

## ANEJO Nº3. DINÁMICA LITORAL



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	5
2.	ANÁLISIS FOTOGRAMÉTRICO. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA .....	6
3.	SEDIMENTOLOGÍA .....	27
3.1.	INTRODUCCIÓN .....	27
3.2.	MUESTRAS .....	27
4.	CLIMA MARÍTIMO .....	48
4.1.	INTRODUCCIÓN .....	48
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL OLEAJE .....	48
4.3.	DESCRIPCIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO .....	48
4.3.1.	Caracterización media del oleaje .....	49
4.3.2.	Caracterización extremal del oleaje .....	52
4.4.	NIVEL DEL MAR .....	57
4.4.1.	Datos REDMAR .....	58
4.4.2.	Niveles de referencia .....	58
4.4.3.	Variaciones del nivel del mar .....	59
5.	PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	65
5.1.	OBJETO .....	65
5.2.	DATOS EMPLEADOS .....	65
5.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS .....	66
5.4.	PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	67
5.4.1.	Propagación del oleaje a d=15 metros .....	67
5.4.2.	Propagación del oleaje a d=3 metros .....	69
6.	CORRIENTES .....	73
6.1.	OBJETO .....	73
6.2.	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO .....	73
6.3.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	76
7.	TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL .....	87
7.1.	OBJETO .....	87
7.2.	CÁLCULO DEL TRANSPORTE SÓLIDO .....	87
7.3.	RESULTADOS MOPLA .....	88
8.	CONCLUSIONES .....	94
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	94



## 1. INTRODUCCIÓN

El mar está sometido a una serie de transformaciones de carácter dinámico directas o indirectas producidas por los agentes climáticos. Con la base del *Anejo 2. Estudios* previos, donde se desarrolla las características del viento en la zona estudiada, en el presente documento se estudian el oleaje y las corrientes asociadas. Esto será la base para argumentar las soluciones aportadas y la elección de la óptima, junto con otros criterios que se desarrollarán más adelante.

Se redacta el presente Estudio de Dinámica Litoral, en cumplimiento del artículo 91 y 93 del Real Decreto 876/2.014 de 10 octubre por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.

Se estudiará el clima marítimo en la costa de Sueca, más concretamente en la playa del Perelló. Para realizar un cálculo lo más aproximado del oleaje, y por consiguiente de las corrientes y del transporte de sedimentos, se caracterizará el oleaje de régimen medio en aguas profundas y a la profundidad de 3 metros.

## 2. ANÁLISIS FOTOGRAMÉTRICO. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

La costa es una frontera en constante cambio debido a la interacción de diferentes procesos naturales marítimos, terrestres y atmosféricos que arman al litoral de un gran dinamismo.

Para el estudio de la evolución del tramo de costa de la playa del Perelló, se hace uso de las fotos de los vuelos históricos proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional mediante el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Además, se complementará con imágenes aéreas históricas del Google Earth.

En el año 1968 se construyó el Puerto del Perelló, una obra que desde la fecha repercute intensamente en la regresión sufrida por la costa ya que es residual el aporte de sedimentos provenientes de la Albufera. También, las constantes ampliaciones del Puerto de Valencia, han provocado una disminución del transporte sólido litoral.

Con anterioridad a esta fecha, se observaba una tendencia al avance de la línea costa. Esto se debe a dos razones:

- Giro en la orientación de la normal a la playa en unos grados, hacia el norte. Esto produce un cambio en la capacidad de transporte y resulta en una mayor diferencia en el caudal entrante que en el saliente.
- Las salidas de la Albufera, la gola del Perellonet y del Perelló, producen un aporte sedimentos a la corriente litoral.

Una vez construido el Puerto del Perelló, analizando la evolución de la costa, se puede apreciar una acumulación de sedimentos justo al sur del puerto de unos 140 m de longitud seguida de una regresión de la costa que se extiende aproximadamente 950 metros.

Seguidamente, en el periodo transcurrido entre los años 1973 y 1991, se observa una tendencia estable. Durante la década siguiente, se observa un avance de la línea de la costa que puede estar ocasionado por las actuaciones realizadas en la zona, las cuales se trataba de aportaciones de arena.

Por último, del 2003 hasta la actualidad se observan los efectos, de forma mas evidente, del cambio climático. Donde cada vez, los efectos de los temporales son más agresivos.

El dique del Perelló no forma una barrera total, sino parcial al transporte litoral. Debido a esto, sino se draga y trasvasa arena del norte al sur puede dar lugar a la formación de un pequeño cabo.

A continuación, se muestran algunas de las imágenes realizadas por estos vuelos entre 1956 y 2018. Así, analizar de forma visual la evolución de la línea de costa a lo largo de los años. A partir de la superposición de las líneas de costa se puede apreciar, de forma visual, la evolución desde antes de la construcción del puerto hasta la actualidad.



*Figura 1. Línea de costa, año 1956. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)*



*Figura 2. Línea de costa, año 1975. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)*

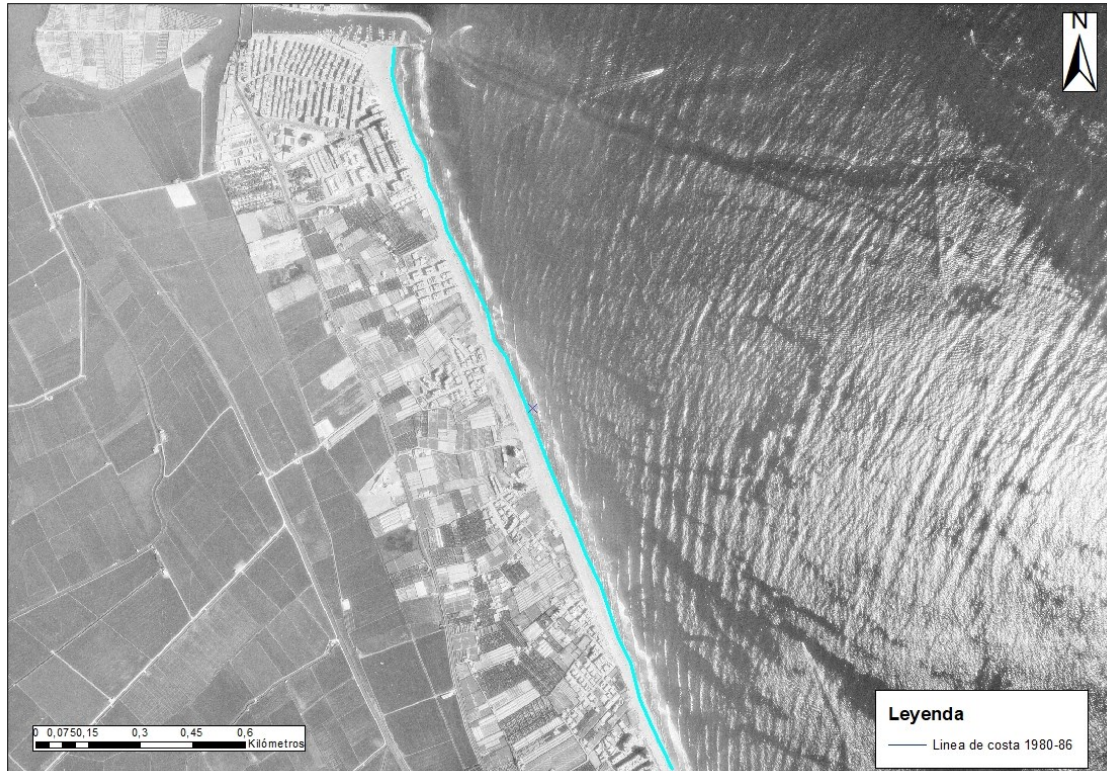


Figura 3. Línea de costa, año 1983. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 4. Línea de costa, año 2001. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 5. Línea de costa, año 2006. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 6. Línea de costa, año 2008. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 7. Línea de costa, año 2010. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 8. Línea de costa, año 2012. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 9. Línea de costa, año 2015. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 10. Línea de costa, año 2018. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)



Figura 11. Líneas de costa. Fuente: IGME-Ortofotos PNOA (tratadas con ArcGIS)

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

A continuación, se mostrarán capturas realizadas en Google Earth donde se pueden apreciar las variaciones más extremas de la línea de costa del Perelló. Estas variaciones pueden ser debidas a temporales o aportaciones realizadas.



*Figura 12. Costa del Perelló Agosto 2003. Fuente: Google Earth*



Figura 13. Costa del Perelló Enero 2004. Fuente: Google Earth



*Figura 14. Costa del Perelló Noviembre 2004. Fuente: Google Earth*



*Figura 15. Costa del Perelló Julio 2005. Fuente: Google Earth*

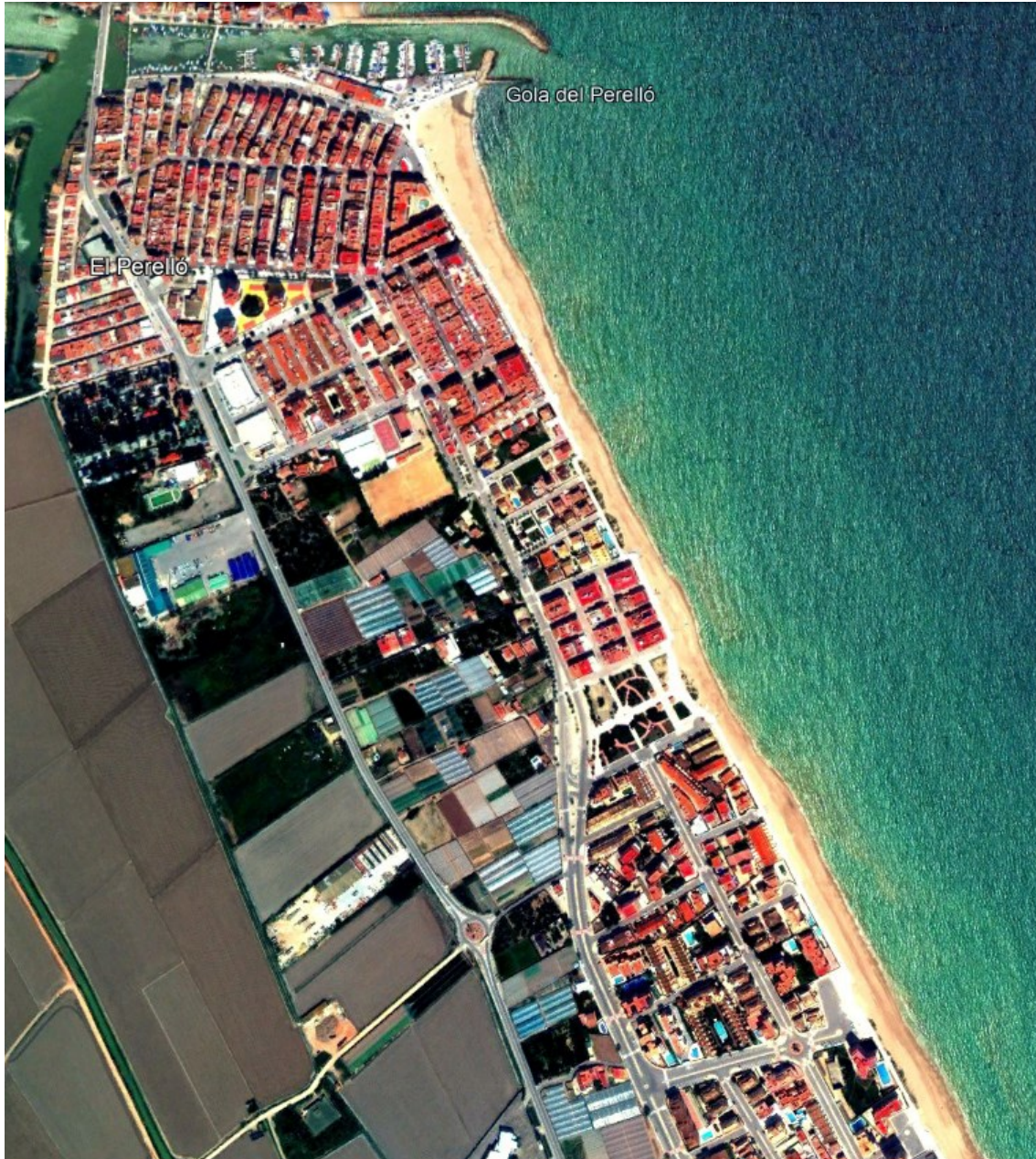
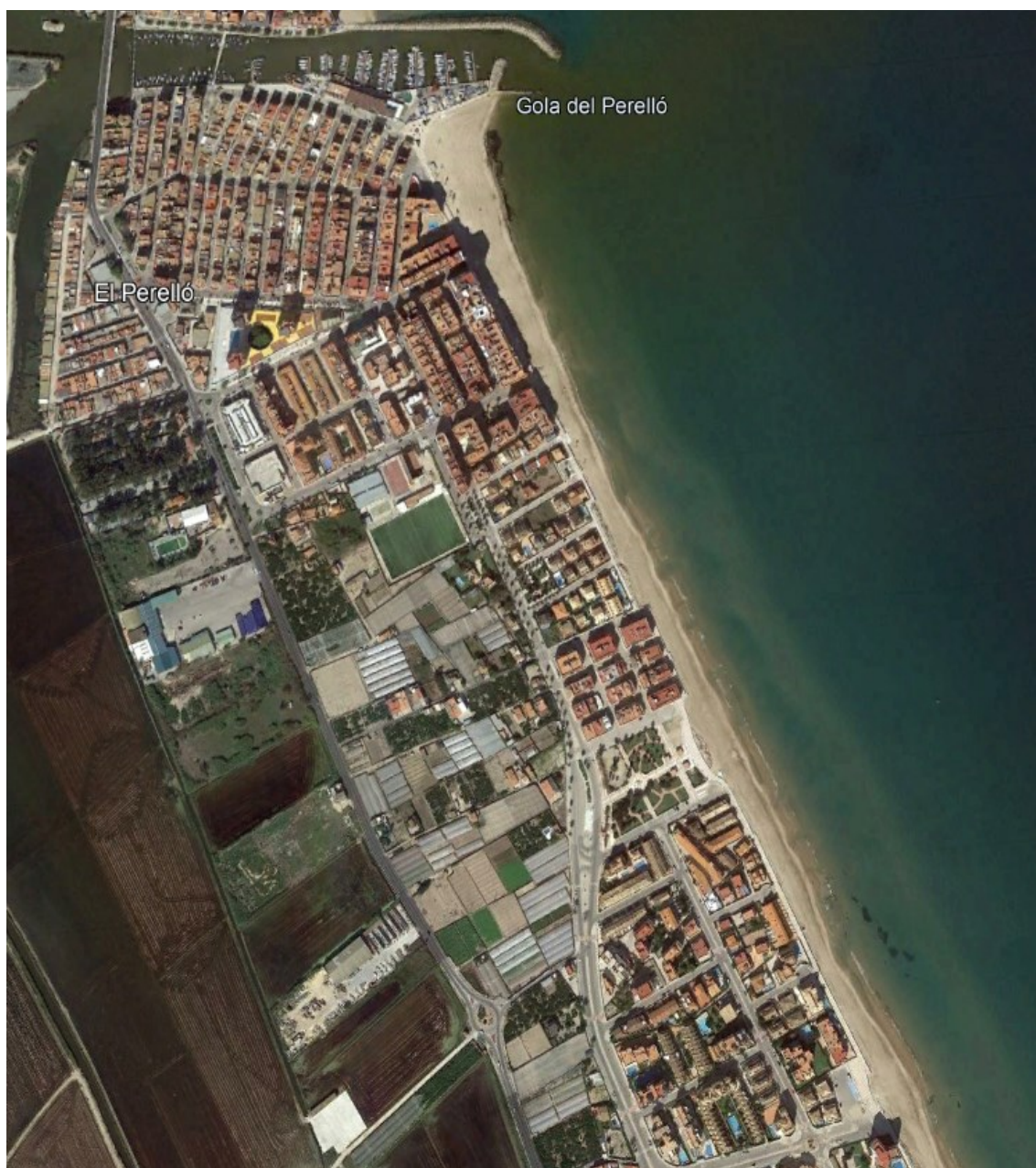


Figura 16. Costa del Perelló Abril 2010. Fuente: Google Earth



*Figura 17. Costa del Perelló Septiembre 2011. Fuente: Google Earth*



*Figura 18. Costa del Perelló Octubre 2012. Fuente: Google Earth*



*Figura 19. Costa del Perelló Julio 2014. Fuente: Google Earth*



*Figura 20. Costa del Perelló Julio 2016. Fuente: Google Earth*



*Figura 21. Costa del Perelló Marzo 2017. Fuente: Google Earth*



Figura 22. Costa del Perelló Mayo 2019. Fuente: Google Earth



*Figura 23. Costa del Perelló Marzo 2020. Fuente: Google Earth*



Figura 24. Costa del Perelló Marzo 2021. Fuente: Google Earth



*Figura 25. Costa del Perelló Abril 2023. Fuente: Google Earth*

### 3. SEDIMENTOLOGÍA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la granulometría de la zona es fundamental para describir diferentes características del sedimento. Esto será clave para el transporte y deposición del material granular.

Este apartado se ha redactado a partir de un estudio eco-cartográfico de la costa valenciana, teniendo como objetivo describir la sedimentología de la zona de estudio.

A partir de una serie de muestras a lo largo del litoral y su análisis, se ha recopilado información sobre su distribución granulométrica mediante los tamices ASTM.

Wentworth (1922)	Clasificación de la ASTM	Tamaño (mm)	Tamaño (phi)	U.S. Std. Sieve
Grava	Arena gruesa	> 2	< -1,00	< 10
Arenas muy gruesas	Arenas medias	2 – 1	0,00	10 – 40
Arenas gruesas		1 – 0,71	0,50	
Arenas medias		0,71 – 0,5	1,00	
Arenas finas		0,5 – 0,355	1,50	
Arenas muy finas	Arena fina	0,355 – 0,25	2,00	40 – 200
Limo grueso		0,25 – 0,125	3,00	
		0,125 – 0,074	3,74	
	Finos	< 0,074	> 3,74	> 200

Figura 26. Clasificación de suelos. Diapositivas asignatura Geotecnia y Cimientos (ETSICCP)

Cabe destacar que las muestras se han tomado tanto en la playa seca como en la playa sumergida, a profundidades de hasta 40 metros.

#### 3.2. MUESTRAS

A continuación, se mostrarán una serie de análisis granulométricos de la costa a estudiar y alrededores aportadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) para el “Estudio Cartográfico de las provincias de Alicante y Valencia” del año 2006. Esto será clave para conocer la granulometría de la zona y si es necesario realizar un aporte de arenas, saber qué arenas son las adecuadas.

