tanto las alturas de las mareas astronómicas (generadas por la atracción de la masa de agua por la luna), como la observada (mareas astronómicas más la influencia del viento y descarga fluvial). Todas ellas referenciadas al cero REDMAR, que corresponde a la altura de referencia en el puerto.

	Niveles sobre el cero REDMAR (cm)								**Niveles sobre N.M.S.N.M. (cm)**							
	Observados				**Marea astronómica**				**Observados**				**Marea astronómica**			
	Max	Min	Med	D.E.	Max	Min	Med	D.E.	Max	Min	Med	D.E.	Max	Min	Med	D.E.
Pleamar	427	219	**314**	34	404	227	313	34	269	61	**156**	-124	246	69	155	-124
Bajamar	184	-7	**93**	35	180	7	95	33	26,3	-165	**-65**	-123	22,3	-151	-63	-125
Pleamar viva	427	311	**363**	21	404	320	361	20	269	153	**205**	-137	246	162	203	-138
Bajamar viva	128	-7	47	22	92	7	51	20	-30	-165	-111	-136	-66	-151	-107	-138
Pleamar muerta	330	219	264	17	296	227	263	15	172	61	106	-141	138	69	105	-143
Bajamar muerta	184	92	145	17	180	114	145	14	26,3	-66	-13	-141	22,3	-44	-13	-144

Datos publicados en el Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria. RED de MAReógrafos de Puertos del Estado. Área de Medio Físico. Dirección Técnica. Octubre 2014.

Teniendo en cuenta que las alturas se aplican con la referencia del Modelo Digital del Terreno generado a partir del vuelo fotogramétrico de 2014 dentro del marco del PNOA, y este modelo está en alturas geodésicas (definido por el IGN como el Nivel Medio del Mar en Alicante NMMA), es necesario transformar las alturas de la referencia Cero REDMAR al Geodésico o Nivel Medio sobre el nivel del mar (NMSNM). La diferencia entre ambas referencias es de 157,7 cm.

Los datos utilizados en los análisis cartográficos son los relativos a las Bajamares medias observada (-65 cm), Pleamar media observada (156 cm) y Pleamar viva media observada (205 cm).



Fase IV: Elaboración de cartografía

Una vez definidos las fuentes, los criterios, así como los cálculos de las cotas de marea necesarias para aplicar los criterios se procede al análisis cartográfico.

Para ello se han utilizado software específico para ello como es el ArcMap de ESRI (ver 10.4.1) y el software libre Quatum Gis (QGIS 2.18.3 Las Palmas de G.C). Principalmente se gestionaron las bases cartográficas vectoriales en QGIS mientras que los ráster se modelizaron utilizando ArcMap.

Como análisis previo se homogeneizó y alineó todas las bases cartográficas a un formato ráster de 2x2 metros de resolución y alineado al MDT obtenido del vuelo LIDAR del PNOA. Además, se estandarizar todas las cartografías al sistema de referencia ETRS89, Huso 30N y formato UTM.

El primer paso fue la asignación a las bases cartográficas de HICs y vegetación, de nuevos atributos que permitían establecer la correspondencia con las clases finales del CTMDO.

- **Marisma Baja (MB)**: Asignado a especies o HICs que se corresponden con los criterios definidos como Marisma baja.
- **Marisma Media (MM)**: Asignado a especies o HICs que se corresponden con los criterios definidos como Marisma media.
- **Marisma Alta (MA)**: Asignado a especies o HICs que se corresponden con los criterios definidos como Marisma alta.
- **Mixto**: Asignado a especies o HICs que se pueden corresponder con varias de las clases definidas, y que requieren una segmentación asociada a la cota para asignarla a una clase concreta. En esta categoría había polígonos mixtos MB-MM y MM-MA.
- **No Marisma (NM):** Asignado a especies o HICs que se corresponden con ecosistemas de interior y continentales y, por ende, no marismeño.

- **Playa (PL):** Asignado a especies o HICs que se corresponden con zonas de sustrato arenoso y por tanto no marismeño. No se incluyen en la clase NM, por disponer de especies que podrían fijar Carbono azul, aunque para ello sería necesario realizar una nueva campaña de muestreo que permitiese obtener valores para estos ecotonos.
- **Excluyente (EX):** Zonas con importante influencia antrópica que ha perdido su capacidad de captura de carbono, y que se utilizarán al final del análisis para ajustar el modelo y dotarlo de mayor rigor.

A continuación, se generó un ráster para cada una de las categorías, con el que se disponía de una primera aproximación, aunque se requería un tratamiento específico para la capa Mixta, que permitiera convertirla en las correspondientes clases finales del modelo CTMDO.