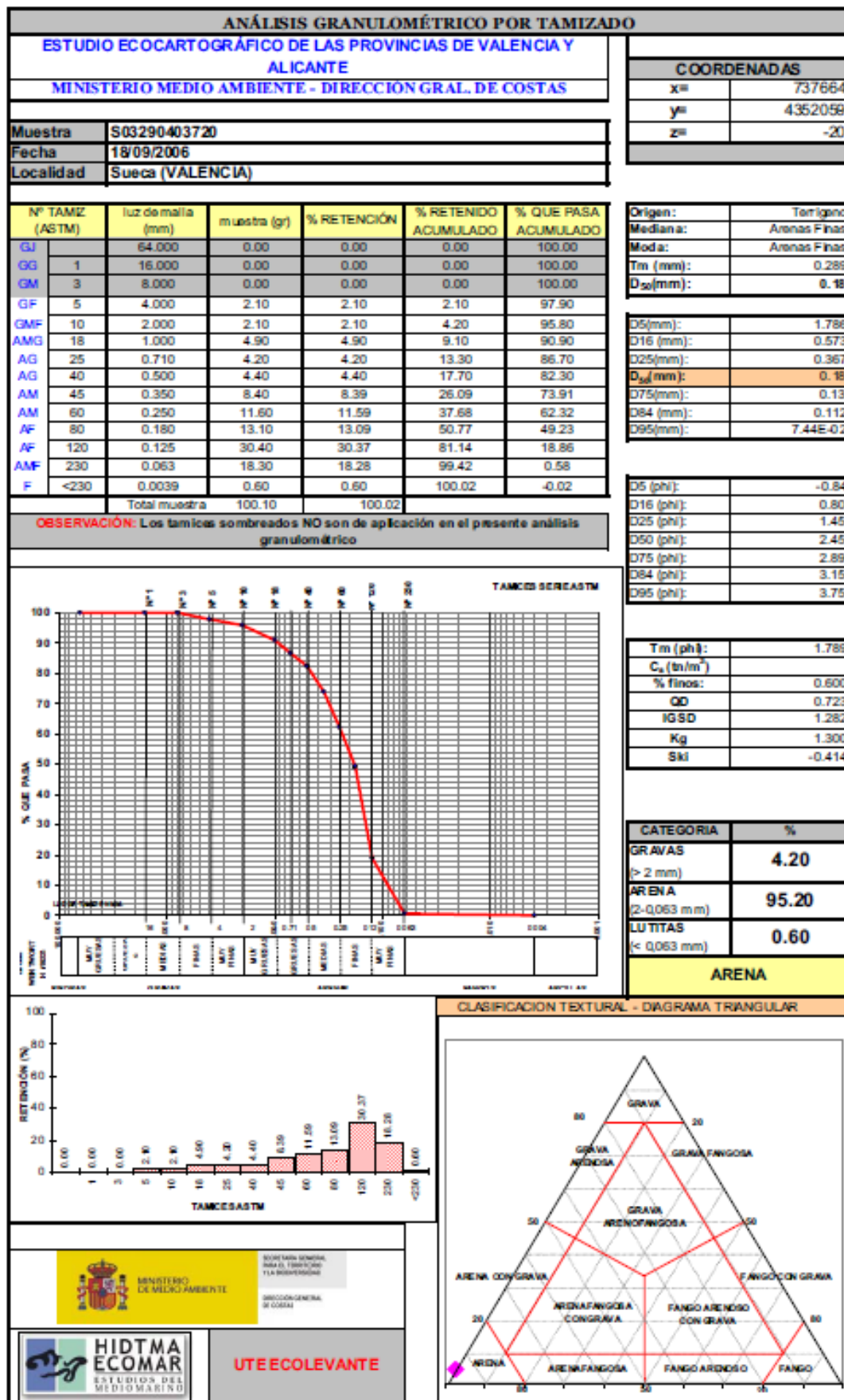


Figura 27. Análisis granulométrico S03290403720. Fuente: MITECO

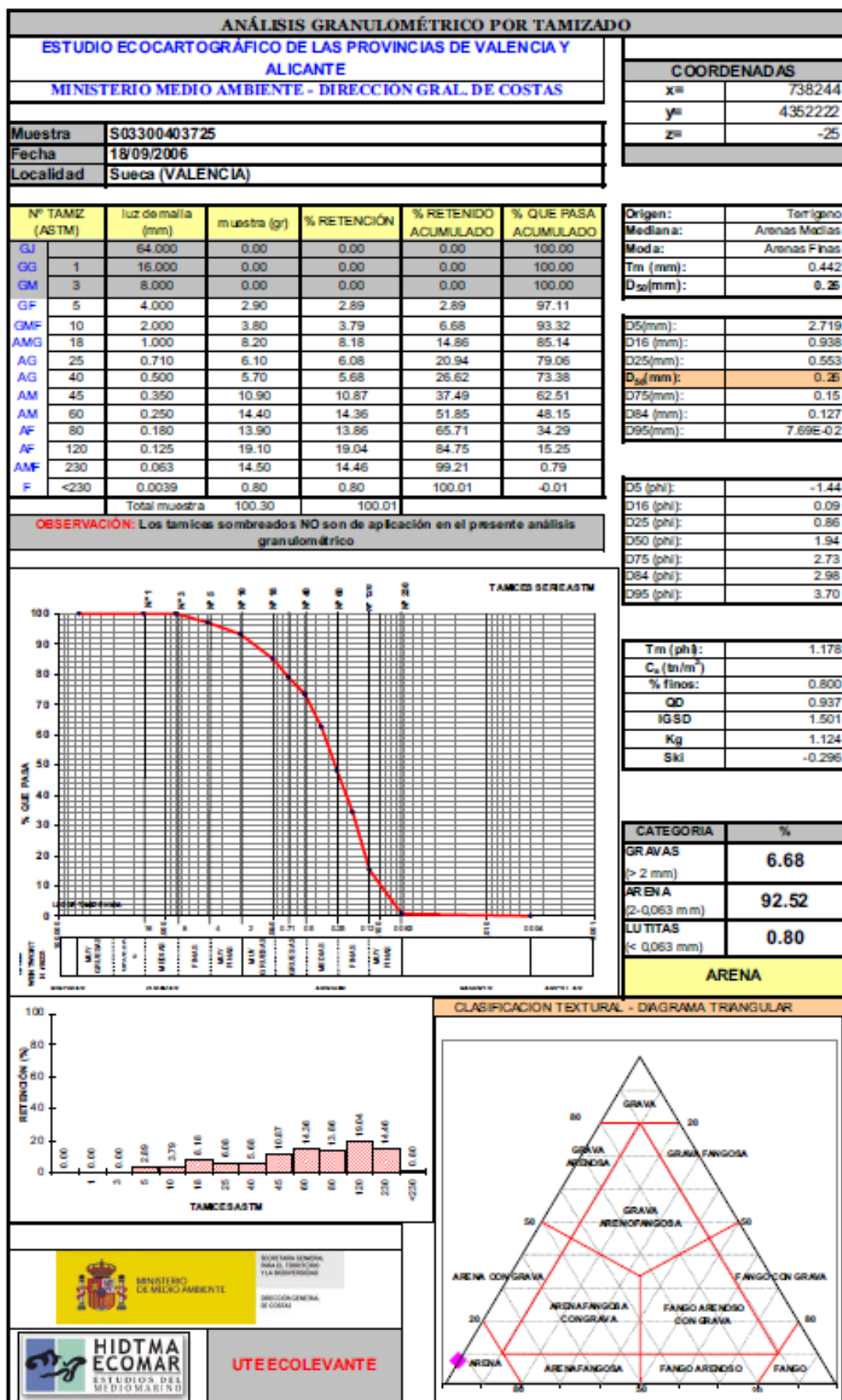


Figura 28. Análisis granulométrico S03300403725. Fuente: MITECO

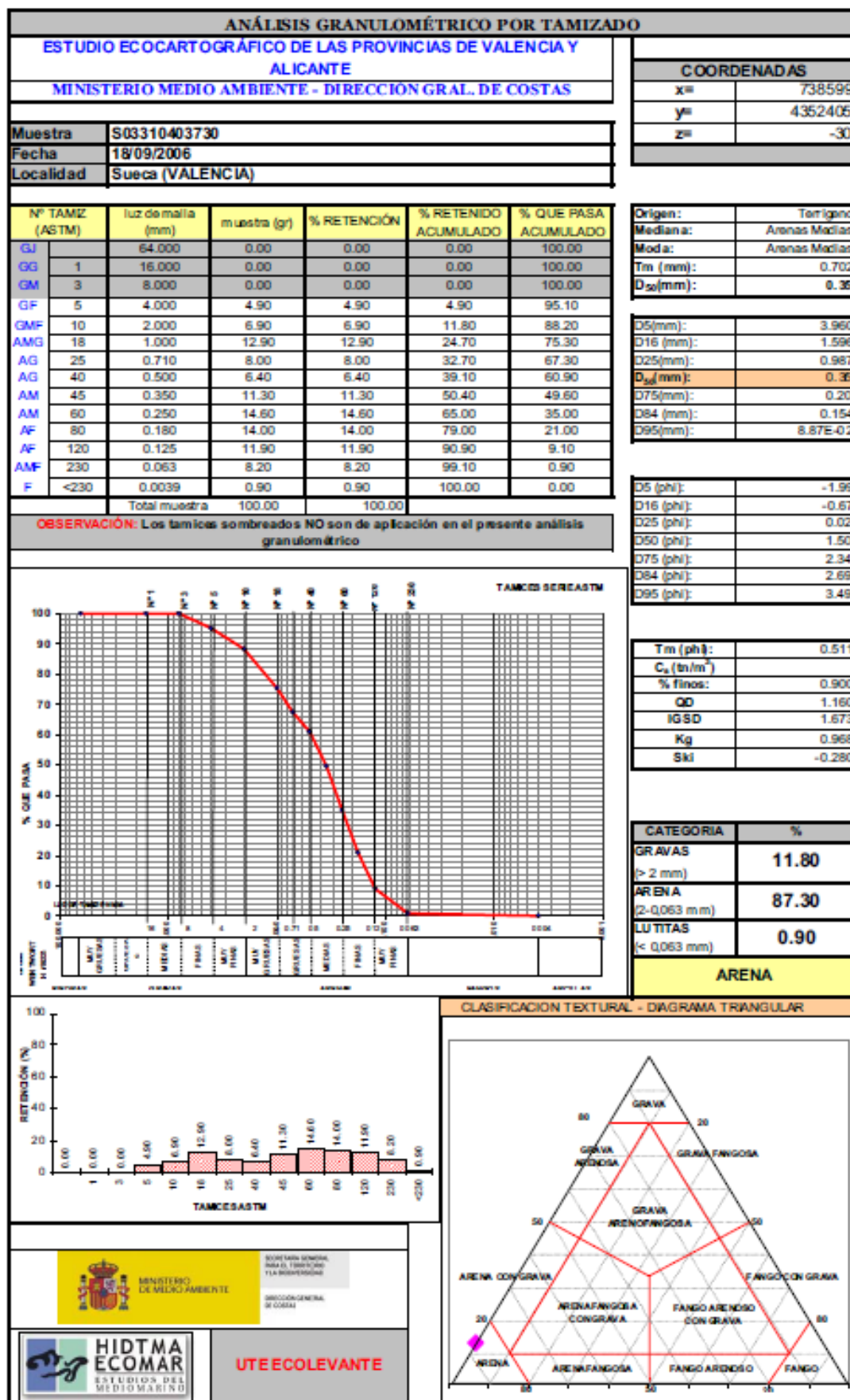


Figura 29. Análisis granulométrico S03310403730. Fuente: MITECO

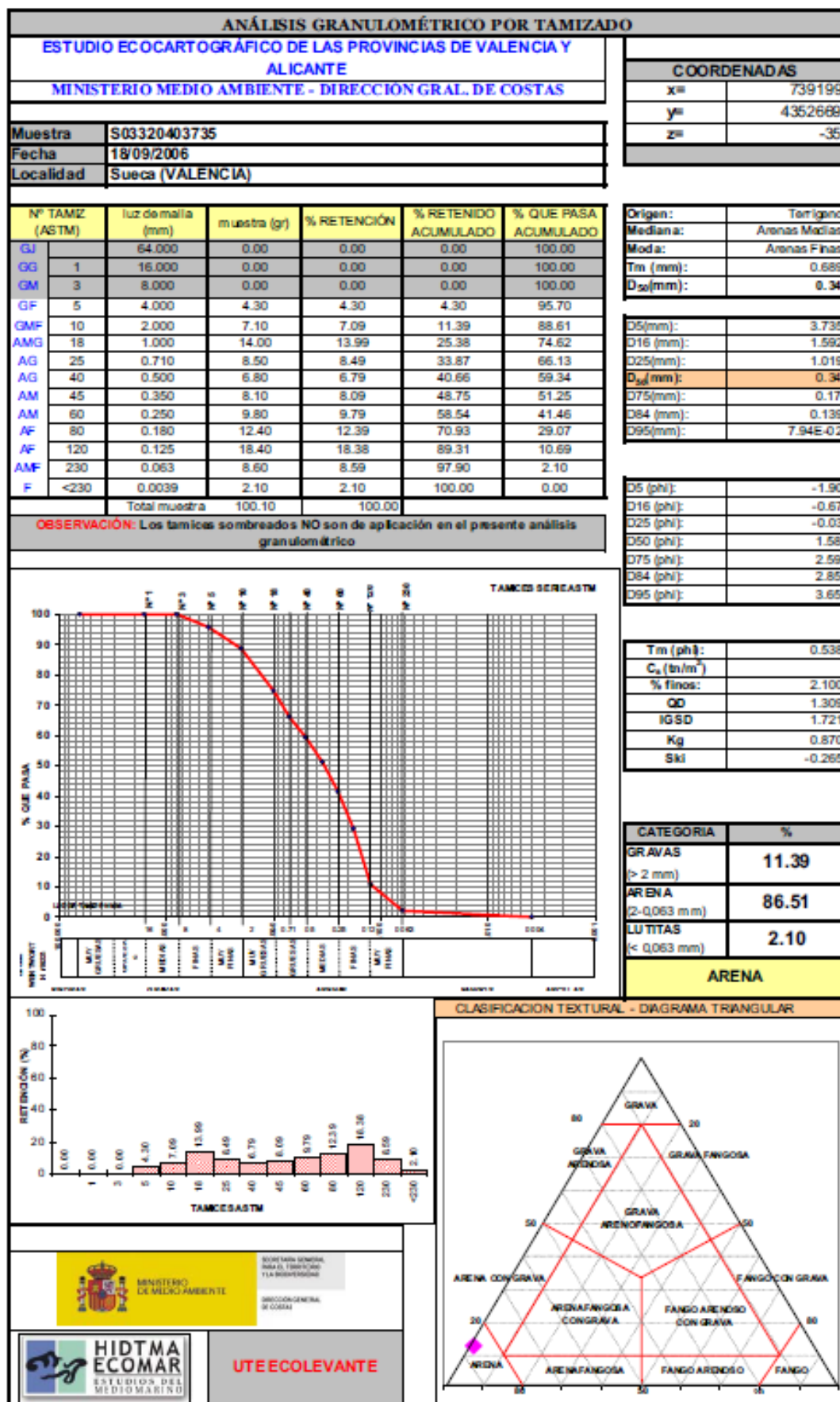


Figura 30. Análisis granulométrico S03320403735. Fuente: MITECO

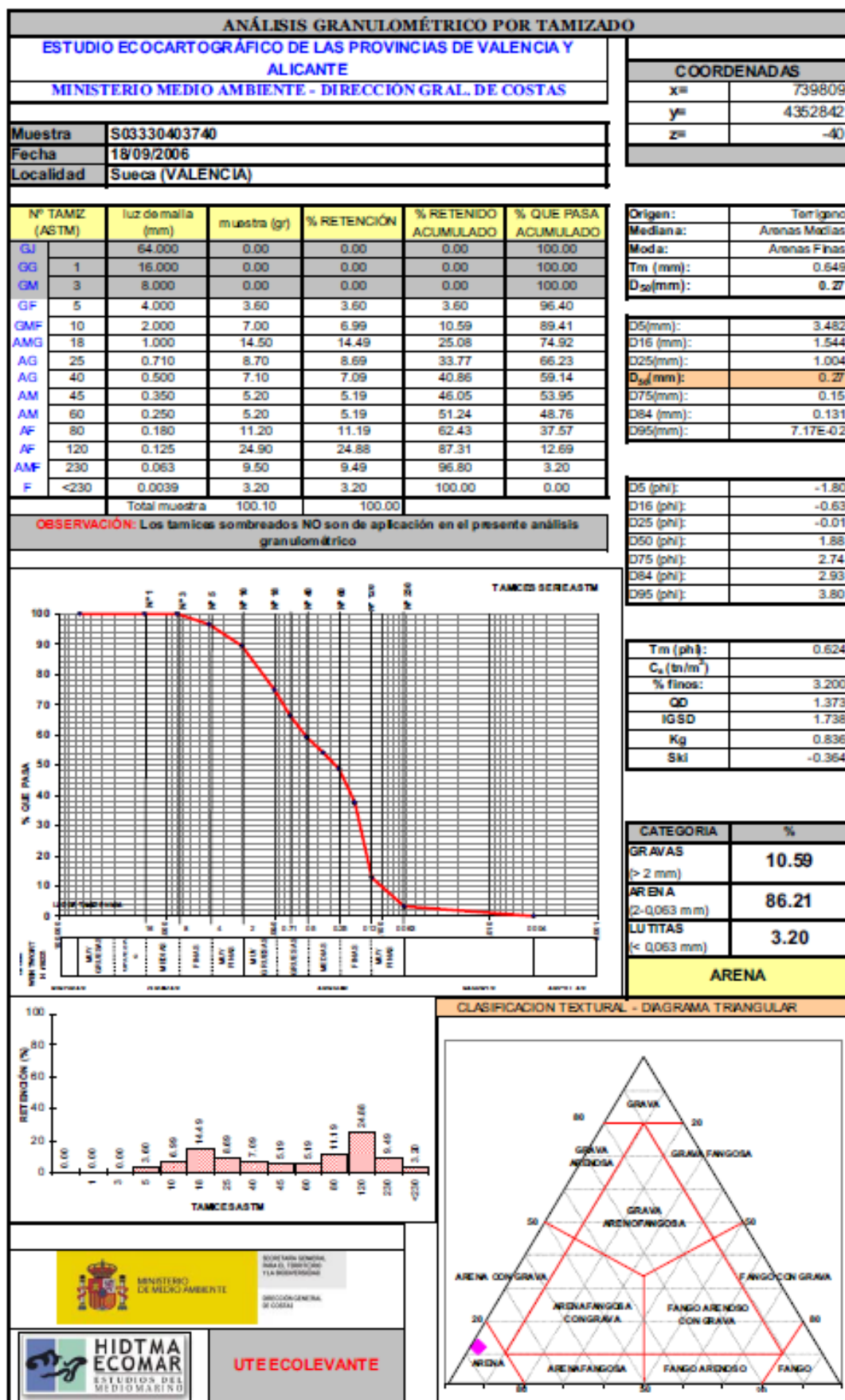


Figura 31. Análisis granulométrico S03330403740. Fuente: MITECO

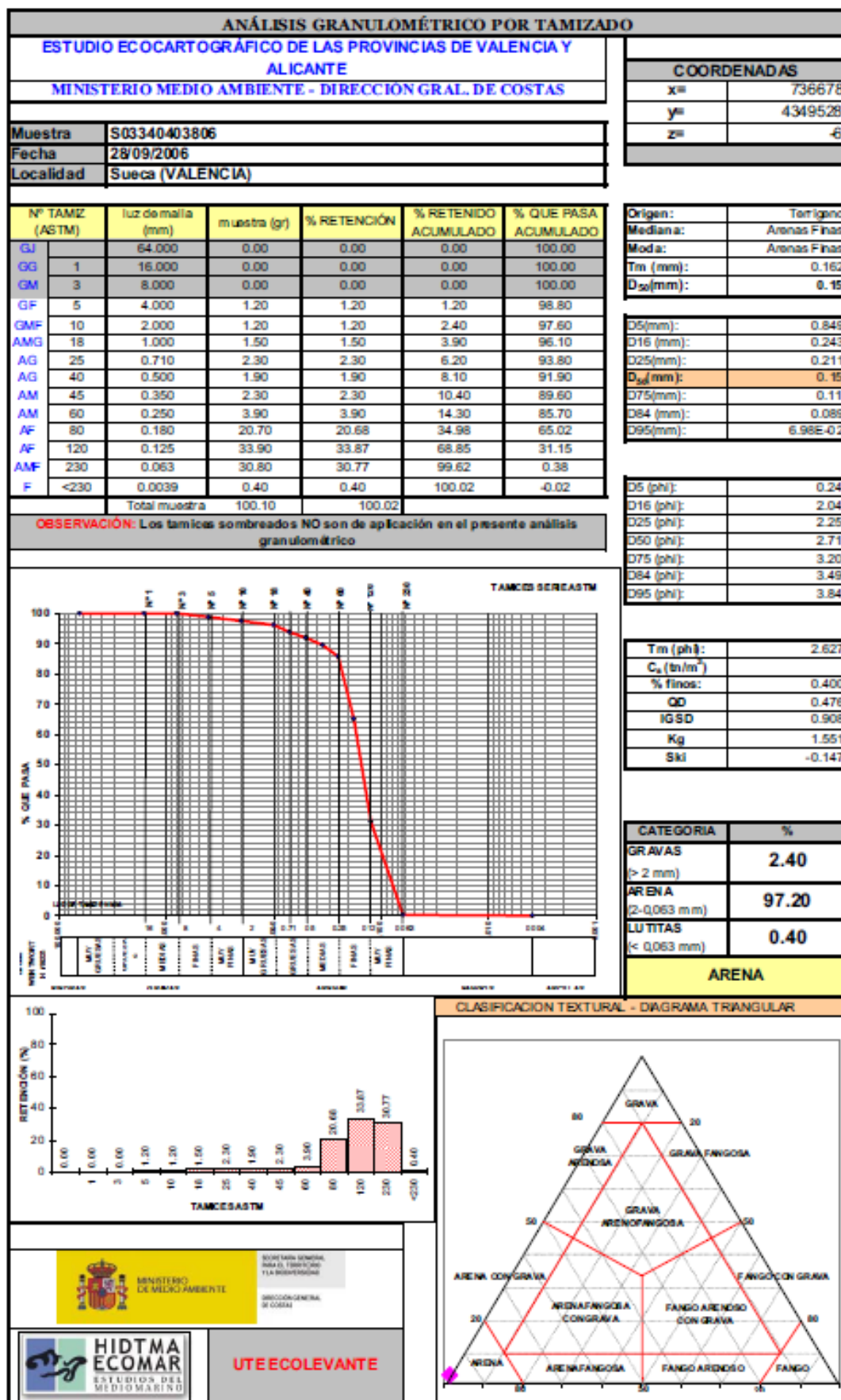


Figura 32. Análisis granulométrico S03340403806. Fuente: MITECO

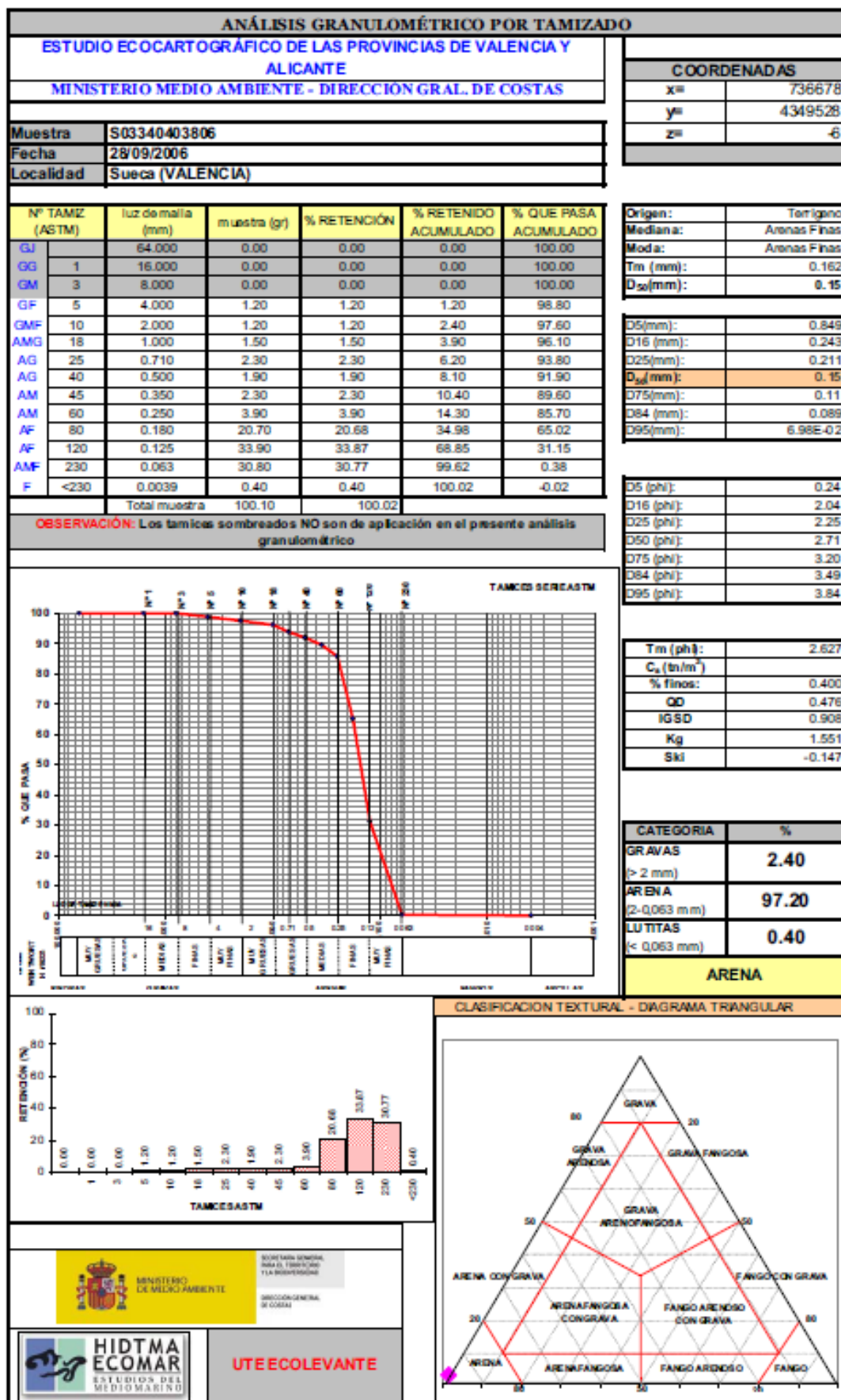


Figura 33. Análisis granulométrico S03350403806. Fuente: MITECO

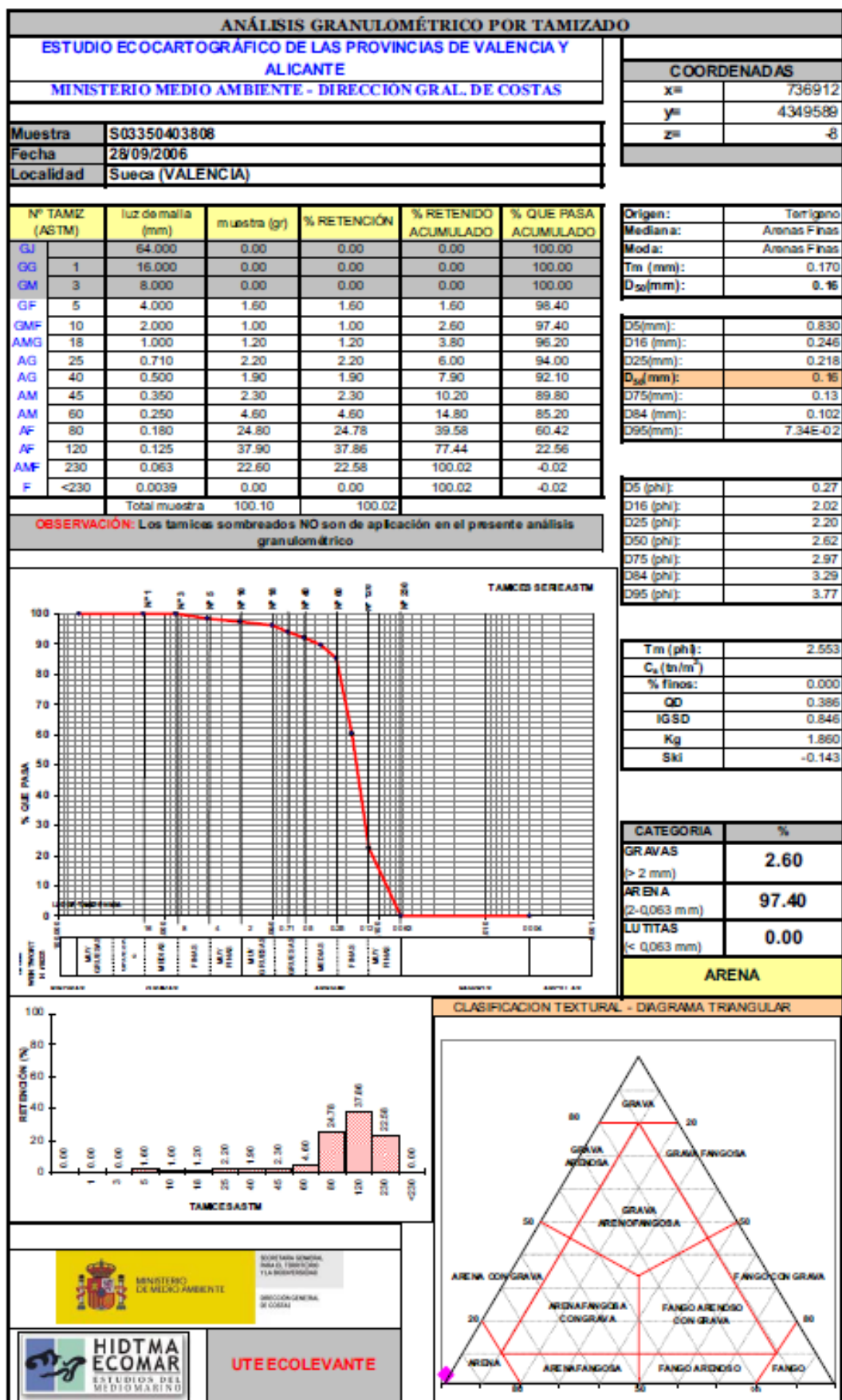


Figura 34. Análisis granulométrico S03350403808. Fuente: MITECO

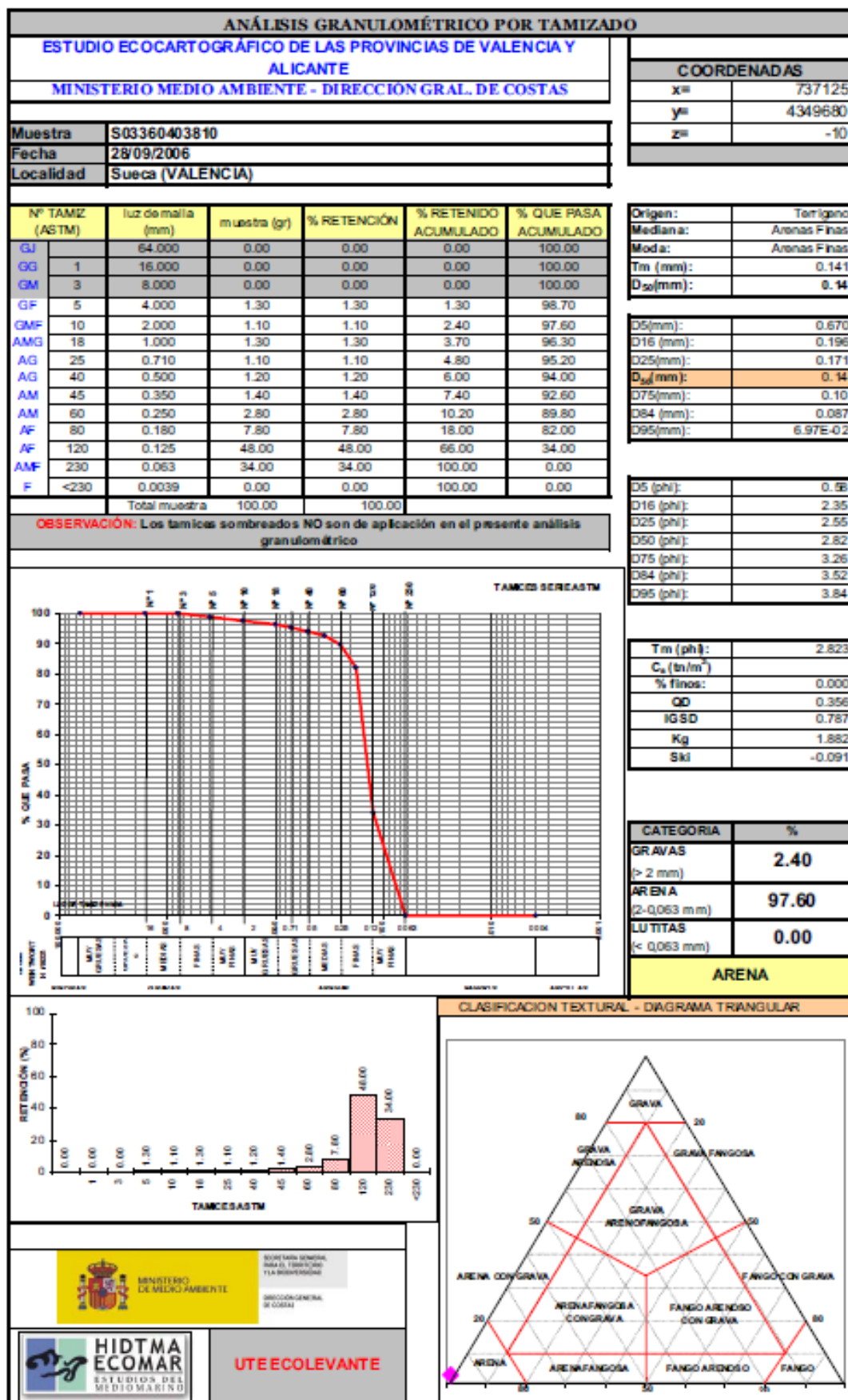


Figura 35. Análisis granulométrico S03360403810. Fuente: MITECO

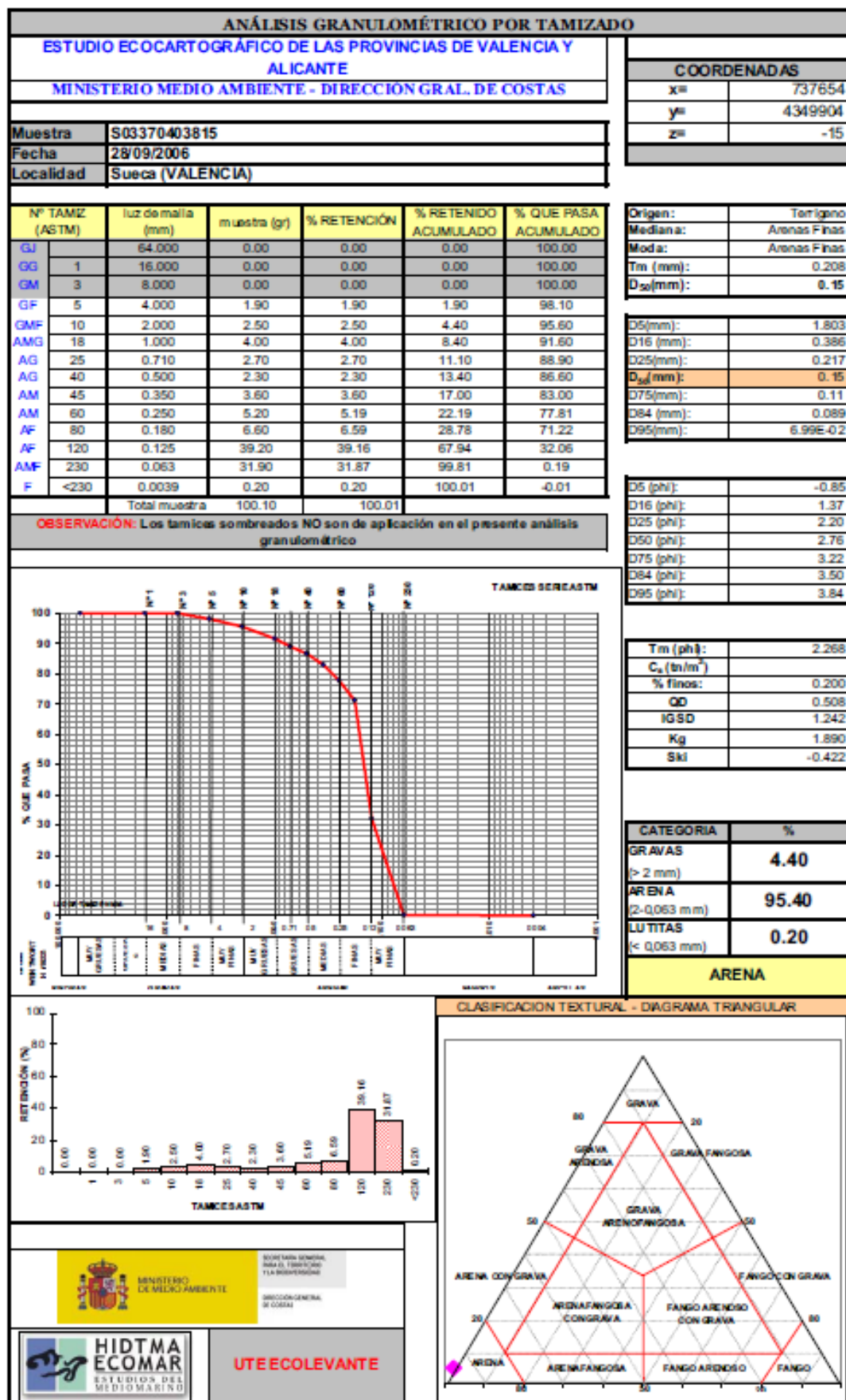


Figura 36. Análisis granulométrico S03370403815. Fuente: MITECO

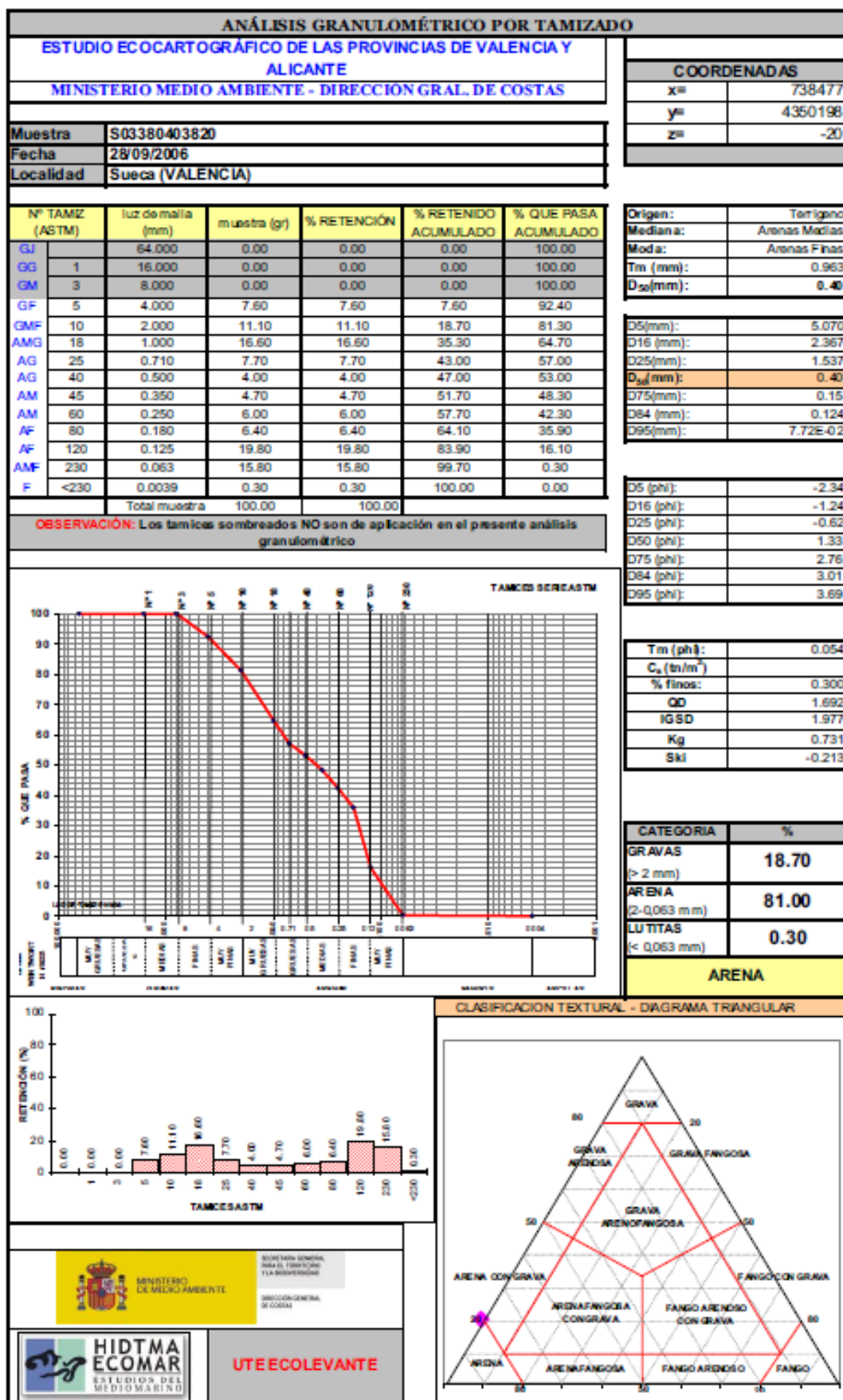


Figura 37. Análisis granulométrico S03380403820. Fuente: MITECO

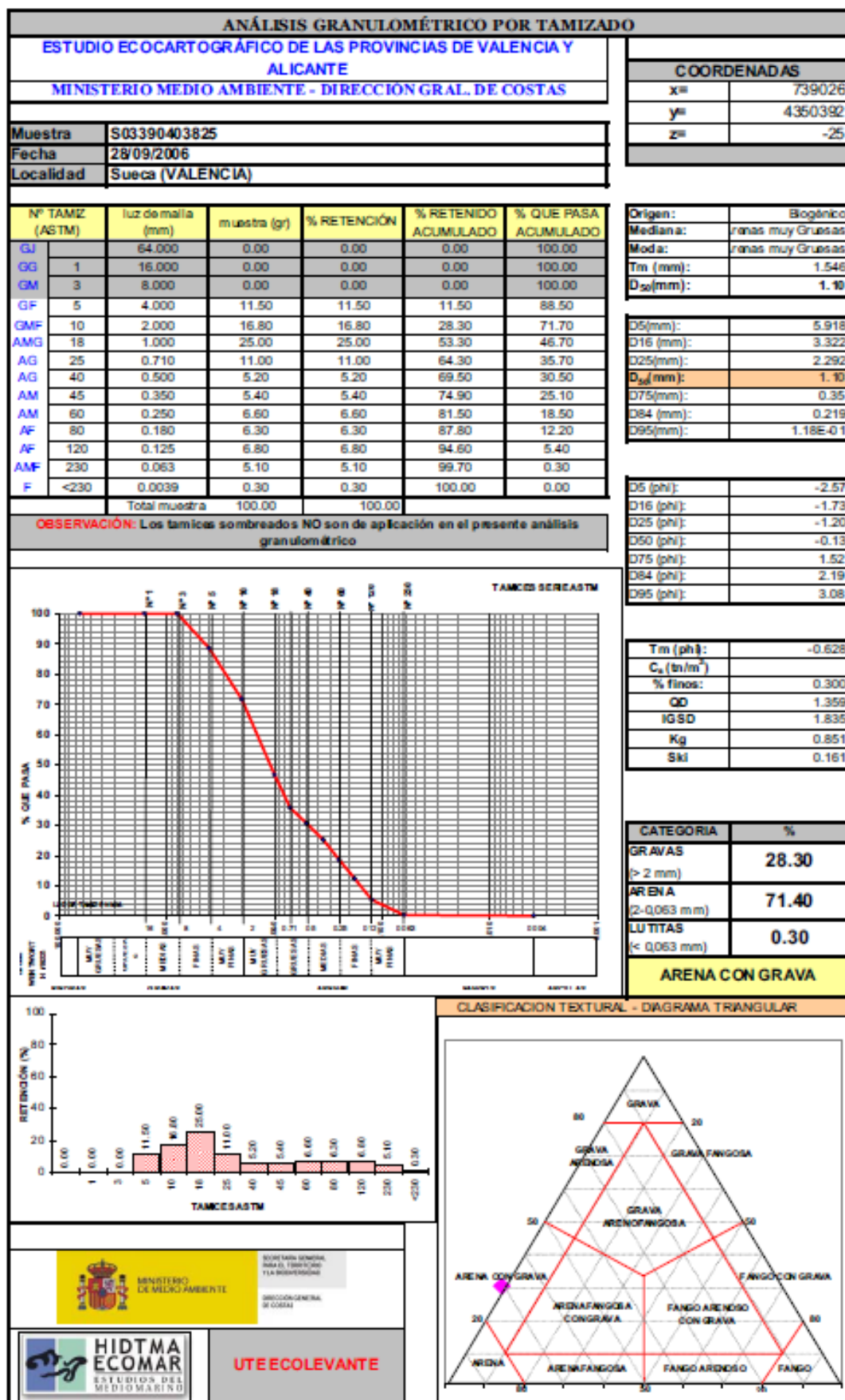


Figura 38. Análisis granulométrico S03390403825. Fuente: MITECO

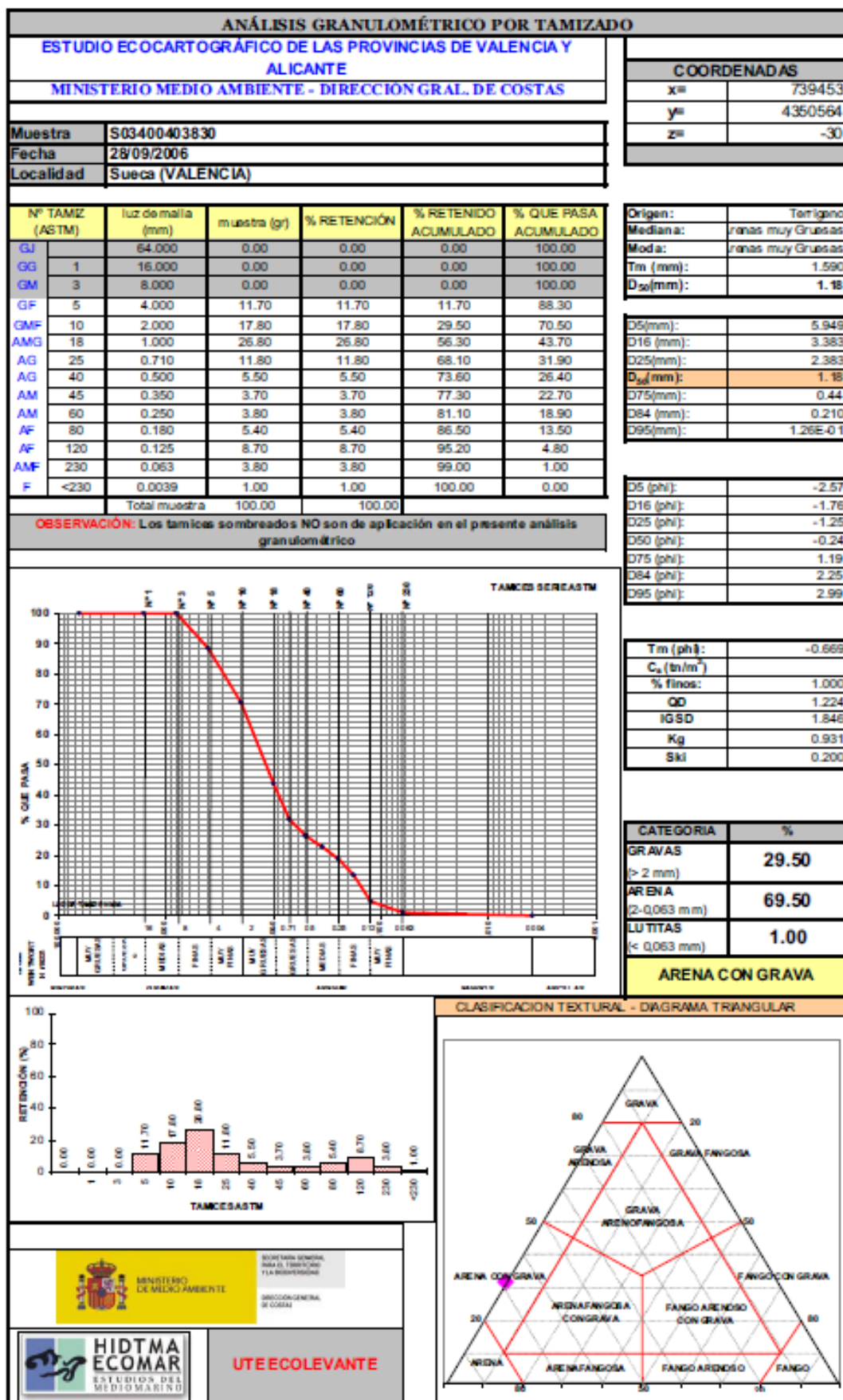


Figura 39. Análisis granulométrico S03400403830. Fuente: MITECO

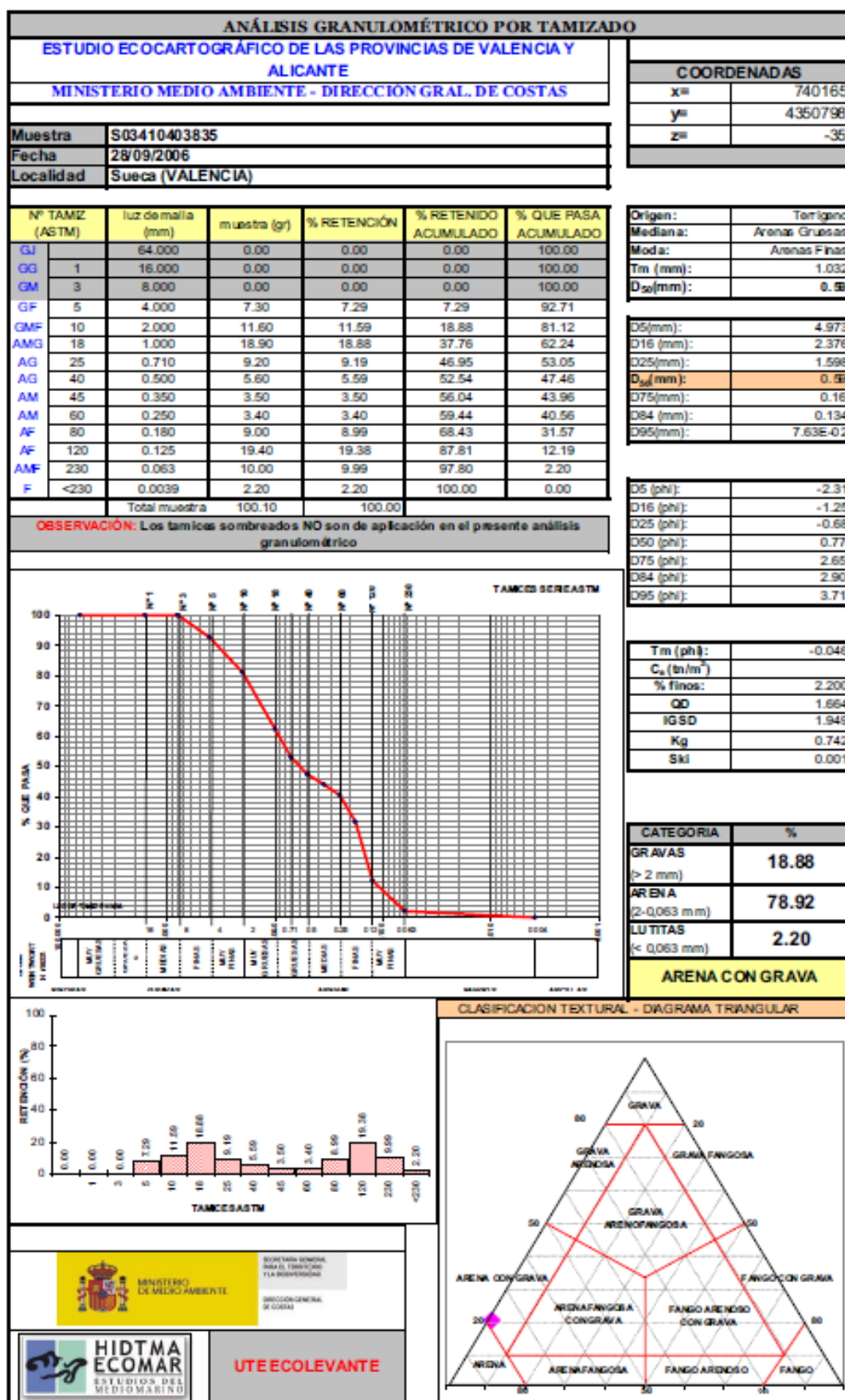


Figura 40. Análisis granulométrico S03410403835. Fuente: MITECO

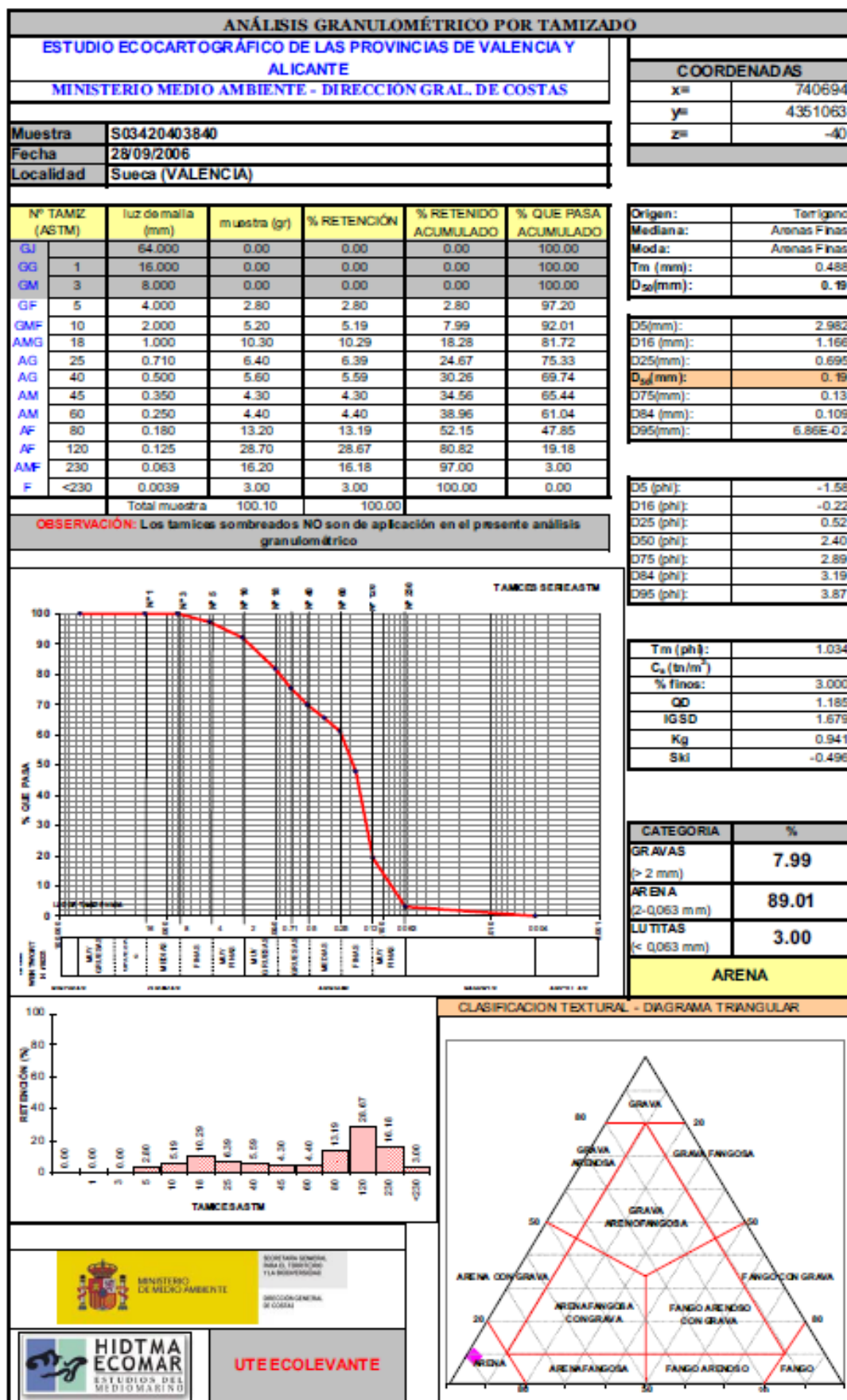


Figura 41. Análisis granulométrico S03420403840. Fuente: MITECO

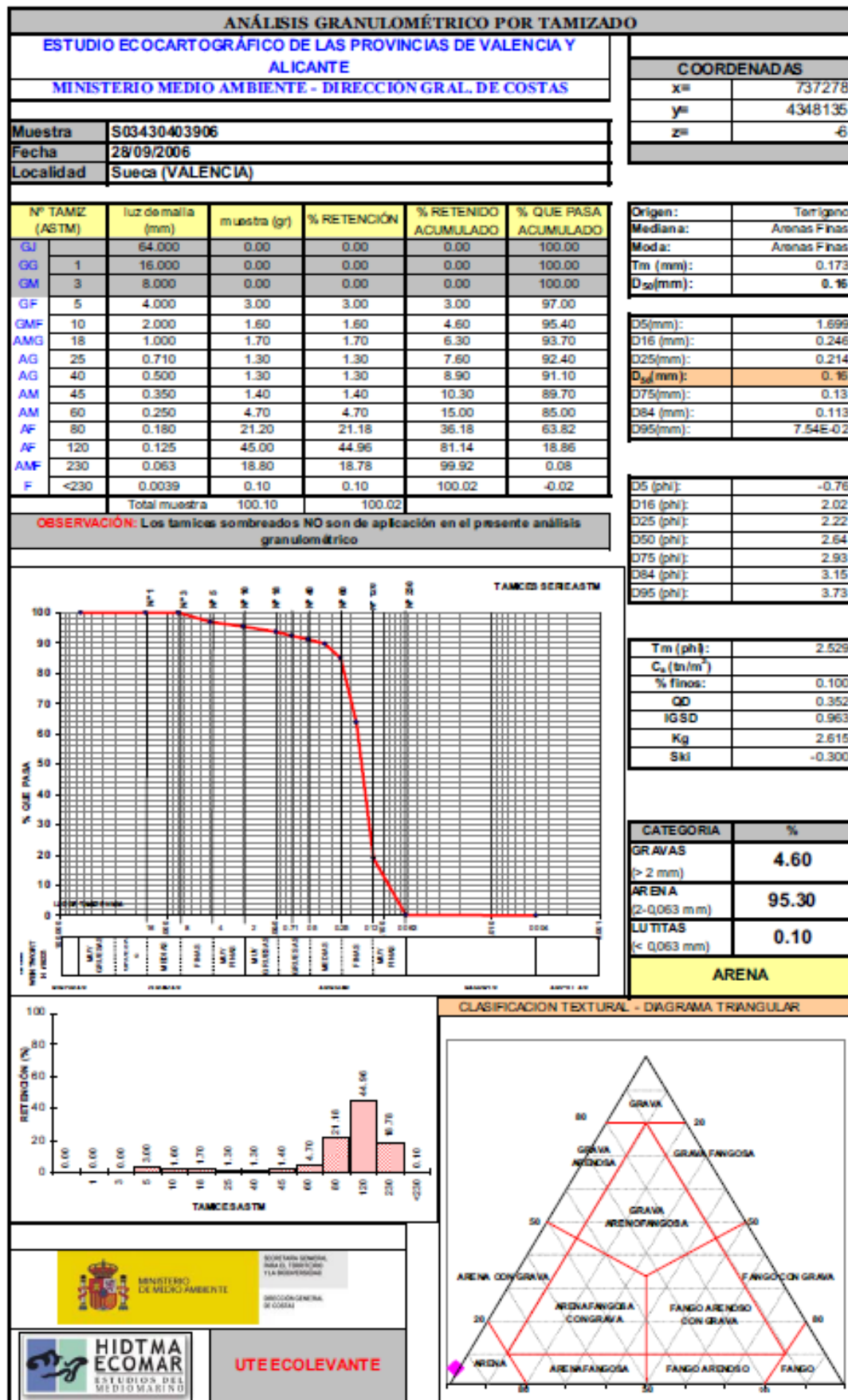


Figura 42. Análisis granulométrico S03430403906. Fuente: MITECO

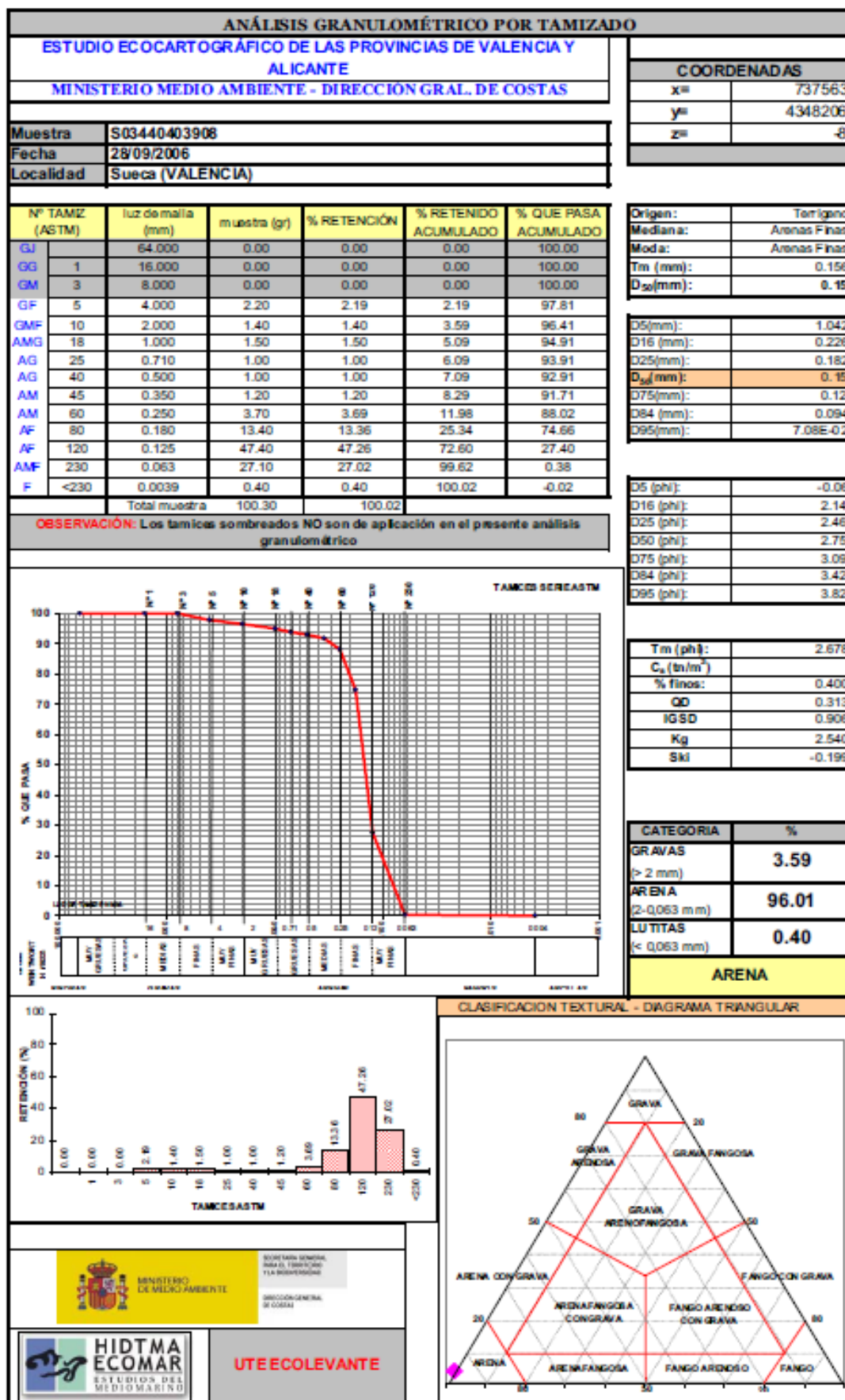


Figura 43. Análisis granulométrico S03440403908. Fuente: MITECO

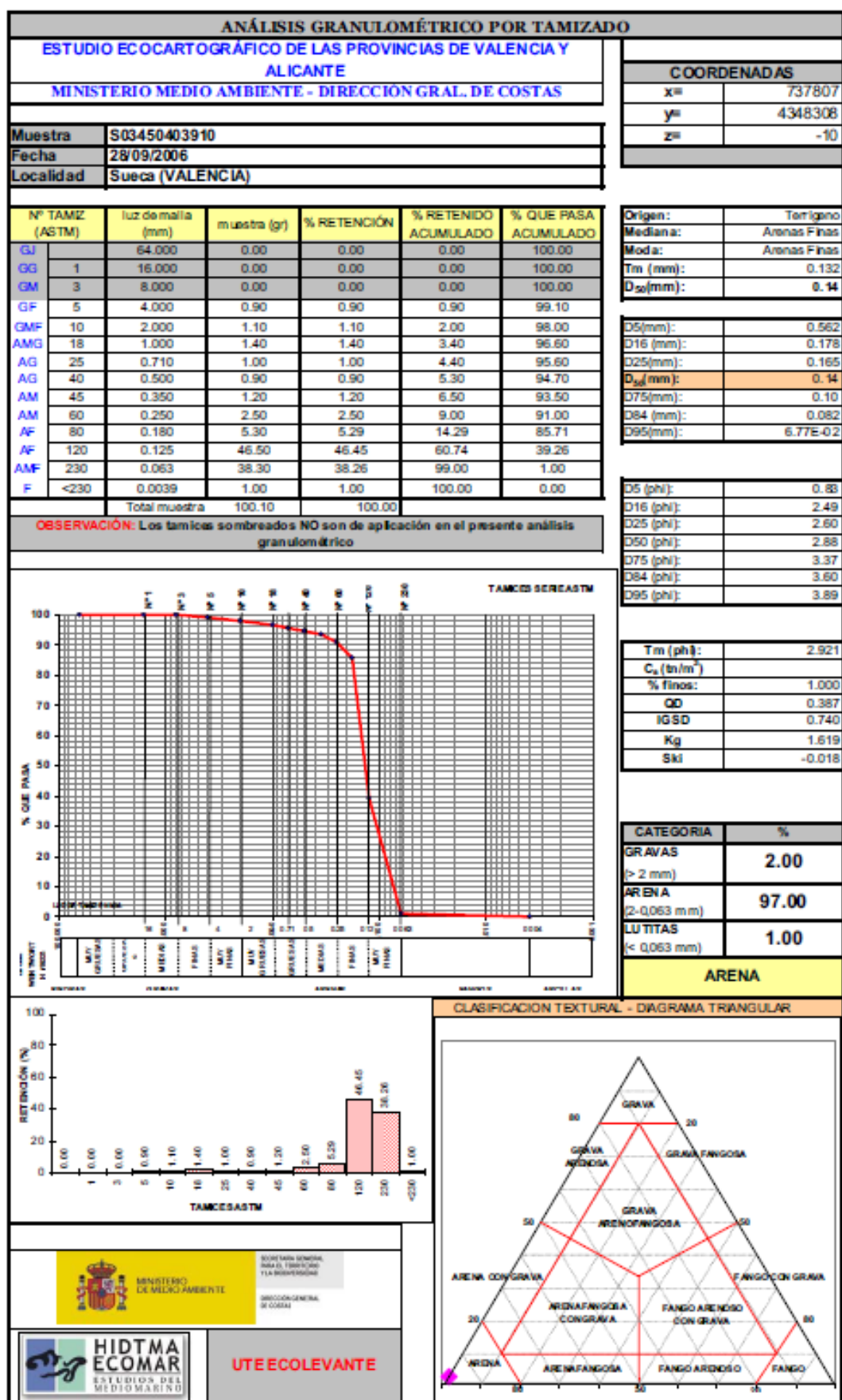


Figura 44. Análisis granulométrico S03450403910. Fuente: MITECO

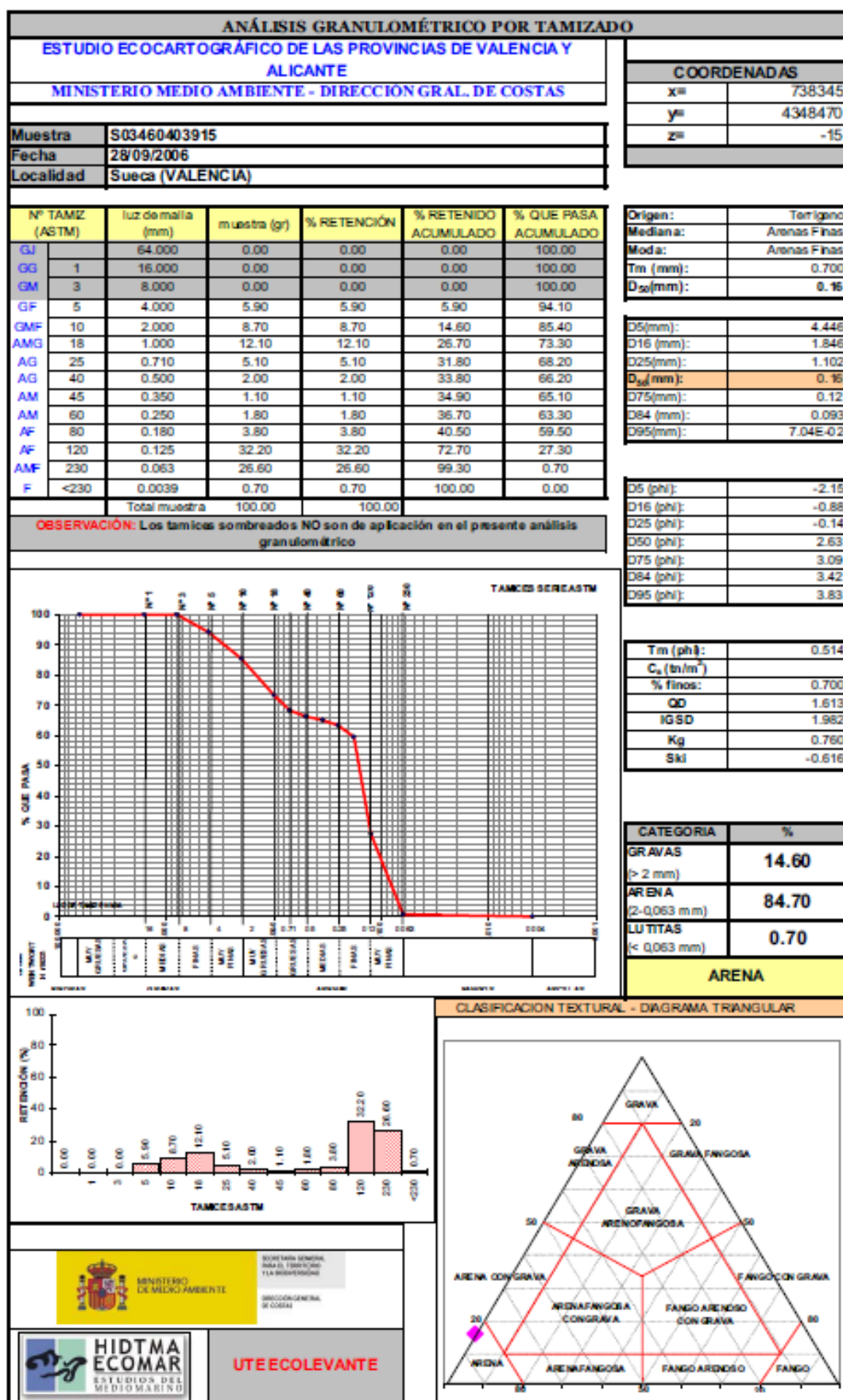


Figura 45. Análisis granulométrico S03460403915. Fuente: MITECO

#### LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS



*Figura 46. Localización muestras de sedimentos. Fuente: Elaboración propia*

Mediante los diagramas triangulares proporcionados por estas fichas se observa que la clasificación de la mayoría de puntos de muestreo se tiene una arena, a excepción de dos puntos que se clasifican como arenas con gravas.

## 4. CLIMA MARÍTIMO

### 4.1. INTRODUCCIÓN

El clima marítimo es vital para cualquier proyecto relacionado con la Ingeniería de Costas ya que servirá para caracterizar las acciones que condicionan y deforman la costa en la zona de estudio debido a la flexibilidad de las playas. Este es básico para conocer la dinámica litoral y su evolución.

Los principales agentes que servirán para determinar el clima marítimo son el viento, el oleaje y las corrientes.

La caracterización del oleaje ha de ser media y extremal, tanto a corto y largo plazo para el análisis y el entendimiento de la respuesta del litoral frente a temporales y una adecuación al dimensionamiento de las obras requeridas.

Cualquier actuación, introduciendo cambios en la línea de costa provoca modificaciones.