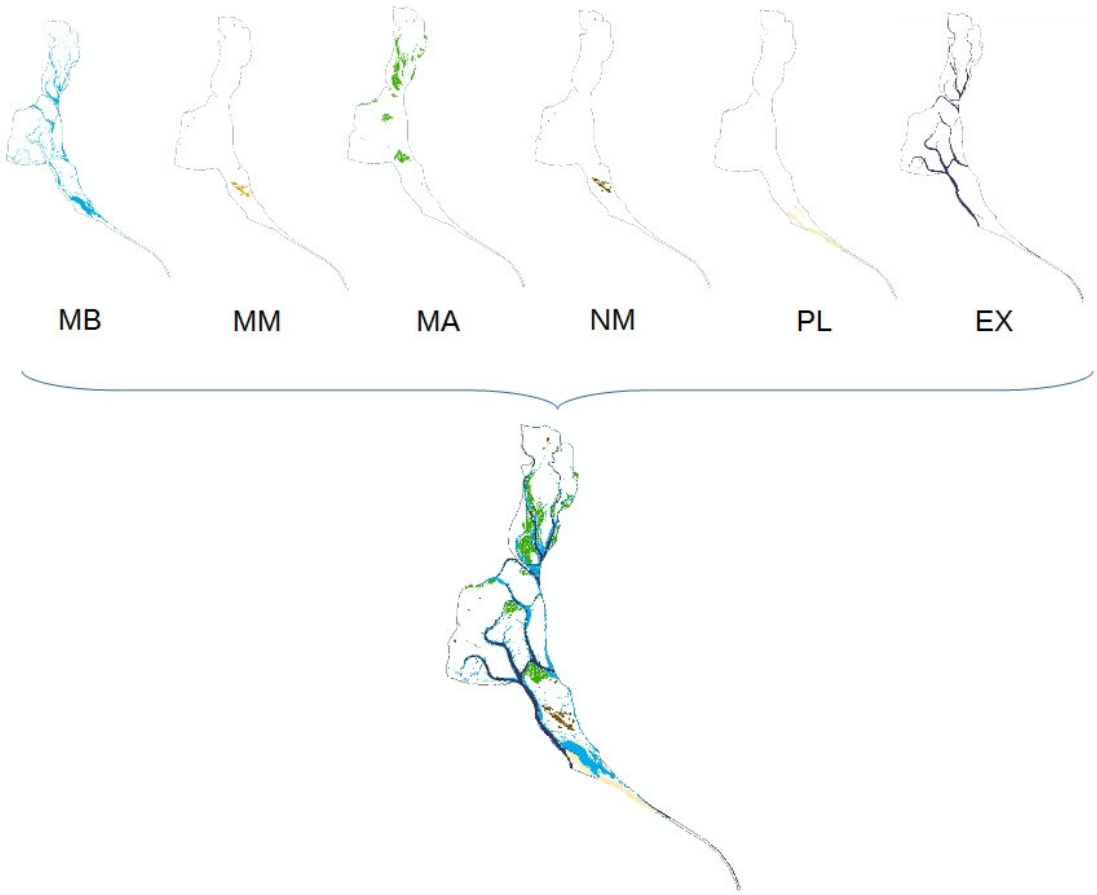


Fig. 1. Capas ráster generadas a partir de la asignación criterios biológicos a las capas de Hábitats de Interés comunitario (HICs) y de cobertura de vegetación. MB: Marisma Baja; MM: Marisma Media; MA: Marisma Alta; NM: No Marisma; PL: Playas; EX: Excluyente.

Estas capas mostraron las superficies definidas sólo por criterios biológicos asociados a especies vegetales o a comunidades vegetales. Se puede observar que con este análisis las zonas mejor representadas son MB y PL. Esto se debe a que son las clases con especies y comunidades mejor definidos y más especialistas.

El resto de clases (MM y MA) se obtienen de especies e HICs más cosmopolitas y requieren continuar el proceso para segmentar por cota las zonas que se ajustan a las clases de la CTMDO.

Ese tratamiento de la capa de clases mixta consistió en la generación de un mosaico ráster a partir de la capa mixta y el MDT en el que sobre las celdas definidas como mixtas, se le asignó el valor de la cota que definía la superposición con el MDT.

A partir de ahí se realiza una reclasificación en base a la altura, según los resultados de la Fase III, con las siguientes clases:

Valor	Clase	Correspondencia con
-64,7 - 156,3	1	MB
156,3 - 205,3	2	MM
205,3 - 405,3	3	MA
405,3 - 1105	4	NM