### 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL OLAJE

Los datos necesarios para analizar el clima marítimo se obtendrán de Puertos del Estado, mediante los datos instrumentales proporcionados. Estos se recogerán de la RED de datos en zonas Costeras (REDCOS) y los conjuntos de datos SIMAR.

De la REDCOS se obtendrá el oleaje extremal. Sin embargo, los datos SIMAR, al tratarse de una modelación numérica formada por series de parámetros de oleaje y viento, se destinará al régimen medio.

Por otro lado, se hará uso de la Red de Mareógrafos (REDMAR) para el estudio del nivel del mar y sus variaciones.

Mediante el software SMC, se caracterizará la propagación del oleaje, las corrientes y el comportamiento de los sedimentos.

### 4.3. DESCRIPCIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO

Para realizar el cálculo de regímenes medios y extremales se han utilizado los datos obtenidos a través de Puertos del Estado, del punto SIMAR 2081111 y de la boya exterior de Valencia. Esto se debe a que estas boyas tienen registros suficientemente largos para que los regímenes obtenidos, sean estadísticamente representativos de las condiciones de oleaje en cada una de las situaciones planteadas.

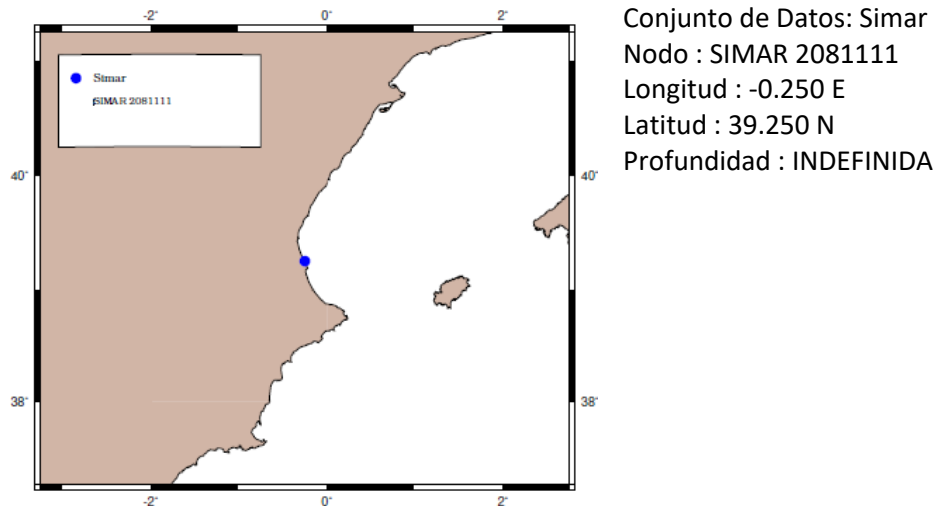


Figura 47. Localización Punto SIMAR 2081111. Fuente: Puertos del Estado

#### 4.3.1. Caracterización media del oleaje

Para la caracterización del régimen medio del oleaje se ha empleado los datos proporcionados por el punto SIMAR 2081111 ya que su histórico está formado por datos recopilados desde 1958 hasta la actualidad. Por lo tanto, este supera al de la boya de Valencia. Los datos disponibles se recogen en el Apéndice 2.

La distribución sectorial del oleaje queda caracterizada mediante las rosas de oleaje, que discretizan los datos en direcciones y alturas de ola.

A continuación, se muestran las rosas de oleaje correspondientes a periodos estacionales.

Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Punto SIMAR 2081111  
Periodo: Invierno (1958 - 2023) - Eficacia: 97.32%

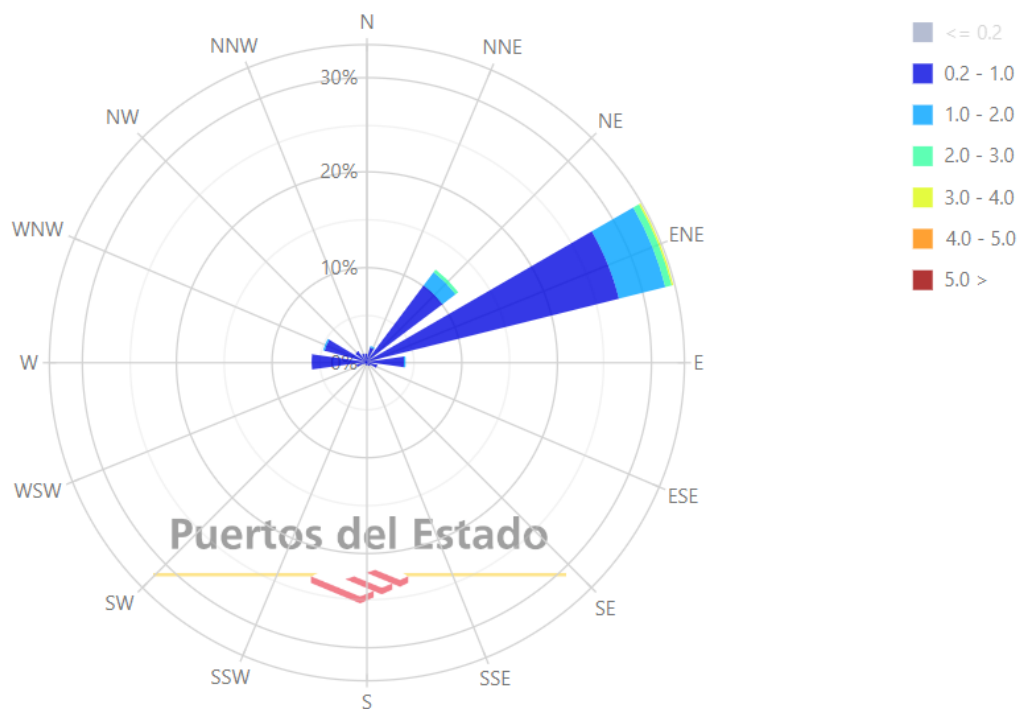


Figura 48. Rosa de oleaje de Invierno. Fuente: Puertos del Estado

### Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Punto SIMAR 2081111

Periodo: Primavera (1958 - 2023) - Eficacia: 98.65%

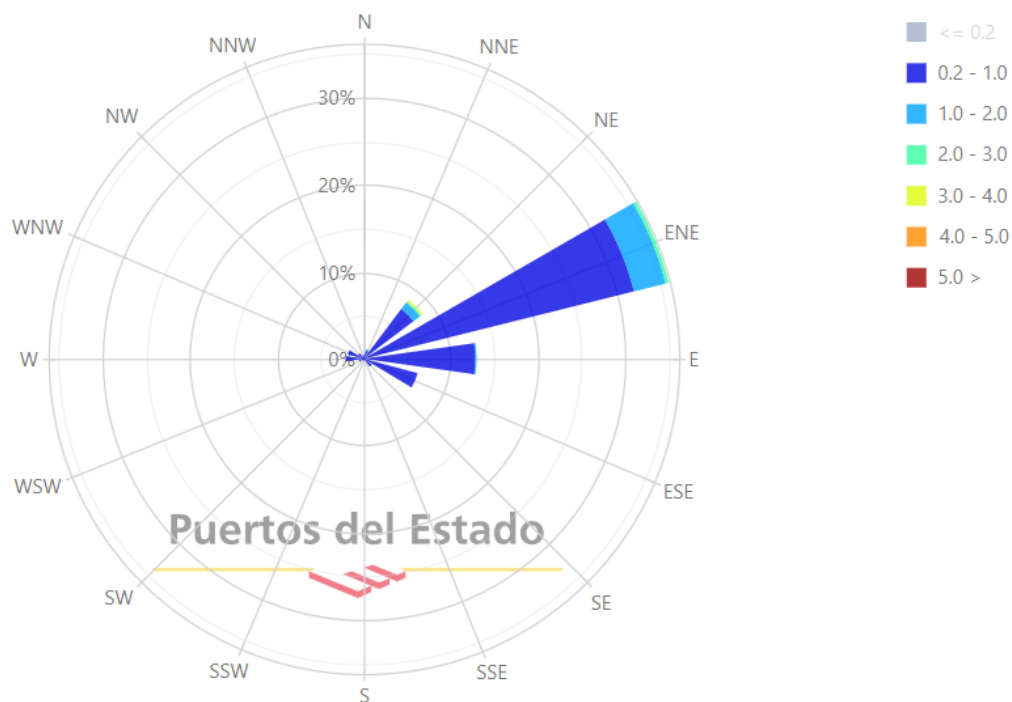


Figura 49. Rosa de oleaje de Primavera. Fuente: Puertos del Estado

### Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Punto SIMAR 2081111

Periodo: Verano (1958 - 2023) - Eficacia: 97.90%

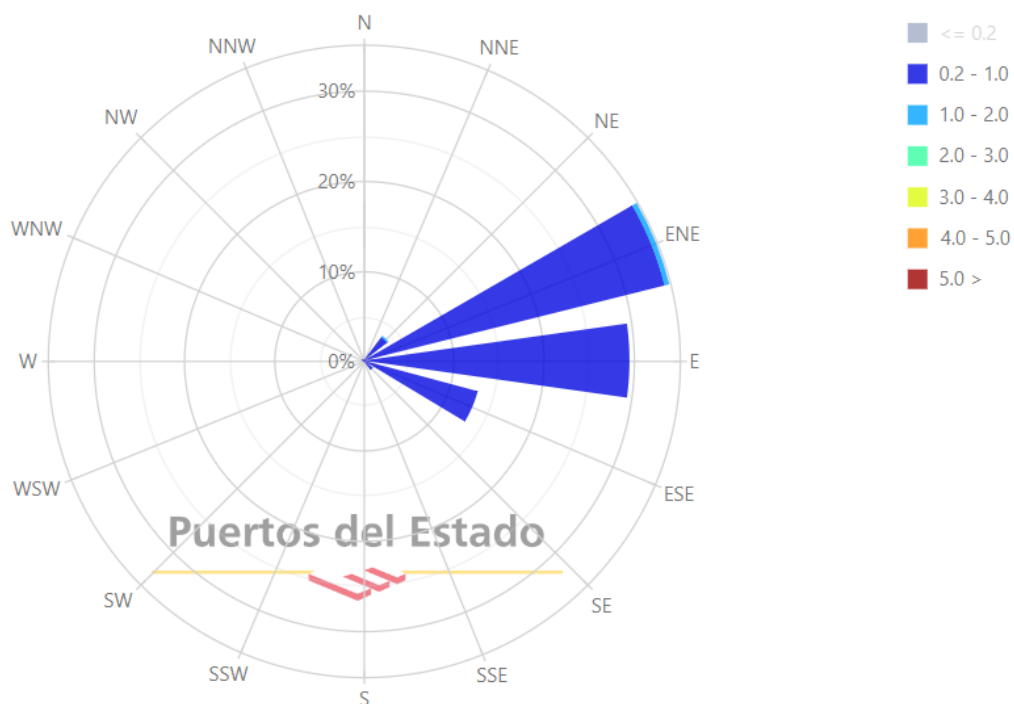


Figura 50. Rosa de oleaje de Verano. Fuente: Puertos del Estado

### Rosa de Altura Significante (m) para Oleaje - Punto SIMAR 2081111

Periodo: Otoño (1958 - 2023) - Eficacia: 97.70%

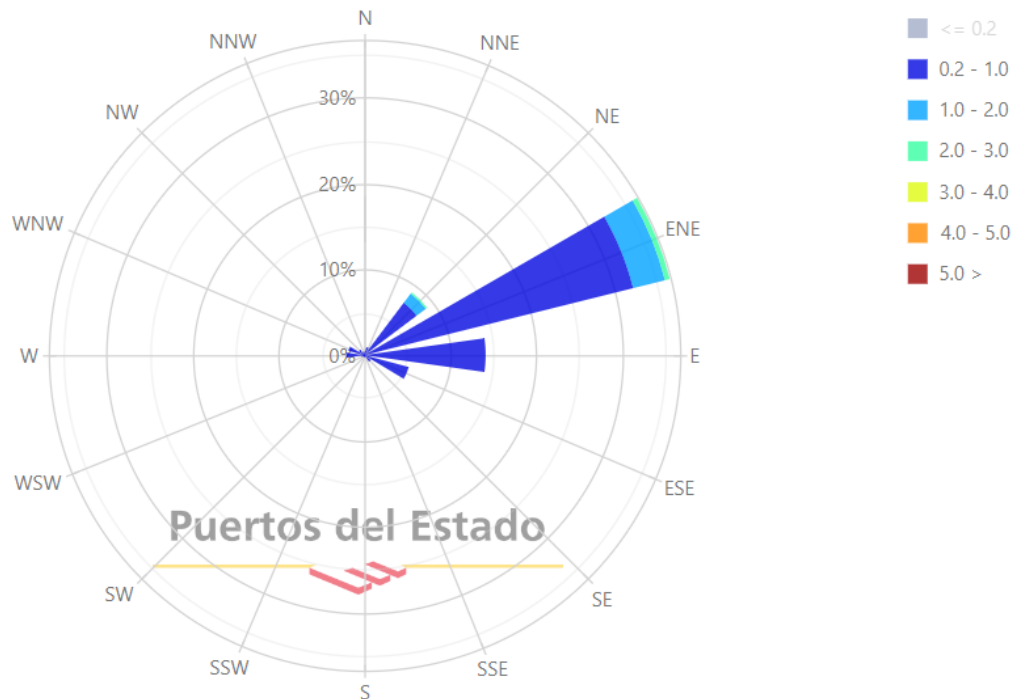


Figura 51. Rosa de oleaje de Otoño. Fuente: Puertos del Estado

Mediante las anteriores rosas de oleaje se puede observar que, a lo largo del año, es predominante la dirección del Este – Noreste (ENE). Teniendo las demás componentes con una menor probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, en verano también destaca la componente Este (E).

### Tablas Hs – Dirección

La información estadística correspondiente al régimen medio queda recogida en las siguientes tablas, correspondientes a las relaciones Hs-Tp y Hs-Dirección proporcionadas por Puertos del Estado.

Hs (m)	Tp (s)											Total