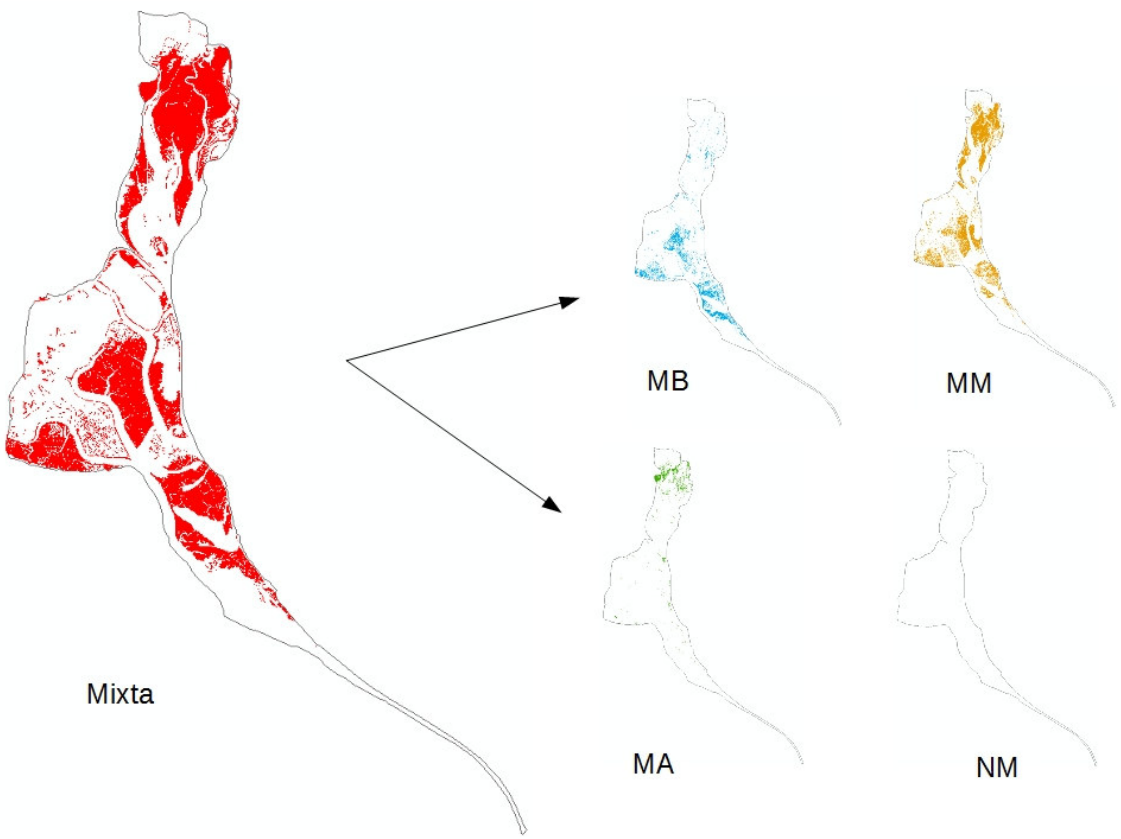


Fig. 2. A partir de la capa Mixta, conformada por HICs y especies cosmopolitas, se aplicaron criterios de cota que dieron como resultado una serie de capas ráster que correspondían con clases del modelo final del CTMDO. MB: Marisma Baja; MM: Marisma Media; MA: Marisma Alta; NM: No Marisma.

Este tratamiento mejoró el grado de definición de la clase MM y MB principalmente, y en menor grado. Este resultado tiene mucho sentido ya que el rango definido para estas dos clases es el que mejor se define en el análisis de mareas, con las cotas de la bajamar media-pleamar media (MB) y pleamar media-pleamar viva máxima (MM).

En contraposición, MA y NM se quedan peor definida tras este tratamiento, ya que la mayor parte de las celdas de la Capa Mixta se situaban en cotas medias y bajas, por lo que el análisis no aportaría mucha superficie con las cotas que tienen estas clases.

Una vez disponibles todas las capas ráster de cada una de las clases, tanto las obtenidas por la aplicación de criterios biológicos, como los obtenidos por criterios mixtos (biológicos más segmentación por cota), se fusionaron en un solo mosaico ráster en el que cada una de las celdas de 2x2 metros disponía de un valor asociado a cada una de las clases.

Valor	Clase	
1	MB	Marisma Baja
2	MM	Marisma Media
3	MA	Marisma Alta
4	NM	No Marisma
5	PL	Playas

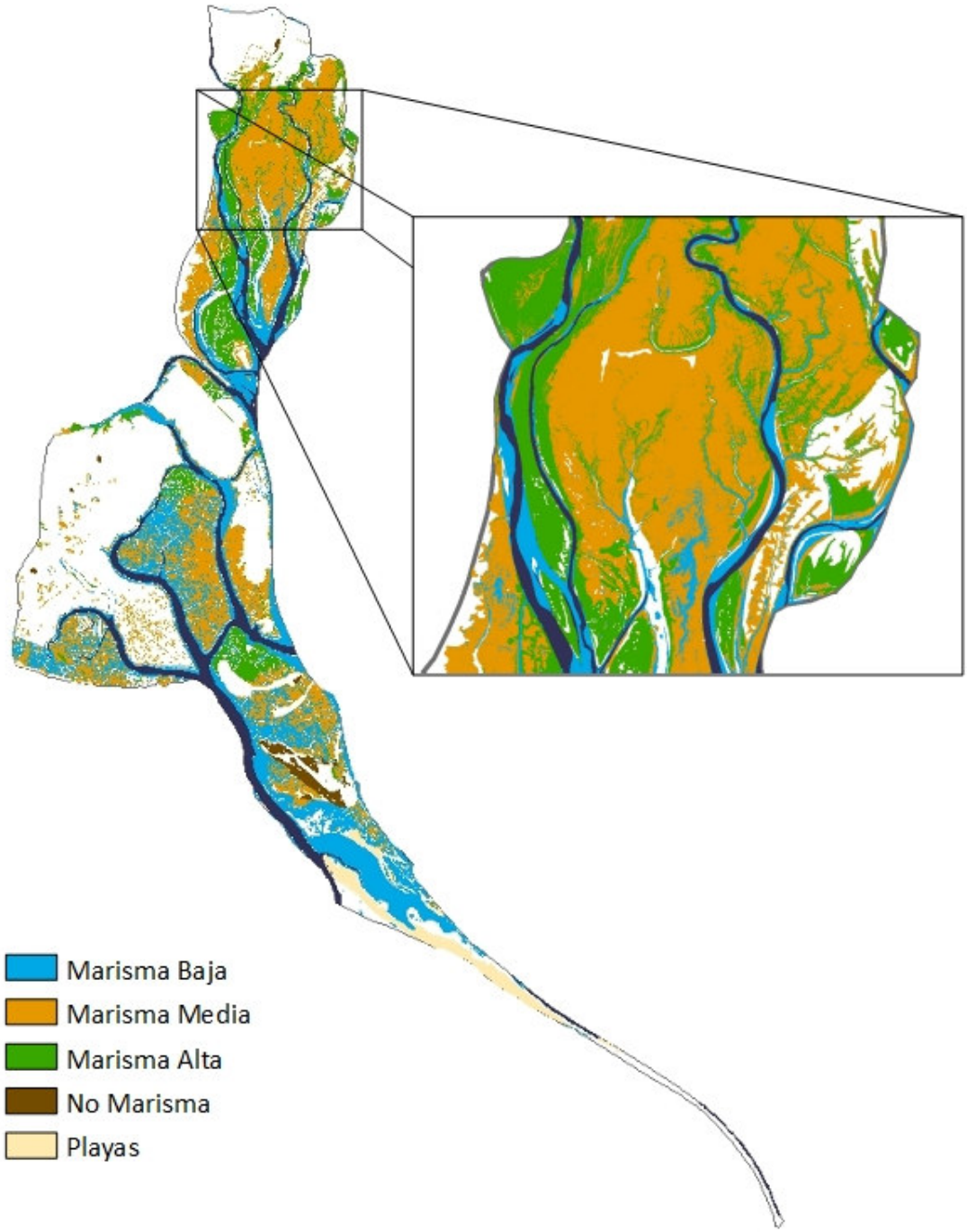


Fig. 3. Capa resultante de fusionar los ráster con criterios exclusivamente biológicos y la capa mixta tratada. Se aprecian poco grado de definición de MA, en la zona de Marisma Norte.

En un análisis de correspondencias con Ortoimágenes en más detalle, de algunas de las zonas de marisma alta, se observa que dispone de menor calidad en la zona de Marisma Norte e isla de Enmedio, con lo que se decide aplicar una corrección en esa zona, con lo que se planteó realizar una corrección al respecto. Teniendo en cuenta que esa zona, la Marisma Alta está definida por el denominado "*Mar de Espartinas*"

o extensión monoespecífica de *Spartina densiflora,* se localizó de las capas de referencia disponibles, la que defina la distribución de esta especie con mayor nivel de detalle. Teniendo en cuenta que esta especie es exclusiva de Marisma Alta, la integración en el modelo asociándolo a MA, permitía dotarlo de mayor precisión, especial en la Marisma Norte donde se habían detectado las deficiencias.