	<= 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.0 >	
<= 0.5	0.007	3.977	11.232	11.898	13.561	16.140	11.450	5.127	2.011	0.694	0.191	76.287
1.0	0.000	0.000	0.271	1.364	2.347	3.478	4.234	3.363	1.938	0.994	0.451	18.441
1.5	0.000	0.000	0.000	0.018	0.092	0.403	0.749	0.687	0.617	0.478	0.365	3.410
2.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.033	0.224	0.326	0.224	0.193	0.209	1.217
2.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.023	0.104	0.120	0.079	0.066	0.392
3.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.018	0.064	0.035	0.033	0.152
3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.022	0.019	0.021	0.063
4.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.007	0.007	0.020
4.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.007
5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003
5.0 >	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008
Total	0.007	3.977	11.503	13.280	16.009	20.055	16.682	9.627	5.001	2.502	1.358	100.000

Tabla 1. Altura de ola significativa - Periodo de pico. Fuente: Punto SIMAR 2081111

En la siguiente tabla se representa el régimen direccional del oleaje en aguas profundas mediante una distribución sectorial del oleaje en función de su frecuencia de aparición para las direcciones NE-S con una discretización de 22.5°.

Dirección		Hs (m)											Total
		<= 0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
CALMAS		28.1											
N	0		0.325	0.068	0.017	0.002	0	0	0	0	0	0	0.412
NNE	22.5		0.566	0.263	0.076	0.009	0.004	0.002	0	0	0	0	0.92
NE	45		3.876	2.781	0.755	0.249	0.083	0.052	0.021	0.01	0.005	0.001	7.838
ENE	67.5		19.124	11.731	2.339	0.912	0.285	0.091	0.036	0.008	0.003	0.001	34.534
E	90		12.871	1.55	0.081	0.014	0.005	0.004	0	0	0	0	14.525
ESE	112.5		5.084	0.959	0.036	0	0	0	0	0	0	0	6.079
SE	135		0.779	0.228	0.002	0	0	0	0	0	0	0	1.009
SSE	157.5		0.145	0.014	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.161
S	180		0.104	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11

Tabla 2. Altura de ola significativa - Direcciones. Fuente: Punto SIMAR 2081111

#### 4.3.2. Caracterización extremal del oleaje

Se utilizará la información de la Boya de Valencia para la caracterización extremal del oleaje y su posterior propagación hasta alcanzar las playas de El Perelló. Esta boya está fondeada a una profundidad de 230 metros y posee datos correspondientes al periodo 2005-2021.

DATOS DIRECCIONALES DEL OLEAJE

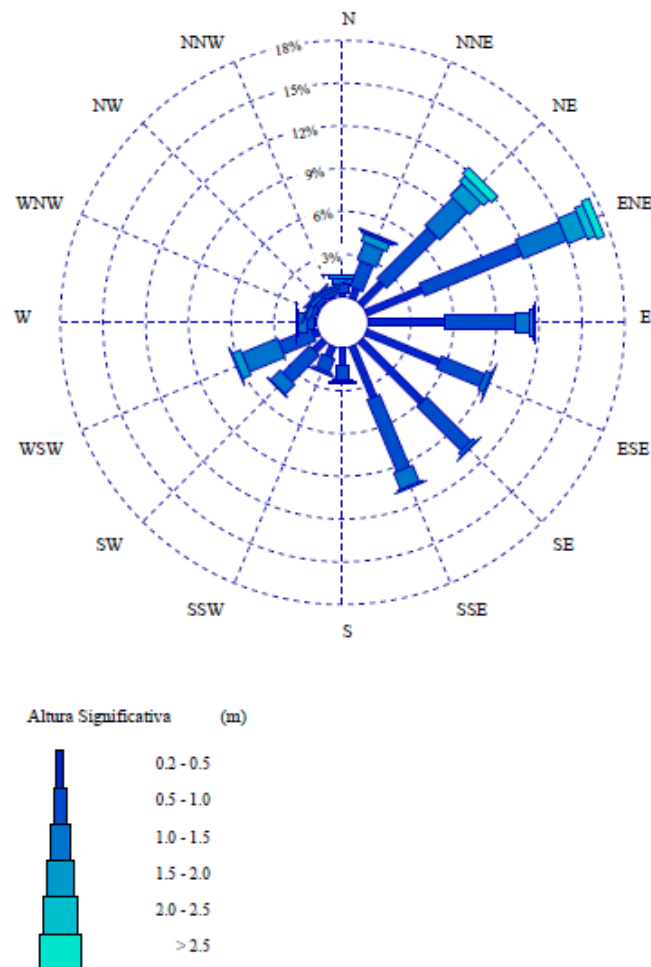


Figura 52. Rosa de altura de ola significativa para periodo anual. Fuente: Boya de Valencia

Se observa en la *Figura 52* las direcciones predominantes.

- NE: Con frecuencia de ocurrencia del 12 % y alturas de más de 2,5 metros.
- ENE: Dirección predominante, con casi el 18% de frecuencia de ocurrencia, llegando a alcanzar alturas de más de 2,5 metros.
- E: Con frecuencia de 12 % y alturas de más de 1,5 metros.
- ESE: Con frecuencia de ocurrencia de más 12 % y alturas máximas entre 1 y 1,5 metros.
- SE: Con frecuencia de ocurrencia de más 12 % y alturas máximas entre 1 y 1,5 metros.
- SSE: Con frecuencia de ocurrencia de más 12 % y alturas máximas entre 1 y 1,5 metros.

La información estadística correspondiente al régimen medio queda recogida en las siguientes tablas, correspondientes a las relaciones Hs-Tp y Hs-Dirección.