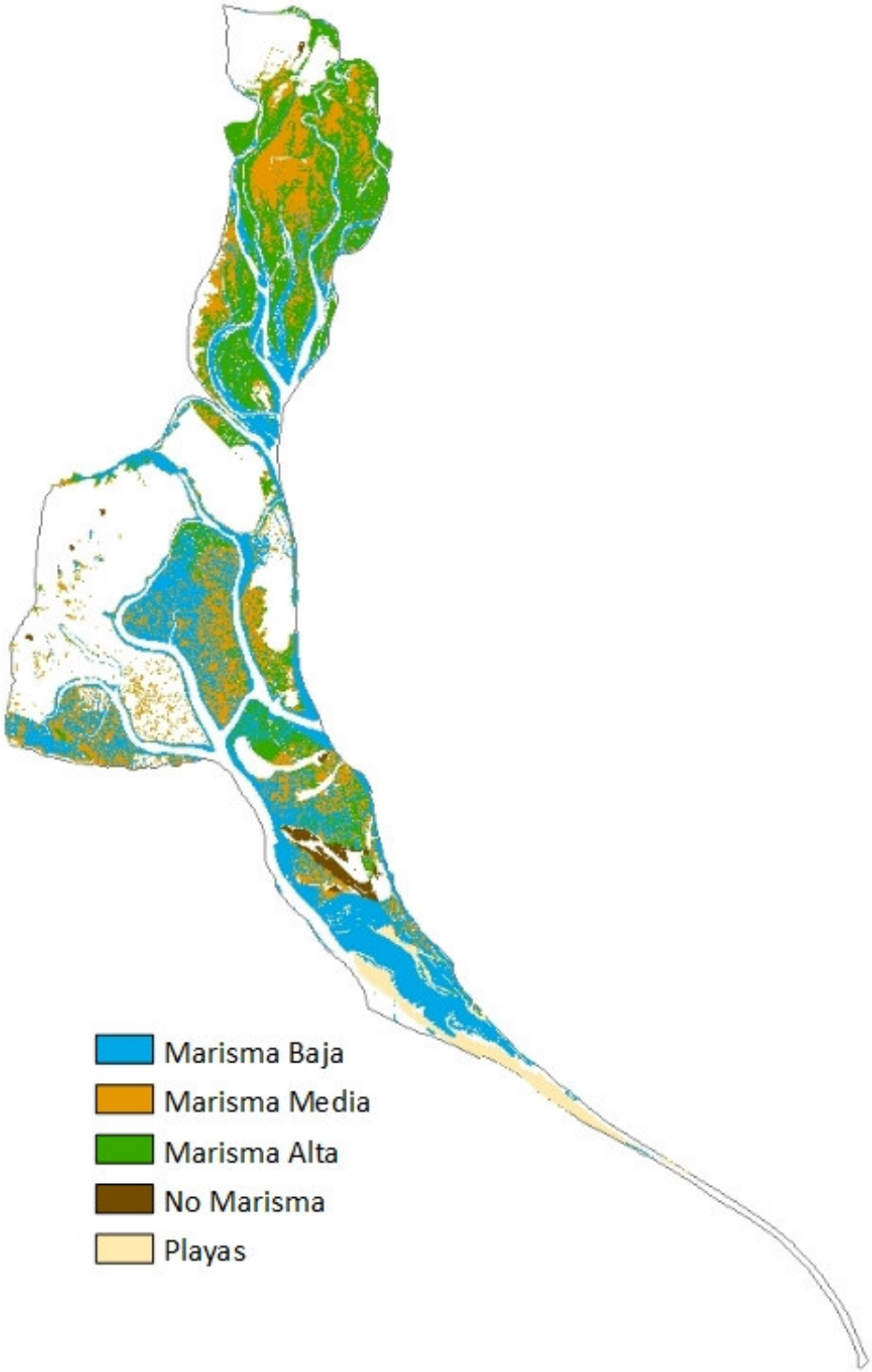


Fig. 4. Capa resultante de fusionar los ráster con criterios exclusivamente biológicos y la capa mixta tratada. Se aprecian poco grado de definición de MA, en la zona de Marisma Norte.

Por tanto, se integra en el modelo siguiendo los criterios establecidos para el resto de capas en cuanto a alineación, resolución y de sistema de referencia cartográfica. De esta manera se obtiene el modelo final de CTMDO con 5 clases (ver fig. 4).

El modelo muestra un gradiente sur-norte relacionado con la transición MB-MM-MA. La zona sur con una dinámica geomorfológica más activa, y situada más próximo al mar y a su influencia, agrupa la mayor parte de la superficie de Marisma Baja. Además, es donde se acumulan los depósitos arenosos que transportan las corrientes marinas y la deriva continental, haciendo que en las zonas más expuestas a mar abierto se agrupen las celdas incluidas en la clase Playas (PL).

En la zona central del paraje, formada por el desarrollo de islas (isla de Saltés, Bacuta, Liebre, Enmedio), se aprecia que las clases se encuentran muy mezcladas entre sí, y con mayor presencia de zonas de marisma baja en la parte occidental y más MM-MA en las zonas más orientales. Una posible explicación es la activación de la geomorfología que aporta el caño de Punta Umbría.

Ya en la zona Norte, se aprecia un paisaje más propio de una marismas senil y alta, en la que predomina la MA y MM, propiciado por la elevación de cota al retener muchos de los sedimentos que aporta el río Odiel en su entrada en el estuario, y por ser la zona más alejada de la salida a mar abierto.

Esta interpretación se puede valorar espacialmente en el anexo cartográfico adjunto a este informe.

Fase V: Cálculo de superficie en detalle

Una vez generado el modelo se procede al cálculo de la superficie ocupada por cada una de las diferentes clases definidas. Para ello el modelo ráster te ofrece una tabla con el número de celdas que se incluyen en cada clase. Teniendo en cuenta que el modelo generado tiene una resolución de 2x2 metros, el cálculo de superficie se realiza multiplicando el número de celdas obtenido por 4m^2 cada una. El resultado final se muestra en la siguiente tabla.

Valor		Clase	Nº celdas	Superficie (ha)	%
1	MB	Marisma Baja	3.753.708	1.501,48	39,46 %
2	MM	Marisma Media	2.572.994	1.029,20	27,05 %
3	MA	Marisma Alta	2.613.696	1.045,48	27,47 %
4	NM	No Marisma	173.348	69,34	1,82 %
5	PL	Playas	399.799	159,92	4,20 %
Total			9.513.545	3.805,42	100 %

El modelo clasifica un total de 3.736,08 hectáreas de marismas y playas del total de las 7.815 has que tiene el paraje. Esta diferencia se debe a que el modelo no contempla ni las salinas industriales (1.100 has), ni la zona de monte mediterráneo, ni los caños inundados permanentemente ni las infraestructuras antrópicas (carreteras, edificaciones, espigón, etc.…).

De la zona de marisma (3.576.16 ha), la que ocupa más superficie en el modelo es la Marisma Baja (39,46 %) seguido de Marisma Alta (27,47%) y la Marisma Media (27,05 %).