Hs (m)	Tp (s)											Total
	<= 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.0 >	
<= 0.5	0.125	0.074	3.523	8.181	7.145	5.620	2.991	0.683	0.160	0.125	0.013	28.639
1.0	0.000	0.000	1.246	13.479	12.168	7.422	6.193	3.848	0.701	0.166	0.029	45.251
1.5	0.000	0.000	0.000	1.287	7.688	2.788	1.982	2.039	1.184	0.433	0.027	17.428
2.0	0.000	0.000	0.000	0.005	1.166	1.510	0.904	0.696	0.531	0.526	0.027	5.367
2.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.303	0.468	0.393	0.246	0.337	0.033	1.804
3.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.170	0.239	0.128	0.166	0.033	0.760
3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.037	0.155	0.075	0.120	0.027	0.415
4.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.068	0.057	0.046	0.023	0.197
4.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.016	0.025	0.018	0.064
5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.007	0.010	0.022
5.0 >	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.019	0.031	0.054
Total	0.125	0.074	4.769	22.952	28.191	17.668	12.749	8.129	3.105	1.969	0.271	100.000

Tabla 3. Altura de ola significativa - Periodo de pico. Fuente: Boya de Valencia

En la siguiente tabla se representa el régimen direccional del oleaje en aguas profundas mediante una distribución sectorial del oleaje en función de su frecuencia de aparición para las direcciones NE-S con una discretización de 22.5°.

Dirección		Hs (m)											Total	
		<= 0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		> 5.0
CALMAS		2.179												
NE	45		2.096	5.033	2.751	1.135	0.546	0.261	0.167	0.087	0.027	0.014	0.048	12.165
ENE	67.5		4.227	7.41	3.314	1.386	0.623	0.263	0.169	0.08	0.024	0.01	0.07	17.576
E	90		5.328	4.968	0.803	0.283	0.085	0.024	0.012	0.005				11.508
ESE	112.5		5.538	3.282	0.403	0.075	0.012	0.01	0.002	0.002				9.324
SE	135		6.074	4.381	0.273	0.034	0.007							10.769
SSE	157.5		3.879	5.468	1.244	0.123	0.007							10.721
S	180		1.167	1.075	0.159	0.017								2.418

Tabla 4. Altura de ola significativa - Direcciones. Fuente: Boya de Valencia

#### PERIODO DE RETORNO

Mediante las recomendaciones **ROM 0.3-91 (Parte 1): “Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias”** y el análisis del carácter de la obra, vida útil y la probabilidad de fallo, se ha determinado el periodo de retorno.

Al no poder realizar este anejo antes de saber la solución adoptada, se escogerá un periodo de retorno habitual en las obras relacionadas con la protección de costas de 70 años.

RÉGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL

La Boya de Valencia no recoge el régimen extremal direccional para todas las direcciones, así que se estima la direccionalidad con el procedimiento de la **ROM 0.3-91 Acción climática (I): Oleaje**. Este consiste en la estimación del régimen extremal direccional a partir del régimen escalar extremal y el reparto direccional de los regímenes medios.

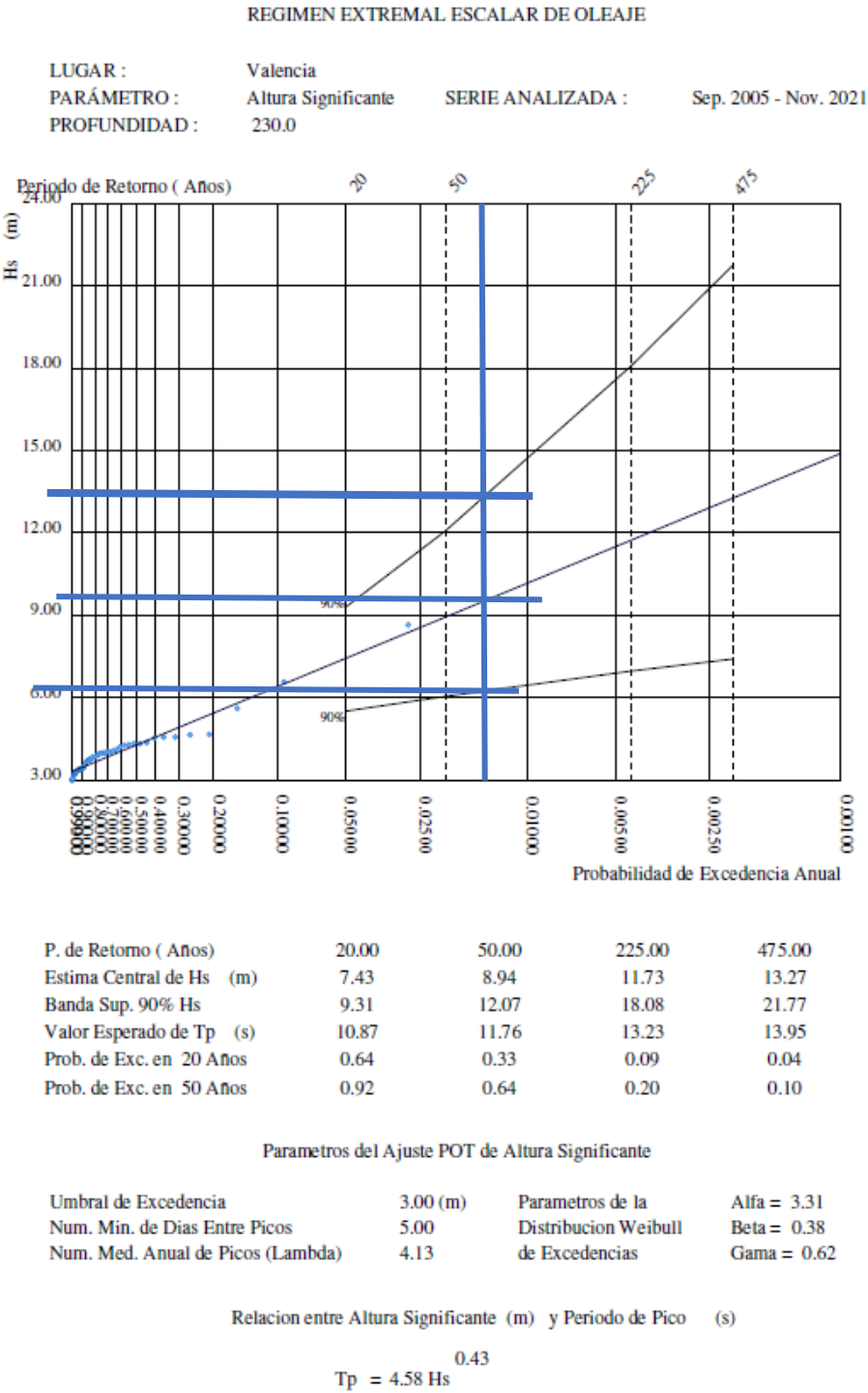


Figura 53. Régimen extremal escalar. Fuente: Boya de Valencia

Al tratarse de una obra para la protección de la costa, normalmente se adopta un período de retorno de 70 años. A partir de este dato, en la figura anterior se puede obtener lo siguiente:

- Probabilidad de excedencia anual: 0.0143
- Tr (años): 70
- Hs (m): 9.55
- Hs, 90% (m): 13.46
- Tp (s): 12.08

Para empezar, se deben obtener las alturas de ola Hs\* y Hs\*\* a partir de los regímenes medios direccionales para las direcciones que puedan alcanzar la zona de actuación de forma que:

$$P(Hs \leq Hs^*) = 0,99$$

$$P(Hs \leq Hs^{**}) = 0,999$$

Con la media de las alturas Hs\* y Hs\*\*, se obtiene la altura representativa del sector direccional para obtener la direccionalidad del régimen extremal. Después, es necesario definir un coeficiente de direccionalidad  $k\alpha$ , donde en la dirección la altura representativa que sea mayor será 1, y el resto de las direcciones se calculará de la siguiente forma:

$$H_{s,dirección} = (H_s^* + H_s^{**}) / 2$$

$$k\alpha = \frac{H_{s,dirección}}{H_{s,max,dirección}}$$

El cálculo de la probabilidad se obtiene mediante la expresión de la distribución de Weibull:

$$Fe(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-B}{A}\right)^C\right)$$

Siendo A, B y C las constantes de Weibull indicadas en el apartado de régimen medio en aguas profundas.

Con el método explicado de la ROM 0.3-91 se obtiene los diferentes  $k\alpha$ .

	A	B	C	Hs*	Hs**	Hs, direccional	K $\alpha$	Tp (s)
NE	0,62	0,35	0,86	4,01	6,22	5,11	1,000	9,24
ENE	0,93	0,08	1,28	3,15	4,29	3,72	0,727	8,06
E	0,42	0,18	1,04	2,00	2,87	2,44	0,477	6,72
ESE	0,25	0,23	0,91	1,57	2,32	1,94	0,380	6,10
SE	0,25	0,24	1,08	1,27	1,74	1,50	0,294	5,46
SSE	0,52	0,18	1,64	1,50	1,87	1,68	0,329	5,73
S	0,4	0,2	1,4	1,39	1,79	1,59	0,311	5,59

Tabla 5. Resultados  $k\alpha$ . Fuente: Elaboración propia

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

El régimen extremal direccional se obtiene de los datos proporcionados por Puertos del Estado. Éstos son la altura de ola significativa escalar, los coeficientes  $K_\alpha$ , la función distribución de Weibull (con los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\lambda$ ).

Se hará uso de las siguientes fórmulas:

$$Hr = \beta * \left( -\ln\left(\frac{1}{\lambda * Tr}\right) \right)^{\frac{1}{\gamma}} + \alpha$$

$$Fw(Ha) = 1 - \exp \left( -\left( \frac{H_a - \alpha}{\beta} \right)^\gamma \right)$$

Mediante la *Figura 28*, se obtiene  $H_{so,90\%}$ .

Alpha	Beta	Gamma	Lambda	Tr	P. ocurrencia	Fw(Hs)	Hso, central	Hso,90%
3,31	0,38	0,62	4,13	70	0,014	0,9965	9,55	13,46

*Tabla 6. Resultados Hso. Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, una vez obtenidos los coeficientes de direccionalidad y las alturas de ola para el régimen extremal escalar, se calculan los valores del régimen extremal direccional, multiplicando el valor extremal de la banda de confianza del 90% por los coeficientes de direccionalidad. Los resultados quedan recogidos en la siguiente tabla:

Banda Central				Banda 90% sup			
Tr=70 años				Tr=70 años			
		Hso (m)	Tp (s)			Hso (m)	Tp (s)
		9,55	12,08			13,46	14,01
Dirección	$K_\alpha$	$Hs * K_\alpha$	Tp (s)	Dirección	$K_\alpha$	$Hs * K_\alpha$	Tp (s)
NE	1,000	9,55	12,08	NE	1,000	13,46	14,01
ENE	0,727	6,94	10,54	ENE	0,727	9,79	12,21
E	0,477	4,55	8,79	E	0,477	6,42	10,19
ESE	0,380	3,63	7,97	ESE	0,380	5,12	9,24
SE	0,294	2,80	7,14	SE	0,294	3,95	8,27
SSE	0,329	3,14	7,50	SSE	0,329	4,43	8,69
S	0,311	2,97	7,31	S	0,311	4,19	8,48

*Tabla 7. Alturas de ola y períodos de pico por direcciones. Fuente: Elaboración propia*

#### 4.4. NIVEL DEL MAR

Para el diseño y cálculo de obras marítimas como el presente estudio es de suma importancia conocer el nivel medio del mar y su variación en cualquier punto de la costa. Esto se debe a que, en las zonas inundables, el proceso de transporte de sedimentos es activo.

El nivel del mar es la posición media de la superficie libre del mar durante un periodo de tiempo respecto a un nivel de referencia. Las oscilaciones provocadas se deben a la marea astronómica y a la meteorológica.

#### 4.4.1. Datos REDMAR

La Red de Mareógrafos (REDMAR) se usará para conocer el nivel del mar en la zona de estudio. La serie histórica del puerto de Valencia para el periodo 1993-2017 se basa en los datos registrados por el siguiente mareógrafo.

ESTACIÓN	SENSOR	LONGITUD	LATITUD
VALE	Rádar (Miros)	000° 18' 40,61" W	39° 26' 31,31" W

Tabla 8. Mareógrafo de Valencia 3. Fuente: Puertos del Estado

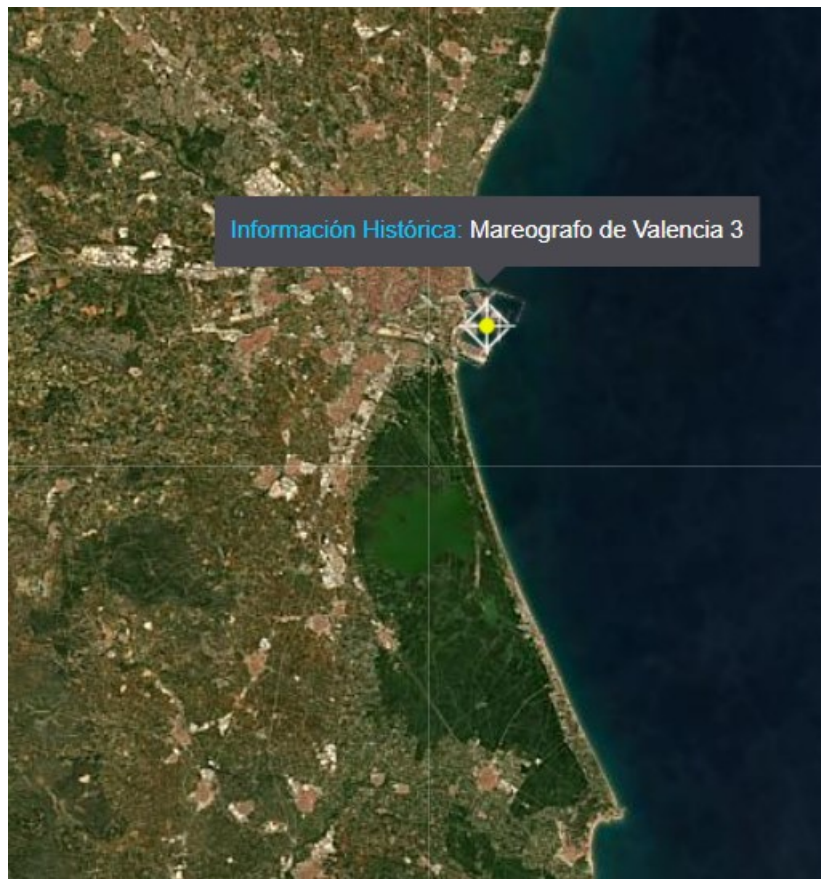


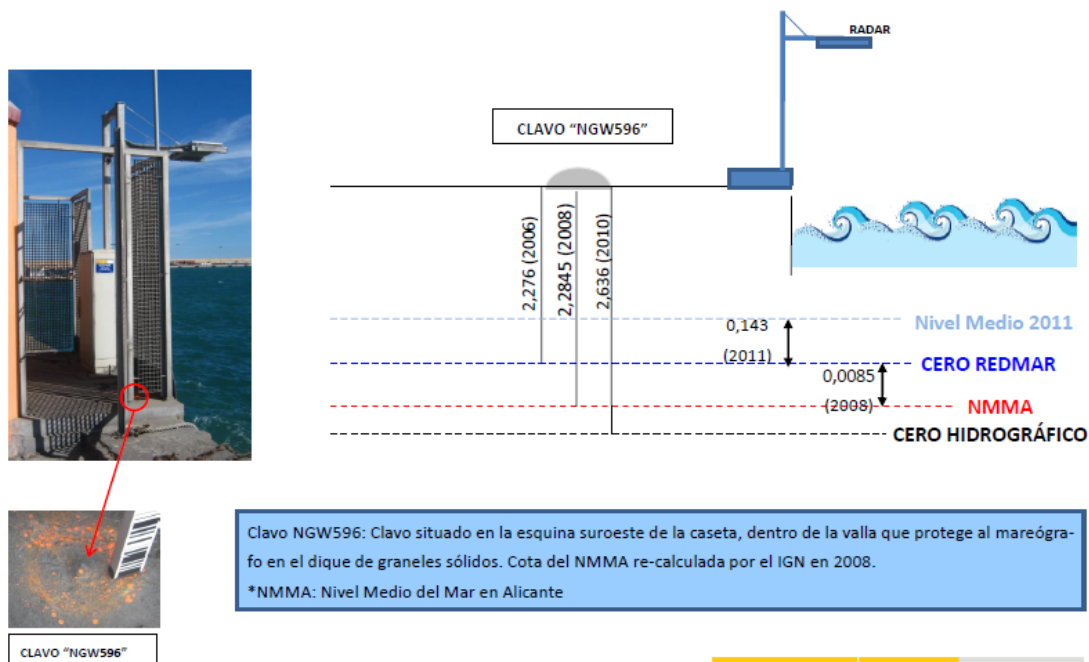
Figura 54. Localización mareógrafo de Valencia3. Fuente: Puertos del Estado

#### 4.4.2. Niveles de referencia

El clavo geodésico más cercano es el NGW596, situado en la esquina suroeste de la valla protectora que rodea el mareógrafo. El cero del mareógrafo coincide con el cero del puerto y está situado 2,276 m bajo NGW596. Este, prácticamente, coincide con el Nivel Medio del Mar en Alicante. Por otra parte, el cero hidrográfico está situado 2,636 m bajo del clavo geodésico en cuestión.

A continuación, se muestra el esquema DATUM del mareógrafo REDMAR Valencia 3.

### ESQUEMA DATUM MAREÓGRAFO REDMAR VALENCIA3 (cotas en metros)



Nota: La posición relativa de Clavo y Mareógrafo está simplificada. NMMA: Cero IGN



Figura 55. Esquema DATUM mareógrafo Fuente: REDMAR VALENCIA3

#### 4.4.3. Variaciones del nivel del mar

##### NIVELES DE REFERENCIA

Para obtener el nivel de marea, se tiene que:

$$S_{NM} = S_{MA} + S_{MM}$$

Siendo:

- $S_{MA}$ : Marea astronómica, componente determinista de la marea resultante de la atracción gravitatoria del sistema Tierra-Luna-Sol.
- $S_{MM}$ : Marea meteorológica, componente aleatoria reflejo de las condiciones de presión atmosférica reinantes.

Para establecer el nivel de marea de la zona litoral de estudio, de forma teórica, se tiene el "Atlas de Inundación del Litoral Español".

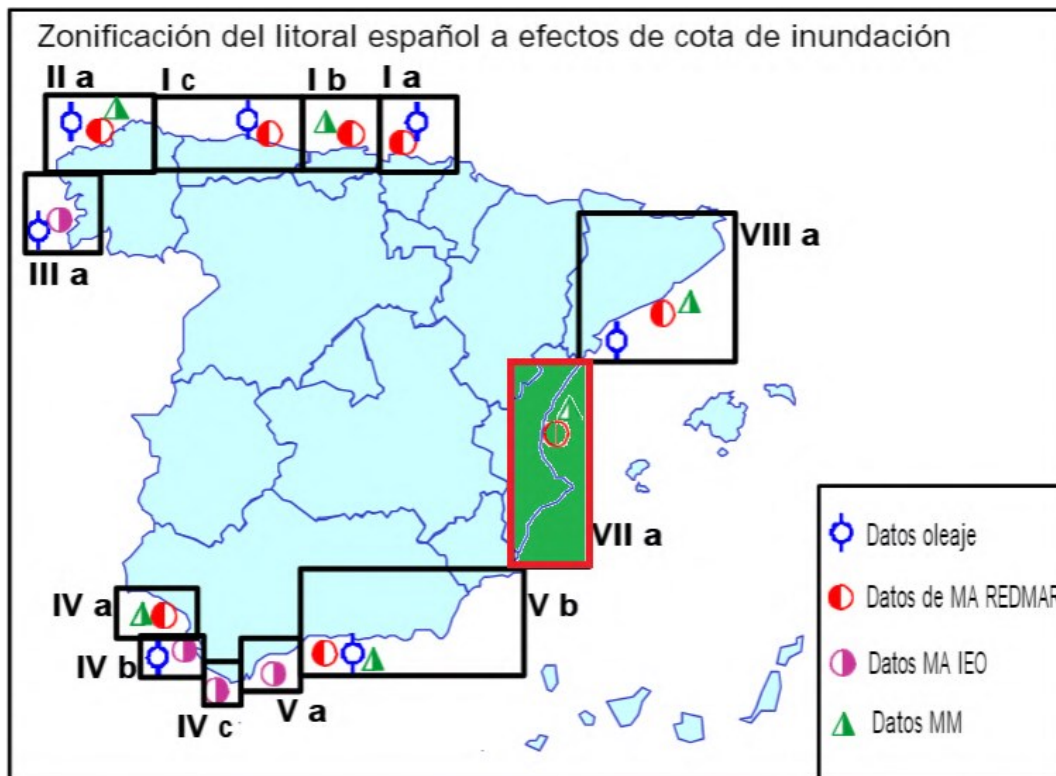


Figura 56. Distribución de áreas en el mapa del ATLAS. Fuente: ATLAS

A continuación, se muestra las posiciones relativas de las distintas referencias del sistema de coordenadas para este mareógrafo.

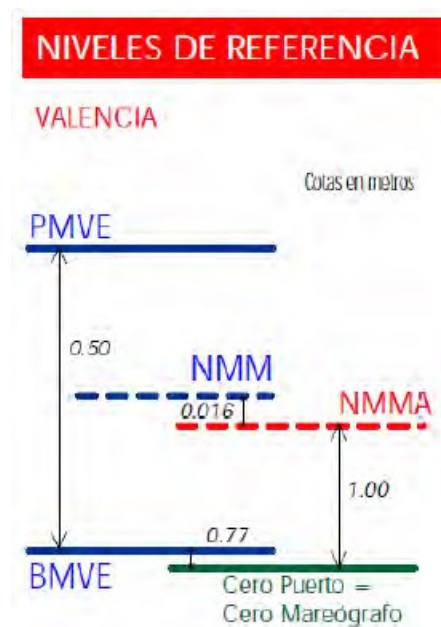


Figura 57. Niveles de referencia altimétrica. Fuente: ATLAS

De la anterior figura, se obtiene:

- Nivel de PMVE: 0,27 metros.
- Nivel de BMVE: - 0.23 metros.

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

Así pues, la carrera de marea es de 0,50 metros y se trata de una zona de tipo micromareal, con carreras inferiores a 2 metros.

Por otro lado, Puertos del Estado calcula los niveles del mar representativos de las oscilaciones para el mareógrafo de Valencia, con la serie histórica 1993 – 2017.

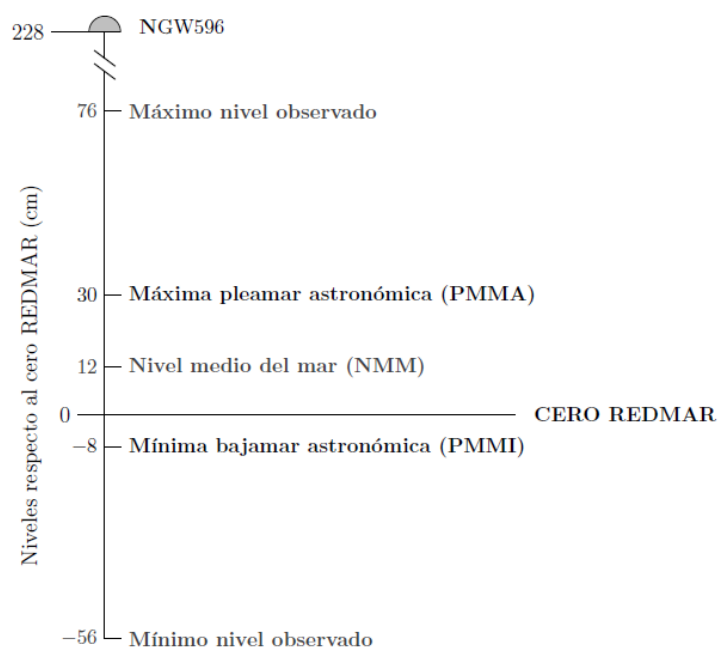


Figura 58. Principales referencias del nivel del mar. Fuente: REDMAR VALENCIA3

NIVEL	RESPECTO CP (cm)	RESPECTO NNM (cm)	RESPECTO NMMA (cm)
Máx. Nivel Observado	76	64	76.85
PMMA	30	18	30.86
NMM	12	0	12.85
CP	0	-12	0.85
NMMA	0.85	-12.85	0
BMMI	-8	20	-7.15
Mín. Nivel Observado	-56	-68	-55.15

Tabla 9. Niveles de referencia del mareógrafo Valencia3. Fuente: Elaboración propia

## REGÍMENES DE MAREA

A continuación, se dispondrán los niveles de marea para cada régimen de oleaje considerado, referenciados al NMMA.

### RÉGIMEN MEDIO DEL NIVEL DEL MAR

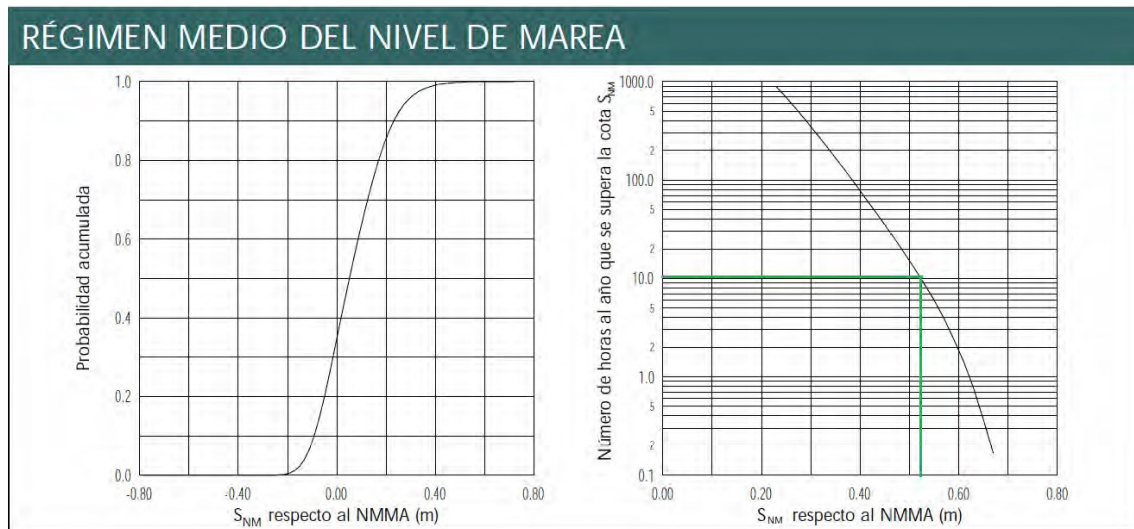


Figura 59. Régimen medio del nivel de marea del Área VII- Subzona -a. Fuente: Atlas de Inundación del litoral español.

Se puede extraer de las anteriores gráficas que la elevación la cual el nivel del mar  $S_{NM}$  se supera 12 horas al año es de 0.51 metros sobre el NMMA. Además, se tiene un rango de marea de 0.74 metros.

### RÉGIMEN EXTREMAL DEL NIVEL DEL MAR

Se debe hallar la elevación del nivel del mar, asociada a los oleajes extremales para el período de retorno considerado de 70 años. Para ello se hará uso la siguiente gráfica del Atlas de inundación.

## RÉGIMEN EXTREMAL DE NIVEL DE MAREA

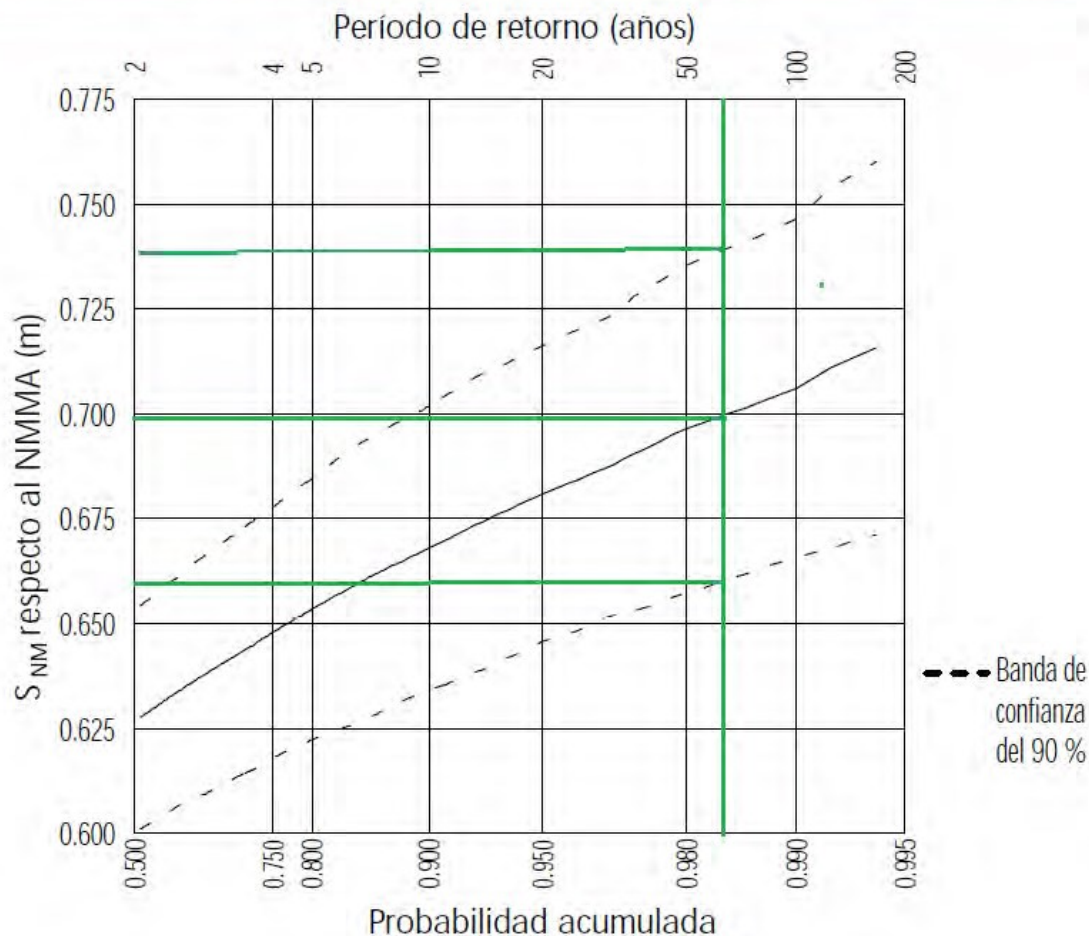


Figura 60.  $S_{NM}$  respecto al NMMA para el Régimen Extremal. Fuente: Atlas de Inundación en el Litoral Español

Así pues se extraen la siguiente información:

$T_R$ (años)	$S_{NM}$ (m)		Carrera de marea (m)	
	Estima central	Banda de confianza 90%	Estima central	Banda de confianza 90%
70	0.7	0.66-0.74	0.93	0.89-0.97

Tabla 10.  $S_{NM}$  y carrera de marea para Régimen extremal. Fuente: Atlas de Inundación en el Litoral Español

### CONSIDERACIONES DE LA ROM 0.2-90

Las recomendaciones de obras marítimas, ROM 0.2-90 en su tabla 3.4.2.1.1 establecen valores para los niveles característicos de las aguas libre exteriores en las zonas costeras españolas.

Para la zona de actuación se considera “Mar sin marea astronómica significativa” en condiciones extremas, al ser la situación más desfavorable. Así pues, el valor recomendado para caracterizar en condiciones extremas la sobreelevación de ola debido a la marea meteorológica y astronómica es de 0.80 metros respecto al NMM y respecto al NMMA será de 0.81 metros.

**TABLA 3.4.2.1.1. NIVELES CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS LIBRES EXTERIORES EN LAS ZONAS COSTERAS ESPAÑOLAS**

		Mar con marea astronómica	Mar sin marea astronómica significativa	Zonas con marea astronómica sometidas a corrientes fluviales	Corriente fluvial no afectada por mareas
En condiciones normales de operación	Nivel máximo	PMVE	NM + 0,3 m	PMVE y NMI	MNI
	Nivel mínimo	BMVE	NM – 0,3 m	BMVE y NME	NME
En condiciones extremas	Nivel máximo	PMVE + 0,5 m	NM + 0,8 m	PMVE y NMaxA	NMaxA
	Nivel mínimo	BMVE – 0,5 m	NM – 0,8 m	BMVE y NMinE	NMinE

**LEYENDA:**

PMVE: Pleamar máxima viva equinoccial.

BMVE: Bajamar mínima viva equinoccial.

NM: Nivel Medio del Nivel del Mar referido al cero hidrográfico de las cartas.

$$NM = \frac{PMVE + BMVE}{2}$$

CARRERA DE MAREA (Astronómica):  $h = PMVE - BMVE$

MNI: Media de los niveles máximos anuales en corrientes fluviales.

NME: Nivel Medio de Estiaje en corrientes fluviales.

NMaxA: Nivel Máximo de Avenida correspondiente al periodo de retorno asociado al máximo riesgo admisible.

NMinE: Nivel Mínimo de Estiaje correspondiente al periodo de retorno asociado al máximo riesgo admisible.

Figura 61. Niveles característicos de las aguas libres exteriores en las zonas costeras españolas. Fuente: ROM 0.2-90.

### NIVEL DEL MAR ADOPTADO

Como consecuencia del análisis anteriormente realizado, se tomarán los siguientes datos de marea para la realización de este estudio mediante cotas referidas al NNMA.

*Régimen medio del nivel del mar:* obtenido mediante el Atlas de Inundación.

- $S_{NM}$  que es superado 12 h al año: 0,51 metros.
- Carrera de marea: 0,74 metros.

*Régimen extremal del nivel del mar:*  $T_R=70$  años

$S_{NM}= 0,80$  metros en régimen extremal debido a que está entre los valores recogidos por el Atlas de inundación (0.74m), el mareógrafo (0.76m) y la ROM 0.2-90 (0.81m).

*Nivel de la BMVE:* Así pues, la BMVE será de 0,40 metros, con una carrera de marea de 1,20 metros (PMVE - BMVE del régimen extremal)

## 5. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

### 5.1. OBJETO

El oleaje incidente en la costa sufre de diferentes fenómenos que transforman los frentes de onda. Estos son:

- Asomeramiento (aumenta  $H_s$  y disminuye la longitud de onda)
- Refracción (giro del frente de onda por la diferencia de celeridades entre distintas profundidades)
- Difracción (cesión lateral de energía perpendicularmente a la dirección de propagación entre una zona de incidencia del oleaje y una zona de sombra resguardada de éste),
- Reflexión (parte de la energía es devuelta mar adentro debido a la presencia de un obstáculo o cambio brusco de profundidad)
- Disipación de energía por fondo.

Estos procesos generan variaciones en la altura de ola y en la dirección de propagación a medida que la profundidad va disminuyendo.

Por ello, se estudiará seguidamente la propagación del oleaje a profundidades distintas mediante dos métodos ya que esto proporcionará información sobre la incidencia del oleaje en la costa.

### 5.2. DATOS EMPLEADOS

Para este proyecto se recopilarán los datos del Punto SIMAR 2081111, como anteriormente se ha señalado.

Se propagará todos los valores de altura significativa con una probabilidad de ocurrencia mayor a 0 comprendidos entre las direcciones Norte -Sur (sentido de las agujas del reloj) siendo estas las predominantes en la zona de estudio.

En la tabla siguiente se muestra para cada dirección las diferentes  $H_s$  que se estudiarán. Han sido obtenidos a partir de la *Tabla 1 y 2*.

DIRECCIÓN	$H_s$
N	0.5/1/1.5/2
NNE	0.5/1/1.5/2/2.5/3
NE	0.5/1/1.5/2/2.5/3/3.5/4/4.5/5/5.5
ENE	0.5/1/1.5/2/2.5/3/3.5/4/4.5/5/5.5
E	0.5/1/1.5/2/2.5/3
ESE	0.5/1/1.5
SE	0.5/1/1.5
SSE	0.5/1/1.5
S	0.5/1

*Tabla 11. Casos de estudio. Fuente: Elaboración propia*

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

Para cada  $H_s$  se tiene un periodo pico ( $T_p$ ) distinto. A continuación se adjunta una tabla con estos datos:

$H_s$ (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
$T_p$ (s)	5.27	6.93	8.22	8.76	9.17	9.52	9.95	9.60	10.57	7.33	11.00

Tabla 12.  $H_s$ - $T_p$ . Fuente: Elaboración propia

### 5.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS

Para el estudio de los procesos litorales en el tramo de costa objeto de estudio se necesita estimar los parámetros del oleaje en profundidades relativamente bajas.

De este modo, a través de las figuras de propagación, será posible obtener una imagen cualitativa y cuantitativa del proceso de propagación desde profundidades indefinidas hasta en la zona de estudio. Esto permite detectar zonas con distinto comportamiento del flujo de energía del oleaje y así comprender los fenómenos responsables de los procesos litorales en esta zona.

En el presente documento, se hará uso de dos métodos para hallar la propagación del oleaje de aguas profundas a cierta profundidad.

El **primer método** se utiliza para caracterizar el patrón de oleaje en una zona de estudio para obtener, su bajo costo computacional permite propagar un alto número de trenes de ondas monocromáticos, los cuales se obtienen a partir de los regímenes medios direccionales en el área, que han sido anteriormente obtenidos en este informe.

Estos modelos representan bastante bien el patrón de oleaje, no obstante, tienden a sobreestimar las alturas de ola en profundidades reducidas. Pero si el objetivo es identificar los patrones de comportamiento del oleaje, estos modelos funcionan de manera satisfactoria.

El **segundo método** permite conocer en una zona de estudio la altura de ola estadísticamente representativa de un estado de mar (oleaje irregular aleatorio).

El modelo numérico que se va a utilizar se denomina Sistema de Modelado Costero (SMC) y ha sido elaborado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, para la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente.

Este modelo tiene en cuenta la difracción, refracción, asomeramiento y la disipación de energía debido a la fricción con el fondo y a la rotura del oleaje. Dentro del SMC, existe el modelo "MORfodinámica de PLAyas" (Mopla), siendo este programa capaz de simular en una zona litoral la propagación del oleaje desde profundidades indefinidas hasta la línea de costa.

Además, a partir de este oleaje se lleva a cabo el cálculo de corrientes inducidas en la zona de rompientes y un estudio de la sedimentación y erosión inicial.

## 5.4. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

### 5.4.1. Propagación del oleaje a d=15 metros

En este primer caso, se hará uso del primer método. En primer lugar, a partir de la *Tabla 1* que relaciona la altura de ola significativa con un periodo pico, se obtiene aplicando la siguiente fórmula un período pico promedio.

$$T_{promedio} = \frac{\sum_i [T_{p_i} * P(T_{p_i})]}{\sum_i P(T_{p_i})}$$

Hs (m)	Tp promedio (s)
0.5	5.27
1	6.93
1.5	8.22
2	8.76
2.5	9.17
3	9.52
3.5	9.95
4	9.60
4.5	10.57
5	7.33
5.5	11.00

Tabla 13. Resultados Tp promedio. Fuente: Elaboración propia

Una vez hallado el Tp se procede a calcular los coeficientes de asomeramiento y refracción, Kr y Ks. Para hallar Ks:

Hs (m)	Tp (s)	d (m)		Lo (m)	F(L)=0		L (m)	d/L(-)	¿?	Ks
0.50	5.27	15.00		43.40	0.000293373		42.393	0.354	Someras	0.963
1.00	6.93	15.00		74.94	-0.000711417		66.589	0.225	Someras	0.918
1.50	8.22	15.00		105.55	0.000233725		84.880	0.177	Someras	0.914
2.00	8.76	15.00		119.77	-0.000119604		92.273	0.163	Someras	0.918
2.50	9.17	15.00		131.32	-4.02159E-07		97.895	0.153	Someras	0.923
3.00	9.52	15.00		141.49	-5.43578E-07		102.610	0.146	Someras	0.928
3.50	9.95	15.00		154.65	-7.20847E-07		108.414	0.138	Someras	0.935
4.00	9.60	15.00		143.89	-0.000986163		103.690	0.145	Someras	0.929
4.50	10.57	15.00		174.48	-0.000786942		116.641	0.129	Someras	0.947
5.00	7.33	15.00		83.96	-1.20963E-05		72.394	0.207	Someras	0.914
5.50	11.00	15.00		188.92	-1.10632E-07		122.292	0.123	Someras	0.956

Tabla 14. Cálculo Ks. Fuente: Elaboración propia

$$L_0 = \frac{g * T_p^2}{2 * \pi}$$

$$L = \frac{g * T_p^2}{2 * \pi} * \tanh \frac{2 * \pi * d}{L} \quad (\text{se hará uso de la fc objetivo de Excel})$$

Comprobación de aguas someras  $\rightarrow \frac{d}{L} < 0.5$  sino aguas profundas

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{\tanh \frac{2 * \pi * d}{L}} * (1 + \frac{4 * \pi * d/L}{\sinh 4 * \pi * d/L})}$$

Para hallar Kr se utiliza el ángulo que forma la dirección del oleaje respecto a la perpendicular a la costa.

Direcciones	º respecto N	º respecto L.M.P.
NE	45	-22.5
ENE	67.5	0
E	90	22.5
ESE	112.5	45
SE	135	67.5
SSE	157.5	90
N	0	-67.5
NNE	22.5	-45

Tabla 15. Ángulo de los oleajes respecto la perpendicular a la costa. Fuente: Elaboración propia

Dirección	$\alpha$ (º)	$\alpha'$ (º)	Límite ángulo	Ks	Kr	H (m)	H' (m)	Prob
NE	-22.50	-21.95	DENTRO	0.963	0.998	0.50	0.480	3.876
	-22.50	-19.88	DENTRO	0.918	0.991	1.00	0.910	2.781
	-22.50	-17.92	DENTRO	0.914	0.985	1.50	1.351	0.755
	-22.50	-17.15	DENTRO	0.918	0.983	2.00	1.806	0.249
	-22.50	-16.58	DENTRO	0.923	0.982	2.50	2.266	0.083
	-22.50	-16.11	DENTRO	0.928	0.981	3.00	2.731	0.052
	-22.50	-15.56	DENTRO	0.935	0.979	3.50	3.206	0.021
	-22.50	-16.01	DENTRO	0.929	0.980	4.00	3.645	0.01
	-22.50	-14.82	DENTRO	0.947	0.978	4.50	4.165	0.005
	-22.50	-19.27	DENTRO	0.914	0.989	5.00	4.522	0.001
	-22.50	-14.34	DENTRO	0.956	0.977	5.50	5.132	0.005

Tabla 16. Cálculo  $\alpha'$ , Kr y Hs' para dirección Noreste. Fuente: Elebaración propia

$$\alpha' = \frac{L_0 * L}{L} * \sin \alpha_{LMP}$$

$$Kr = \sqrt{\cos \alpha' * \cos \alpha}$$

$$H'_s = Kr * Ks * H_s$$

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

Una vez hallado todo esto se procede a hacer una ordenación del oleaje dependiendo de la altura y ángulo de propagación.

	Hs (m)											Total
Direcciones	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N	0.325	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.325
NNE	0.566	0.331	0.095	0	0	0	0	0	0	0	0	0.992
NE	3.876	2.781	0.755	0.258	0.087	0.052	0.021	0.01	0.005	0.001	0.005	7.851
ENE	19.124	11.731	2.339	0.912	0.287	0.091	0.036	0.008	0.003	0.001	0.004	34.536
E	12.871	1.55	0.081	0.014	0.005	0.004	0	0	0	0	0	14.525
ESE	5.084	1.187	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	6.311
SE	0.924	0.014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.938
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 17. Propagación del oleaje con d=15 metros. Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2. Propagación del oleaje a d=3 metros

En este caso, mediante el programa mencionado anteriormente, se ha hallado la propagación del oleaje a una profundidad de 3 metros. Esta es de gran importancia ya que permite analizar el comportamiento del oleaje en la zona de estudio y por consiguiente las corrientes y dinámicas existentes en esta.

En primer lugar, se ha empleado una batimetría de la zona del proyecto, la cual se ha obtenido de Navionics. Los datos de esta batimetría se han debido de tratar, es decir, se han ido realizando acciones para que el programa MOPLA aceptase y reflejase lo correcto y deseado.

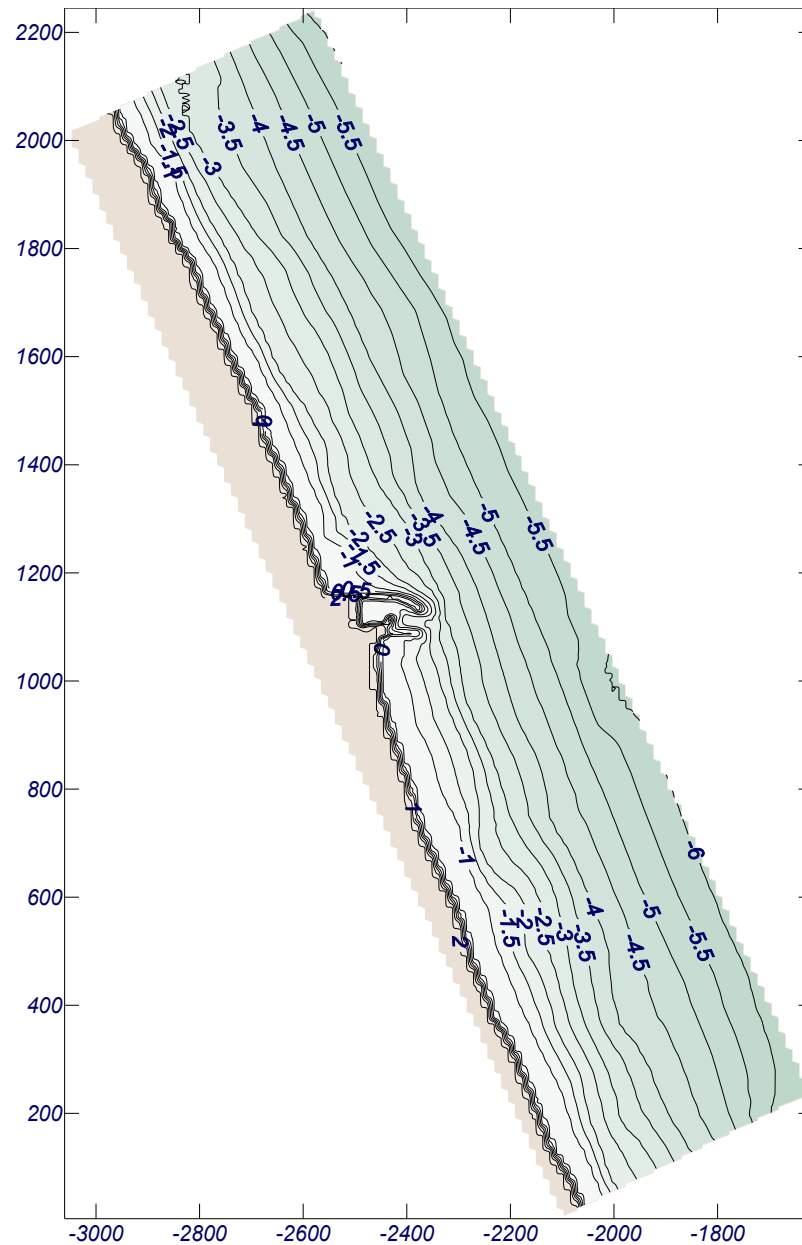


Figura 62. Batimetría generada en MOPLA. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para la aplicación de un modelo de propagación se requiere la definición de una o varias mallas que permitan introducir las condiciones de contorno en las que el oleaje queda definido.

En este caso, se han empleado dos mallas anidadas. Teniendo la más alejada de la costa una resolución de  $\Delta X = \Delta Y = 25\text{m}$  y para la malla de detalle, la más próxima a la costa, de  $\Delta X = \Delta Y = 5\text{m}$ .

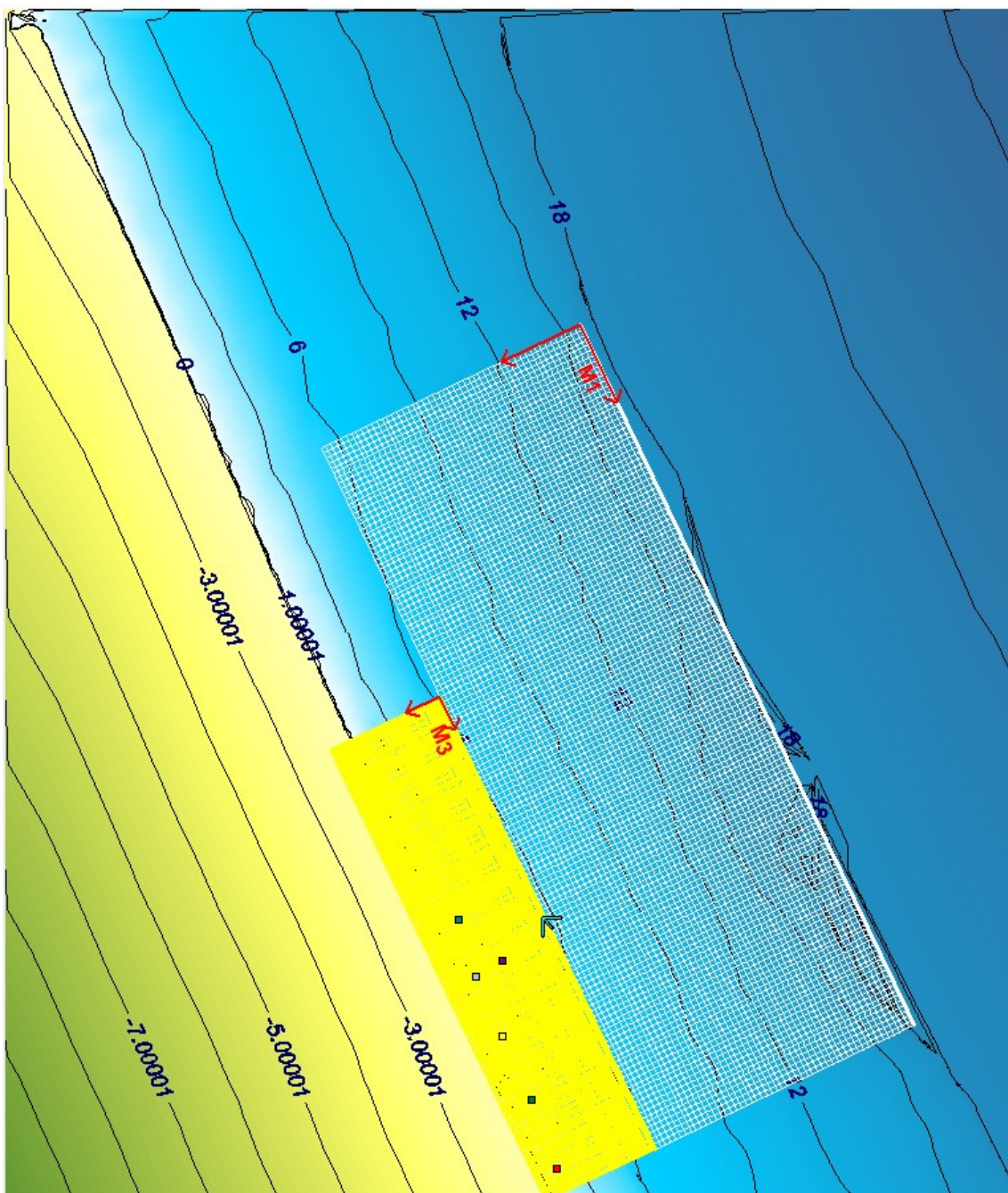


Figura 63. Mallas utilizadas en el SMC. Fuente: Elaboración propia

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

Una vez creados los casos y calculados, se llega a una propagación del oleaje a 3 metros de la siguiente manera:

Direcciones	Hs (m)											Total
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	> 5.0	
N												0
NNE	0.891	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.891
NE	4.139	0.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.215
ENE	19.124	16.062	3.175	1.175	0.373	0.004	0.143	0.057	0.018	0.002	0.017	40.15
E	19.142	0.053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.195
ESE	0.924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.924
SE												0
SSE												0

Tabla 18. Resultados propagación del oleaje d=3 mediante MOPLA. Fuente: Elaboración propia

Se observa que la dirección predominante del oleaje es la ENE seguida de las direcciones E, NE, ESE y NNE. Esto será la base para analizar las corrientes más significantes y observar el comportamiento de la costa.

## 6. CORRIENTES

### 6.1. OBJETO

La rotura del oleaje genera un sistema de corrientes, principalmente paralelas a la playa, que son función del ángulo con el que el oleaje llega a la costa y de su altura de olas.

Estas corrientes (corrientes longitudinales) tienen una importancia especial en la disposición de equilibrio de una playa, y más concretamente en su forma en planta, debido a su capacidad de transporte de arena.

En este estudio, las corrientes se obtienen por métodos numéricos, empleando el modelo de cálculo de corrientes asociado a la rotura de oleaje COPLA, desarrollado por el Instituto Hidrográfico de Cantabria.

El análisis de las corrientes de la playa del Perelló se realizará mediante los mismos datos proporcionados para hallar la propagación del oleaje. Con los resultados de este análisis se tendrá el conocimiento necesario para saber el comportamiento de la costa.

### 6.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El modelo COPLA proporciona información sobre las corrientes existentes en la playa del Perelló, mediante estas se podrá analizar el comportamiento y la influencia que tienen sobre el transporte de sedimentos.

Como anteriormente se ha mencionado, se ha creado una malla de detalle donde la resolución es de  $\Delta X = \Delta Y = 5\text{m}$ . Esto garantiza que el programa proporciona información bastante aproximada a la realidad, aunque hay que entender que da datos sobre corrientes en una dirección durante cierto tiempo y las corrientes en la realidad fluctúan dependiendo del cambiante oleaje.

Por otra parte, se han situado puntos de control para así asegurar la calidad de los resultados proporcionados. Se ha descrito para un intervalo de 1 segundo y duración de 500 segundos.