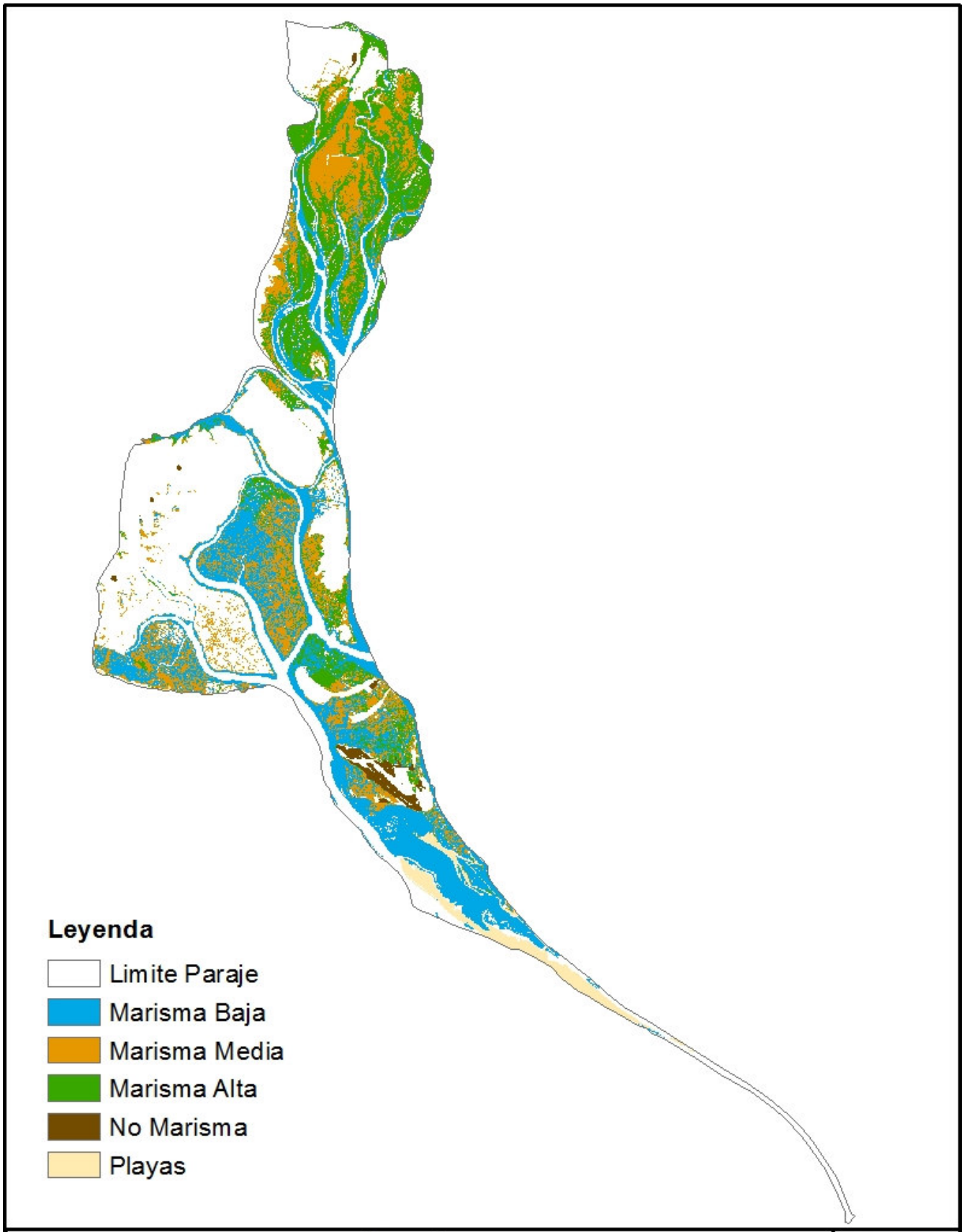
Fase VI: Nuevos resultados esperados

Una vez obtenida la CTMDO se plantean las siguientes acciones complementarias:

- Realizar comprobaciones de campo que permitan contrastar los resultados obtenidos.
- Detectar Zonas de Oportunidad, que permitan realizar proyectos de restauración que mejoren la captura de carbono en la Marisma.
- Integrar nuevas clases, como la de distribución de la especie *Zostera noltii*, por su importancia en la captura de Carbono azul en el sistema marismeño.

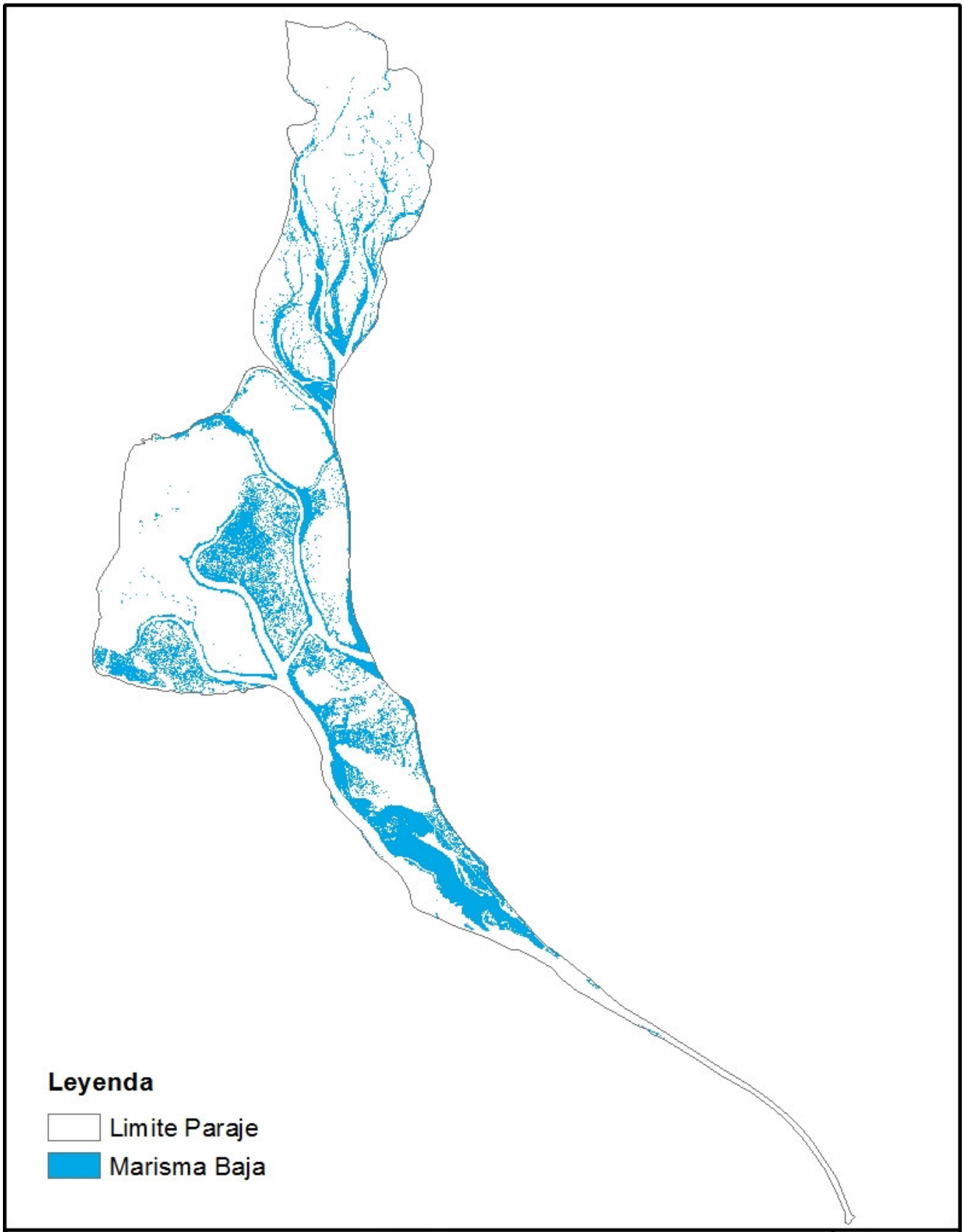
Estos análisis requieren un procesamiento y campaña de campo, que se realizarán en los próximos meses y se presentarán en el siguiente informe de progreso.