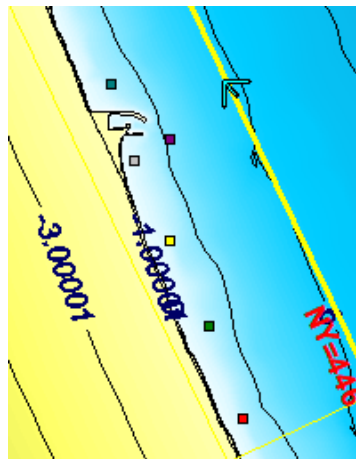
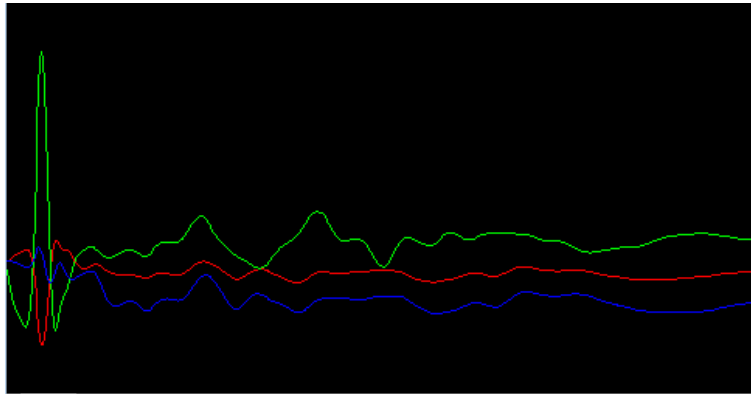


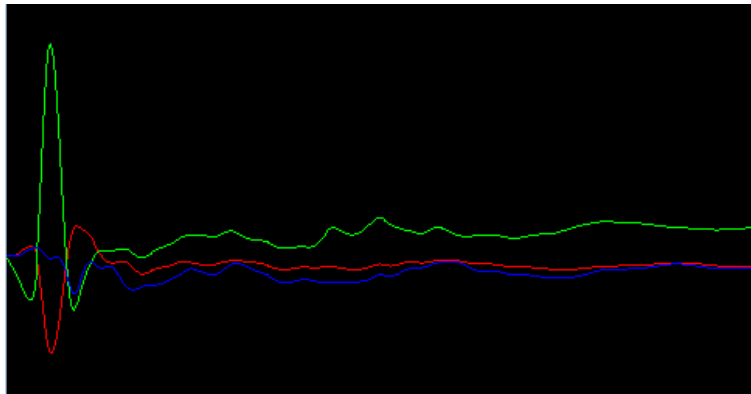
Figura 64. Situación de los puntos de control. Fuente: MOPLA

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

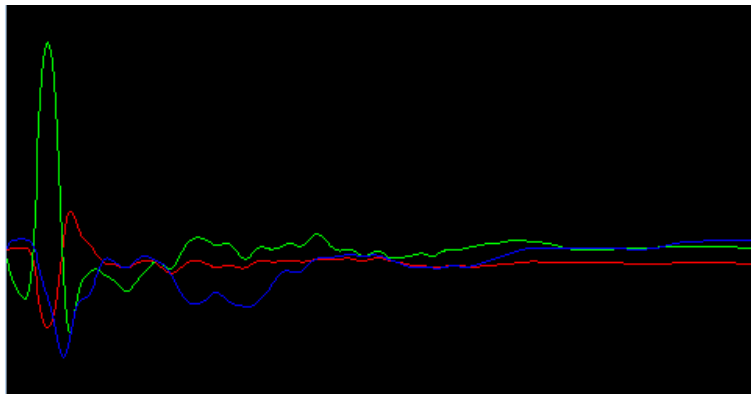
A continuación, se observa como el programa confirma la convergencia de esto:



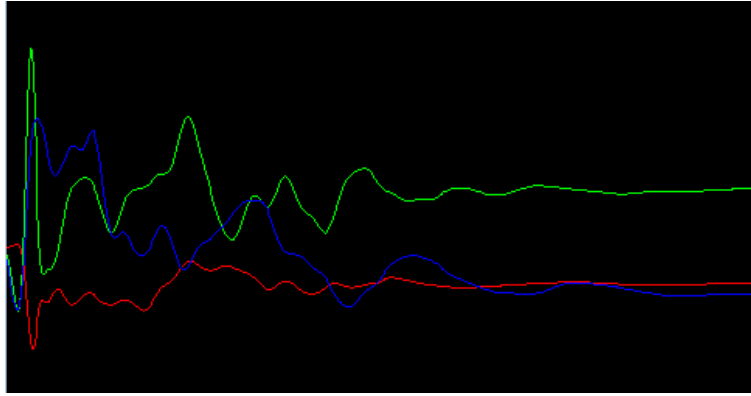
*Figura 65. Punto de control 1. Fuente: MOPLA*



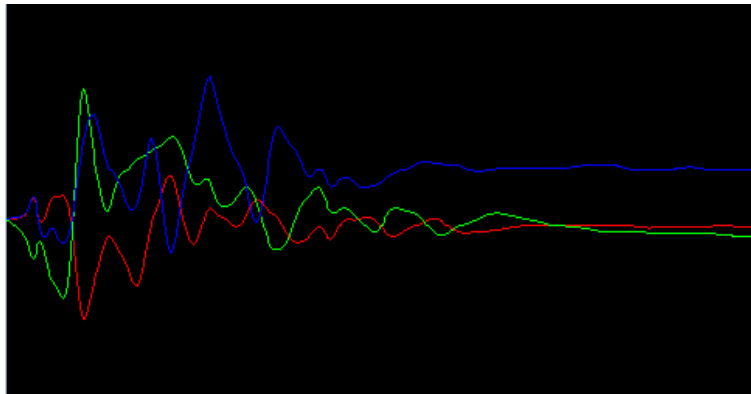
*Figura 66. Punto de control 2. Fuente: MOPLA*



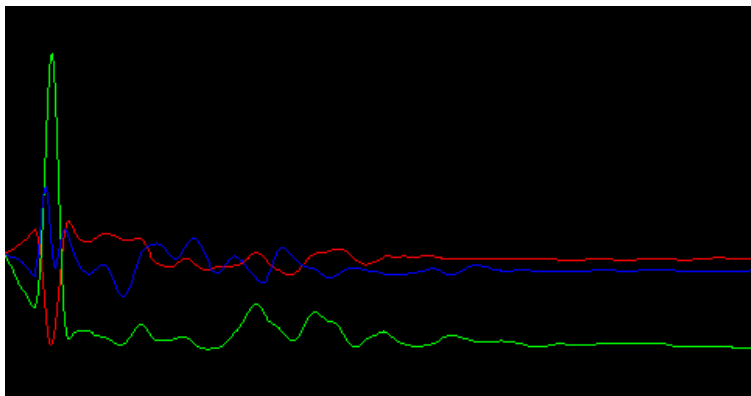
*Figura 67. Punto de control 3. Fuente: MOPLA*



*Figura 68. Punto de control 4. Fuente: MOPLA*



*Figura 69. Punto de control 5. Fuente: MOPLA*



*Figura 70. Punto de control 6. Fuente: MOPLA*

Una vez obtenidas las gráficas con las corrientes provocadas por los oleajes de distintas direcciones, se realizará un análisis gráfico del comportamiento de la costa. Con esto se tendrá una primera vista con la que se apoyará más adelante con los resultados del programa EROS y así describir el comportamiento de la costa para aplicar las soluciones más adecuadas.

### 6.3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se desarrollarán los resultados obtenidos junto con el análisis gráfico. Puesto que el comportamiento es muy similar para una dirección de oleaje, tomando como variable la altura de ola significativa ( $H_s$ ), se ha optado por analizar la  $H_s$  más predominante en cada dirección. El análisis se realizará mediante los resultados de la propagación del oleaje a 3 metros.

#### ***Dirección NNE***

Por lo que respecta a la dirección de oleaje proveniente de NNE, se tiene que su probabilidad de ocurrencia es baja y únicamente con una altura de ola significativa de 0.5 metros. Esto significa que esta dirección proporcionará pocas variaciones o efectos sobre la costa.

Por medio del análisis gráfico, se observa en la siguiente imagen una tendencia en cuanto al sentido general de las corrientes de Norte-Sur.

Existen tramos dentro de la zona de estudio donde se pueden aislar comportamientos dependiendo de la latitud de donde proceda el oleaje en cuestión.

En primer lugar, al Sur del Puerto del Perelló, se tiene un módulo de corrientes que generaran acreción y por consiguiente más al Sur se producirá erosión.

Todo seguido, más al Sur, se tiene otro módulo de corrientes el cual va orientándose paralelamente a la costa con dirección Norte-Sur. Además, se observa que adquiere la orientación marcada por la batimetría, provocando erosión en la costa donde la batimetría crece en poca distancia y viceversa, provocando la acreción. Este módulo se repite hasta el fin de la zona de estudio.

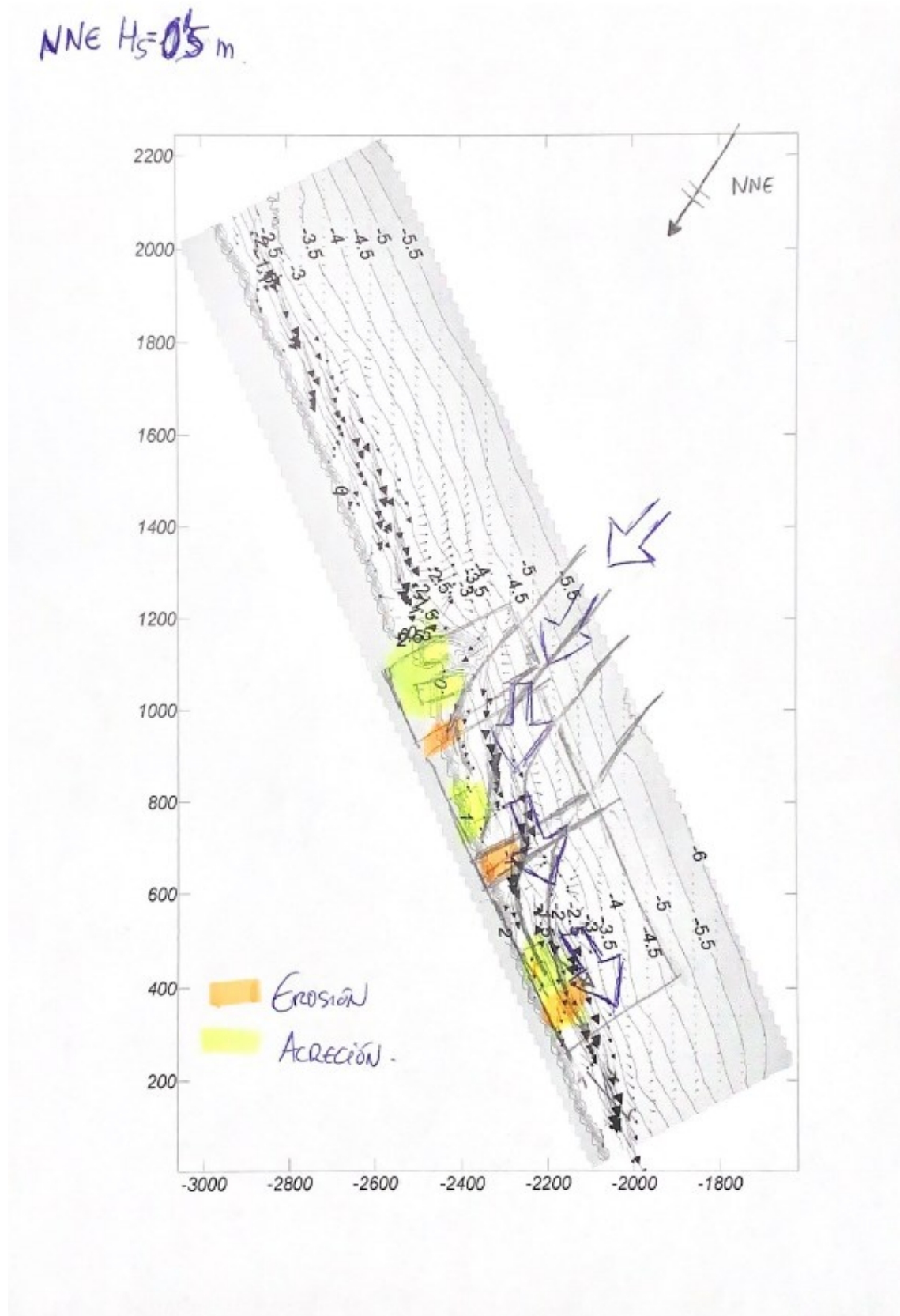


Figura 71. Análisis de las corrientes en la dirección de oleaje NNE y  $H_s=0.5$ m. Fuente: Elaboración propia

### ***Dirección NE***

En cuanto a la dirección de oleaje proveniente de NE, se tiene que su probabilidad de ocurrencia es considerable y el rango en el que se comprende la altura de ola significativa es de [0.5-1] metros. Esto significa que esta dirección será más relevante en los efectos producidos en la costa.

Por medio del análisis gráfico, se observa en la siguiente imagen una tendencia en cuanto al sentido general de las corrientes de Norte-Sur.

Existen tramos dentro de la zona de estudio donde se pueden aislar comportamientos dependiendo de la latitud de donde proceda el oleaje en cuestión.

En primer lugar, al igual que la anterior dirección, al Sur del Puerto del Perelló se observa un módulo de corrientes que generaran acreción y por consiguiente más al Sur se producirá erosión.

Todo seguido, más al Sur, se tiene otro módulo de corrientes el cual va orientándose paralelamente a la costa con dirección Norte-Sur. Además, se observa que adquiere la orientación marcada por la batimetría, provocando erosión en la costa donde la batimetría crece en poca distancia y viceversa, provocando la acreción. Este módulo se repite hasta el fin de la zona de estudio.

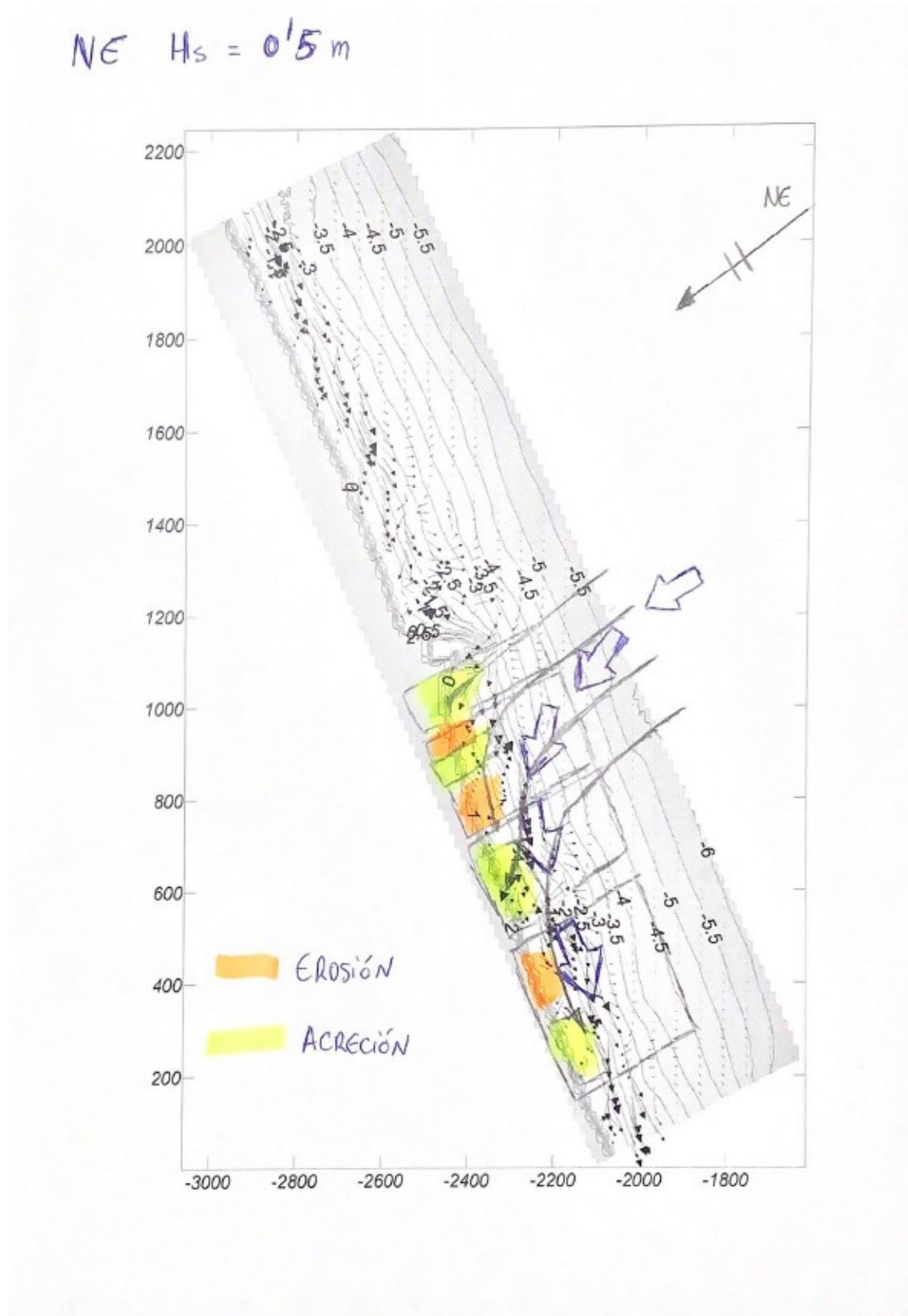


Figura 72. Análisis de las corrientes en la dirección de oleaje NE y  $H_s=0.5\text{ m}$ . Fuente: Elaboración propia

### ***Dirección ENE***

Por lo que respecta a la dirección de oleaje proveniente de ENE, se tiene que su probabilidad de ocurrencia es la más elevada y el rango en el que se comprende la altura de ola significativa es de [0.5-5.5] metros. Esto significa que esta dirección será la más relevante en los efectos producidos en la costa.

Por medio del análisis gráfico, se observa en la siguiente imagen que no existe una tendencia en cuanto al sentido general de las corrientes debido a la perpendicularidad a la costa.

Existen tramos dentro de la zona de estudio donde se pueden aislar comportamientos dependiendo de la latitud de donde proceda el oleaje en cuestión.

En primer lugar, al Sur del Puerto del Perelló, se tiene un módulo de corrientes que generaran acreción y por consiguiente más al Sur se producirá erosión.

Todo seguido, más al Sur, se tiene un módulo de corrientes el cual va generándose un célula (remolino) debido a las corrientes de retorno tanto Norte como Sur. Además, se observa que donde coinciden las corrientes se genera erosión y justo donde la corriente es paralela a la costa, se genera acreción. Este módulo se repite hasta el fin de la zona de estudio.

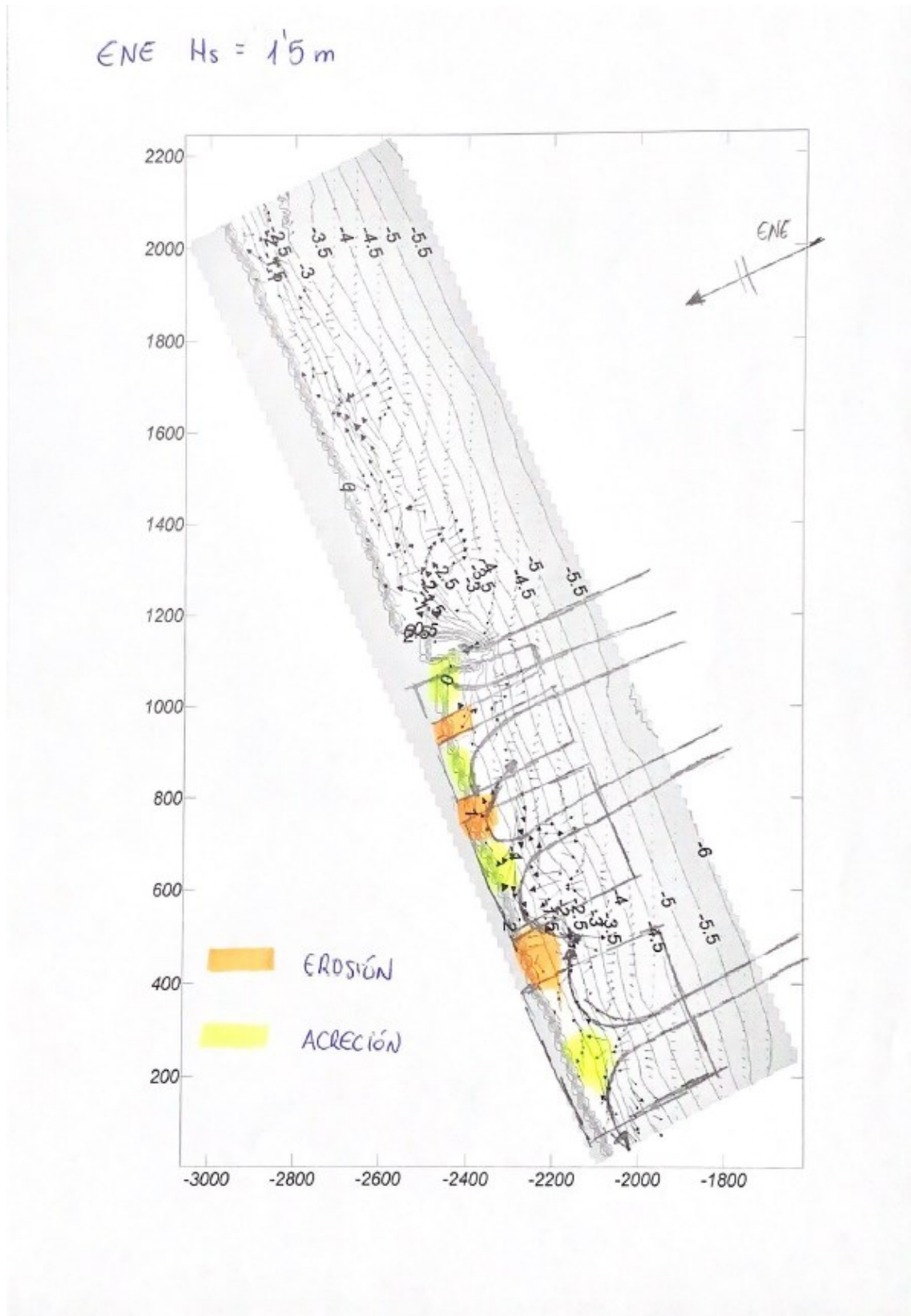


Figura 73. Análisis de las corriente en la dirección de oleaje ENE y  $H_s=1.5\text{m}$ . Fuente: Elaboración propia

### ***Dirección E***

Por lo que respecta a la dirección de oleaje proveniente de E, se tiene que su probabilidad de ocurrencia es elevada y el rango en el que se comprende la altura de ola significativa es de [0.5-1] metros. Esto significa que esta dirección será relevante en los efectos producidos en la costa.

Por medio del análisis gráfico, se observa en la siguiente imagen una tendencia en cuanto al sentido general de las corrientes de Sur-Norte aunque se generen corrientes de retorno. Esto se debe a que estas corrientes en magnitud son menores.

Existen tramos dentro de la zona de estudio donde se pueden aislar comportamientos dependiendo de la latitud de donde proceda el oleaje en cuestión.

En primer lugar, se observa como esta dirección genera corrientes que afectan al interior de Puerto del Perelló. Al Sur del puerto, se tiene un módulo de corrientes que generaran acreción y por consiguiente más al Sur se producirá erosión.

Todo seguido, más al Sur, se tiene un módulo de corrientes el cual va generándose un célula (remolino) debido a las corrientes de retorno tanto Norte como Sur. Además, se observa que donde coinciden las corrientes se genera erosión y justo donde la corriente es paralela a la costa, se genera acreción. Este módulo se repite hasta el fin de la zona de estudio.

$$E \quad H_s = 0.5 \text{ m}$$

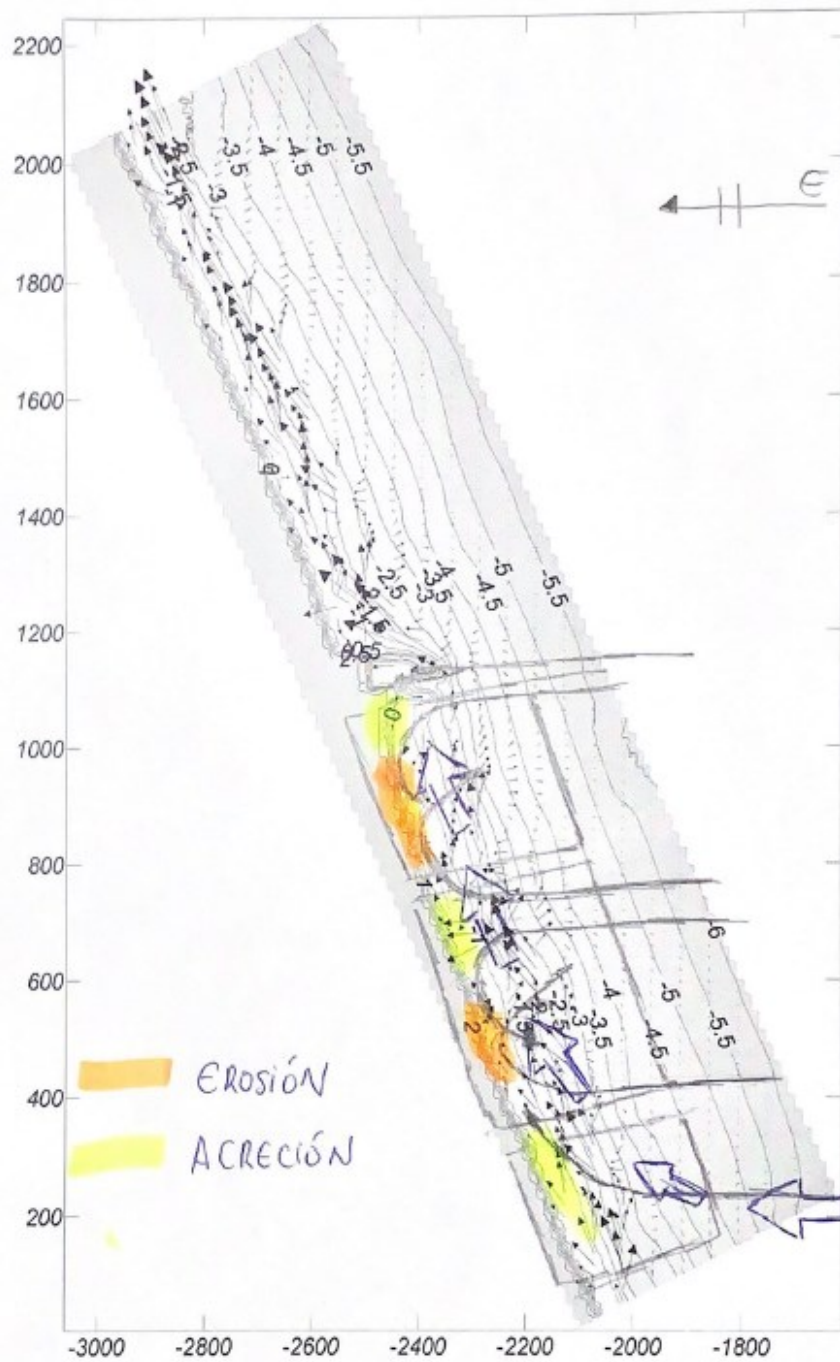


Figura 74. Análisis de las corrientes en la dirección de oleaje E y  $H_s=0.5\text{m}$ . Fuente: Elaboración propia

### ***Dirección ESE***

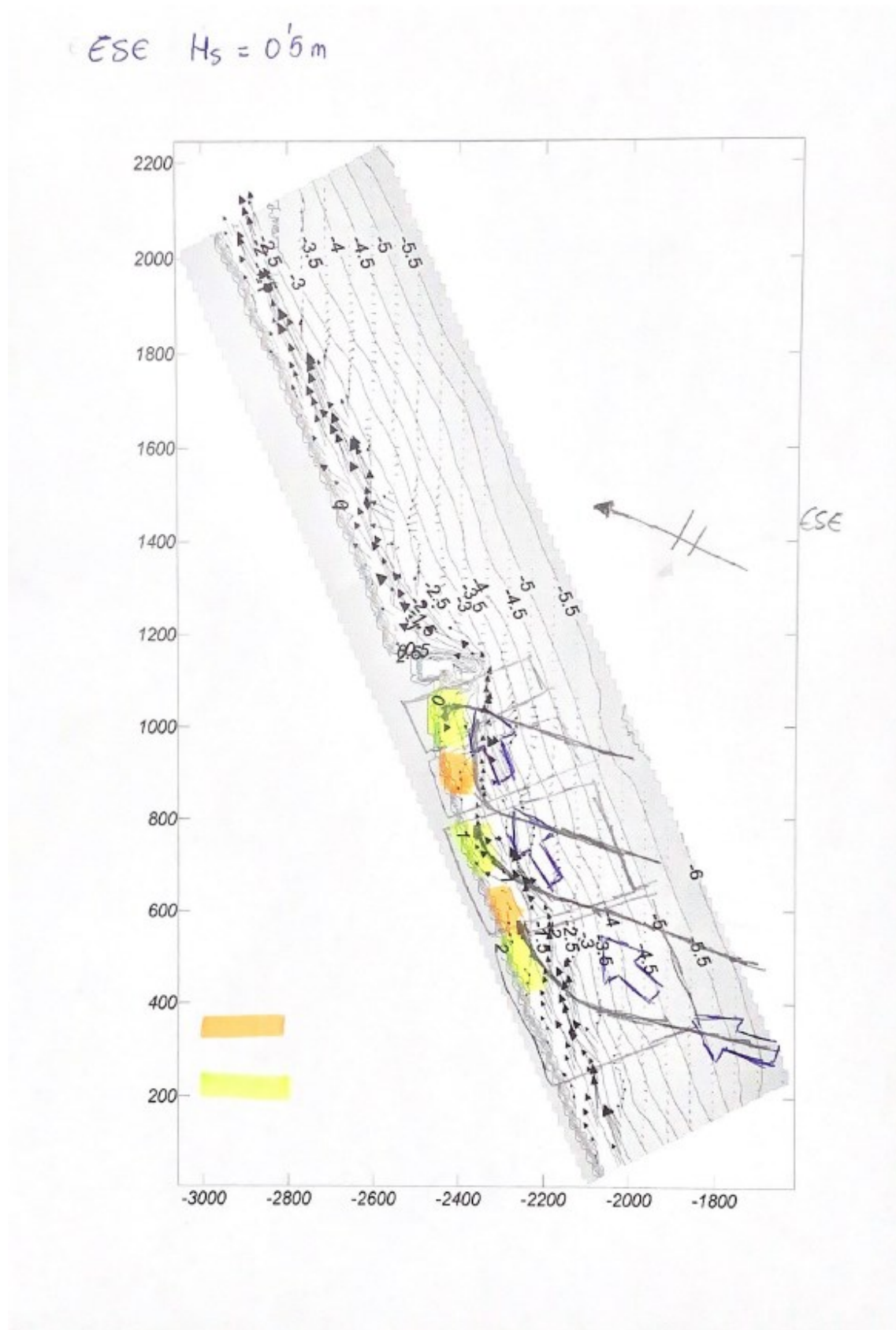
Por lo que respecta a la dirección de oleaje proveniente de ESE, se tiene que su probabilidad de ocurrencia es baja y únicamente con una altura de ola significativa de 0.5 metros. Esto significa que esta dirección proporcionará pocas variaciones o efectos sobre la costa.