ANEXO CARTOGRÁFICO



CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIEL
Mapa completo (5 clases)

Autor:	Escala :	Fecha :	Nº Plano :
Jesús Chaves Posadillo Agencia Medio Ambiente y Agua	1/100.000	Abril de 2018	1



CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIEL
Marisma Baja

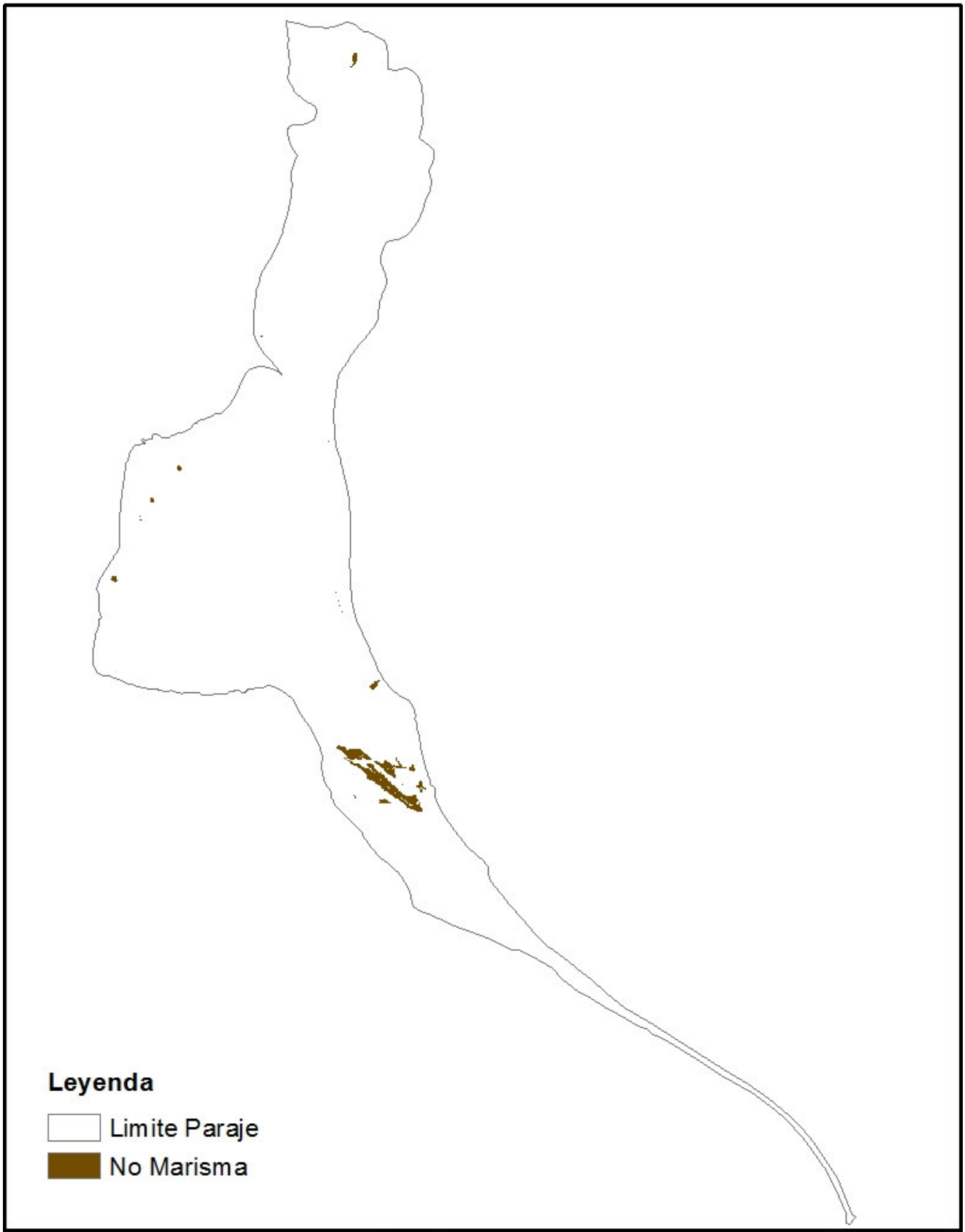
Autor:	Escala :	Fecha :	Nº Plano :
Jesús Chaves Posadillo Agencia Medio Ambiente y Agua	1/100.000	Abril de 2018	2

CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIEL
Marisma Media

Autor:	Escala :	Fecha :	Nº Plano :
Jesús Chaves Posadillo Agencia Medio Ambiente y Agua	1/100.000	Abril de 2018	3

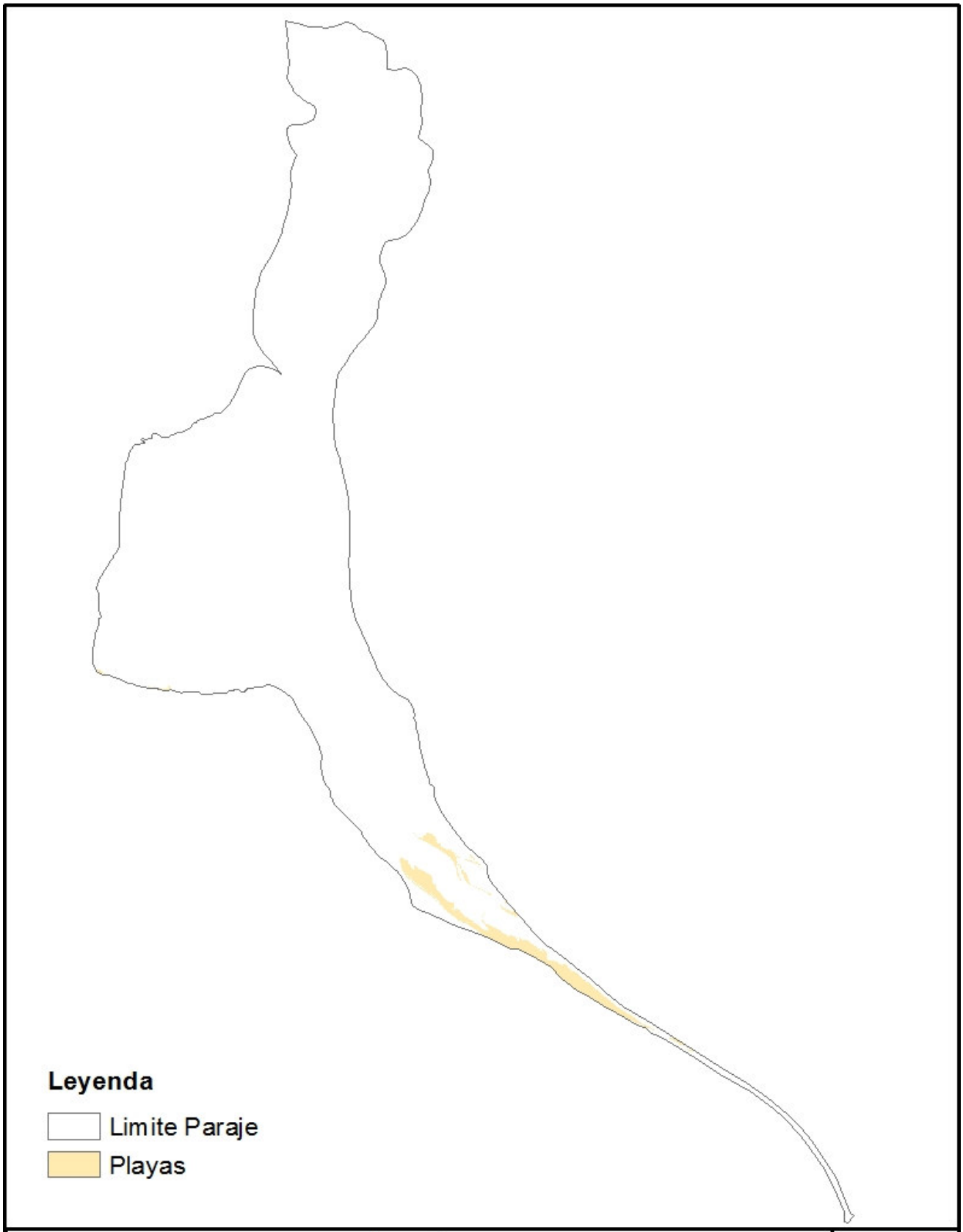
CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIEL
Marisma Alta

Autor:	Escala :	Fecha :	Nº Plano :
Jesús Chaves Posadillo Agencia Medio Ambiente y Agua	1/100.000	Abril de 2018	4



CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIEL
No Marisma

Autor:	Escala :	Fecha :	Nº Plano :
Jesús Chaves Posadillo Agencia Medio Ambiente y Agua	1/100.000	Abril de 2018	5



CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE MARISMAS DEL ODIE
Playa

Autor:	Escala :	Fecha :	Nº Plano :
Jesús Chaves Posadillo Agencia Medio Ambiente y Agua	1/100.000	Abril de 2018	6