Por medio del análisis gráfico, se observa en la siguiente imagen una tendencia en cuanto al sentido general de las corrientes de Sur-Norte.

Existen tramos dentro de la zona de estudio donde se pueden aislar comportamientos dependiendo de la latitud de donde proceda el oleaje en cuestión.

En primer lugar, al Sur del Puerto del Perelló, se tiene un módulo de corrientes que generaran acreción y por consiguiente más al Sur se producirá erosión.

Todo seguido, más al Sur, se tiene otro módulo de corrientes el cual va orientándose paralelamente a la costa con dirección Norte-Sur. Además, se observa que adquiere la orientación marcada por la batimetría, provocando erosión en la costa donde la batimetría crece en poca distancia y viceversa, provocando la acreción. Este módulo se repite hasta el fin de la zona de estudio.



Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

Para reforzar los resultados proporcionados por el modelo, se tiene una la siguiente imagen, aquí se observan la alternancia de tramos con erosión y acreción producidos por las corrientes estudiadas.



*Figura 76. Costa del Perelló Marzo 2017. Fuente: Google Earth*

## 7. TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

### 7.1. OBJETO

El transporte sólido litoral es un concepto que va ligado a las corrientes y por consiguiente, al oleaje que sufre la playa del Perelló. Este concepto tiene que ver con los m<sup>3</sup> de arena o sedimentos desplazados, y su dirección de desplazamiento.

Con esto, se analizará el estado de la playa actual y futuro, y se divagará entre las posibles soluciones para mitigar los posible problemas.

### 7.2. CÁLCULO DEL TRANSPORTE SÓLIDO

Para el cálculo del transporte, se utilizará la estimación de la capacidad de transporte de sedimentos para aguas poco profundas según la CERC. Ésta está recogida en el "Shore Protection Manual (1984) y CEM (2001). En este caso se calculará para una profundidad de 3 metros.

Primeramente, se determina la componente longitudinal del flujo de energía Pl.

$$Pl = (E * C_g) * \sin 2\alpha$$

Siendo:

$$E = \frac{1}{8} * \rho * g * H^2$$

$$C_g = \sqrt{d * g}$$

- P = 1027 kg/m<sup>3</sup> (densidad agua marina)
- g = 9.81 m/s<sup>2</sup> (gravedad)
- H (altura de ola)
- d (profundidad)
- $\alpha$  (ángulo relativo entre la línea de costa asociada y el frente de ondas)

A partir de esto, se puede obtener la componente de flujo mediante:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{K}{(\rho - \rho_s) * g * (1 - n)} * Pl * \sin 2\alpha$$

Donde:

$$K = 1.4 * e^{-2.5 * D_{50}}$$

- $\rho_s$  (densidad del sedimento)

Estudio de soluciones para mitigar la problemática erosiva de la Playa del Perelló, T.M. Sueca, Valencia.

Aplicando esto al caso del Perelló, se obtiene:

Direcciones	Hs (m)											Total
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
NNE	211166.0356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	211166.036
NE	187849.8113	13797.1352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201646.946
ENE (N-S)	4789.794787	16091.5465	7156.89113	4708.64579	2335.5384	36.066223	1754.97239	913.67765	365.170508	50.0919764	515.195978	38717.5914
ENE (S-N)	-535.5920352	-1799.34726	-800.279356	-526.518002	-261.15853	-4.03290384	-196.239981	-102.166897	-40.8331514	-5.60125534	-57.6089111	-4329.37829
E	-190770.8923	-2112.81105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-192883.703
ESE	-211166.0356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-211166.036
												43151.4562

Tabla 19. Transporte de sedimentos. Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un transporte de sedimentos Norte-Sur de 43151 m<sup>3</sup>/año.

### 7.3. RESULTADOS MOPLA

A continuación, se mostrarán una serie de gráficas obtenidas mediante el programa MOPLA con el fin de mostrar de forma gráfica lo expresado anteriormente.

## Proyecto: Playa del Perelló

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

### Caso monocromático: M302

**M3:** Malla detalle  
**02:** NNE Hs=0.5

#### Características de la simulación

##### OLUCA-MC

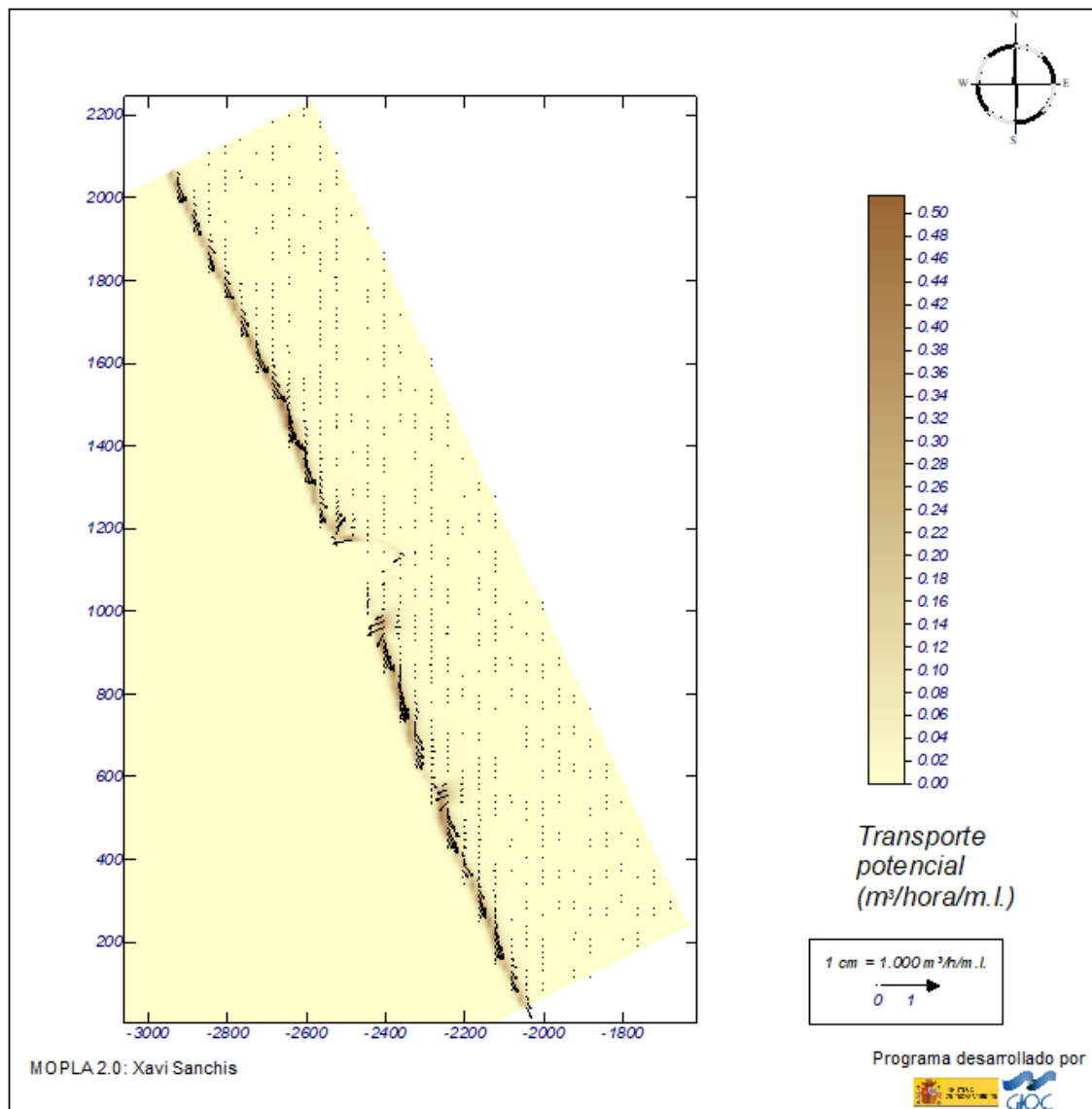
Periodo T: 5.27 s  
Altura H: 0.5 m  
Dirección: 42° (N22.5E)  
Marea NM: 0 m

##### COPLA-MC

Chezy C: 10 m<sup>-1/3</sup>s  
Viscosidad de remolino  $\nu$ : 2 m<sup>2</sup>/s

##### MOPLA-MC

D<sub>50</sub>: 0.25 mm  
Duración: 24.0 h  
Formulación: Soulsby



## Proyecto: Playa del Perelló

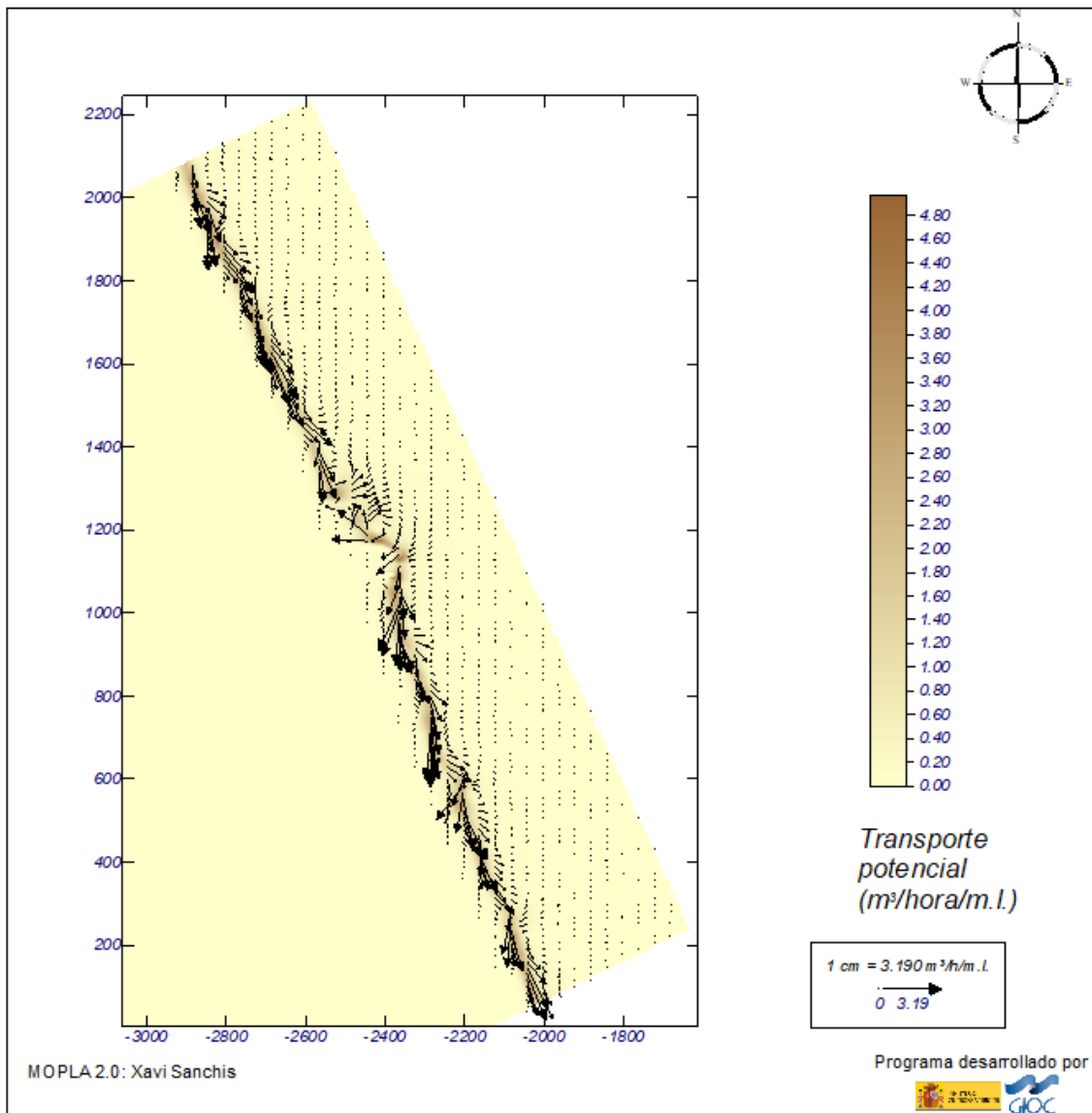
Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

### Caso monocromático: M306

**M3:** Malla detalle  
**06:** NE Hs=1

#### Características de la simulación

OLUCA-MC	COPLA-MC	MOPLA-MC
Período T: 6.93 s Altura H: 1 m Dirección: 19.5° (N45.0E) Marea NIM: 0 m	Chezy C: 10 m <sup>-1/3</sup> s Viscosidad de remolino $\nu$ : 2 m <sup>2</sup> /s	D <sub>50</sub> : 0.25 mm Duración: 24.0 h Formulación: Soulsby



## Proyecto: Playa del Perelló

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

### Caso monocromático: M317

**M3:** Malla detalle  
**17:** ENE Hs=1

#### Características de la simulación

##### OLUCA-MC

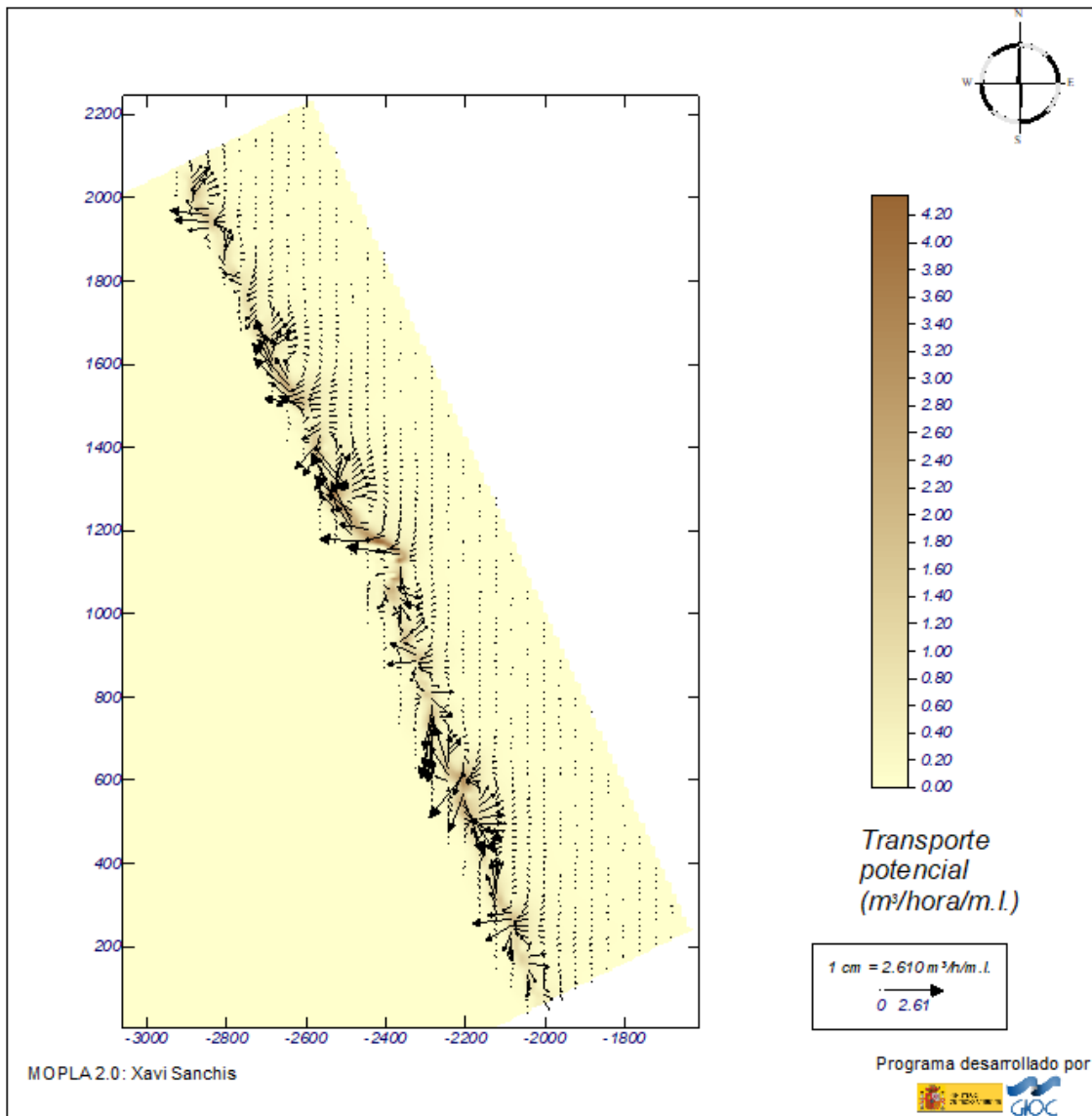
Periodo T: 8.93 s  
Altura H: 1 m  
Dirección: -3 ° (N67.5E)  
Marea NM: 0 m

##### COPLA-MC

Chezy C: 10 m<sup>-1/3</sup>s  
Viscosidad de remolino  $\nu$ : 2 m<sup>2</sup>/s

##### MOPLA-MC

D<sub>50</sub>: 0.25 mm  
Duración: 24.0 h  
Formulación: Soulsby



## Proyecto: Playa del Perelló

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

### Caso monocromático: M327

**M3:** Malla detalle  
**27:** E Hs=0.5

#### Características de la simulación

##### OLUCA-MC

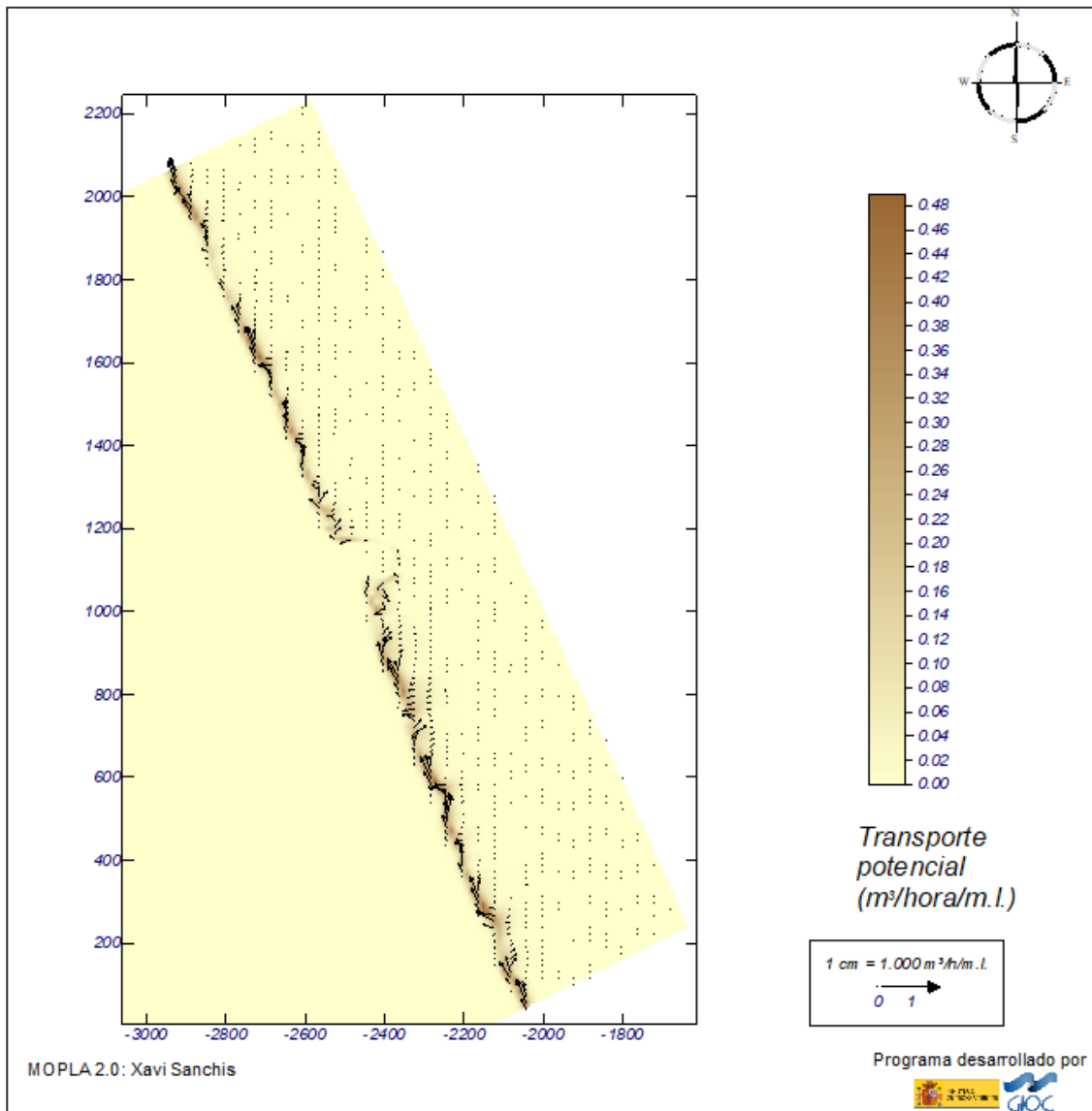
Periodo T: 5.27 s  
Altura H: 0.5 m  
Dirección: -25.5 ° (E)  
Marea NM: 0 m

##### COPLA-MC

Chezy C: 10 m<sup>-1/3</sup>s  
Viscosidad de remolino  
 $\nu$ : 2 m<sup>2</sup>/s

##### MOPLA-MC

D<sub>50</sub>: 0.25 mm  
Duración: 24.0 h  
Formulación:  
Soulisby



## Proyecto: Playa del Perelló

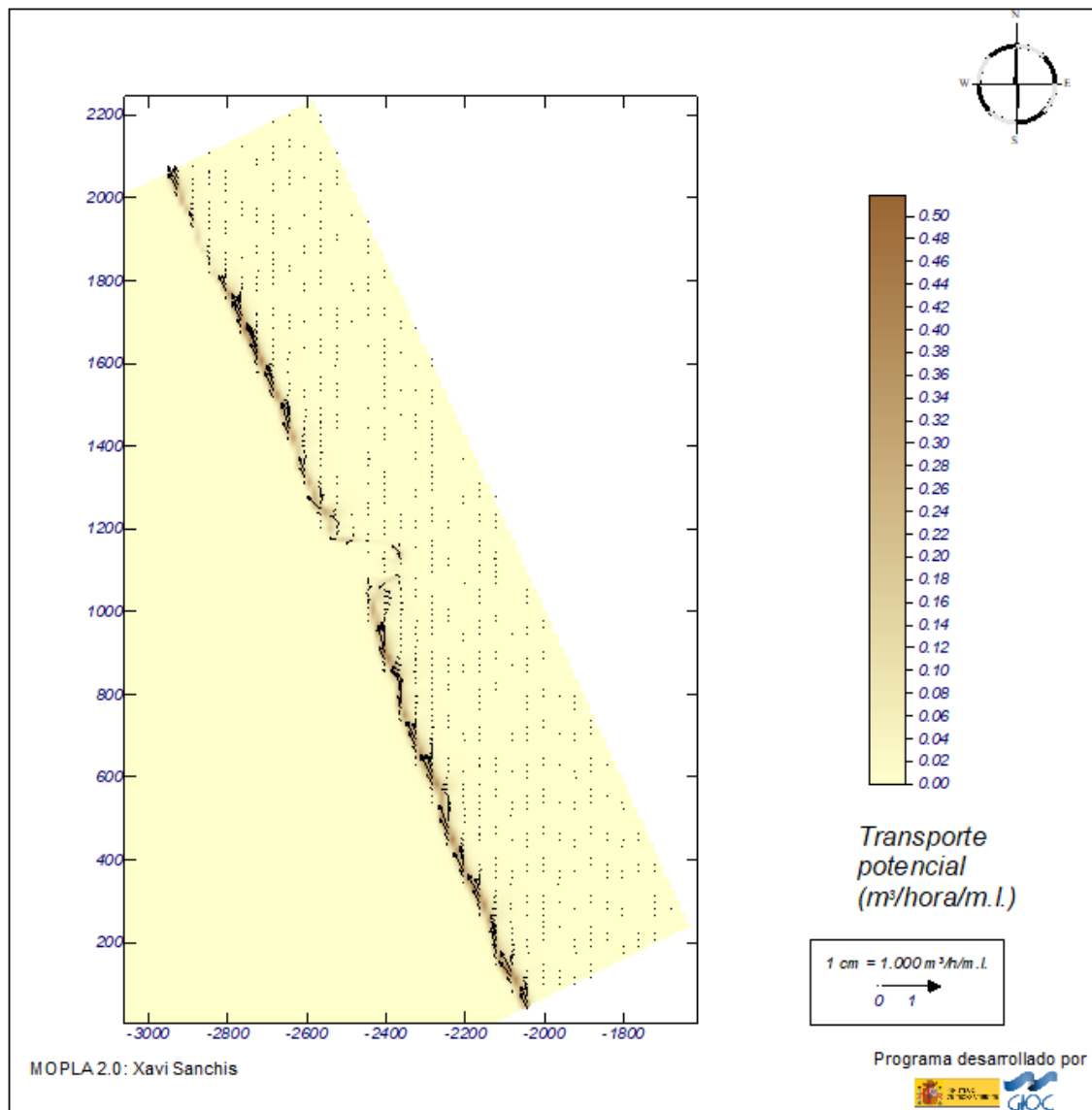
Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

### Caso monocromático: M332

**M3:** Malla detalle  
**32:** ESE Hs=0.5

#### Características de la simulación

OLUCA-MC	COPLA-MC	MOPLA-MC
Periodo T: 5.27 s Altura H: 0.5 m Dirección: -48 ° (S67.5E) Marea NM: 0 m	Chezy C: 10 m <sup>-1/3</sup> s Viscosidad de remolino $\nu$ : 2 m <sup>2</sup> /s	D <sub>50</sub> : 0.25 mm Duración: 24.0 h Formulación: Soulsby



## 8. CONCLUSIONES

En este documento se ha llegado a unos resultados los cuales permiten saber con considerable exactitud lo que ocurre en la playa del Perelló.

Para llegar a esto, se ha ido recabando diferentes datos siendo estos tratados más el uso de programas de modelaje de costas (MOPLA). Gracias a este programa, se ha realizado una caracterización del oleaje de régimen medio a 3 metros de profundidad, ya que se observa en los resultados del oleaje y de las corrientes como a esta profundidad van formándose los diferentes procesos estudiados.

Gracias a este documento, se pueden plantear soluciones para poder evitar o provocar estos procesos como los son la erosión y la acreción. Así, conseguir una estabilidad de la playa frente a cualquier temporal o construcción que pueda ser una barrera.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Escrivá, J. A. (Julio 2007). *ESTUDIO INTEGRAL DEL FRENTE LITORAL ENTRE LOS RÍOS JÚCAR Y RACONS PARA EL DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE REGENERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL BORDE LITORAL*.

HIDTMA & MITECO. (2006). *Estudio ecocartográfico del litoral de las provincias de Alicante y Valencia*.

IH CANTABRIA. (s.f.). *ATLAS DE INUNDACIÓN EN EL LITORAL PENINSULAR ESPAÑOL*.

IH CANTABRIA. (s.f.). *Manual MOPLA de SMC*.

Puertos del Estado. (1991). *ROM 0.3-91: OLAJE ANEJO I: CLIMA MARÍTIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL*.

Puertos del Estado. (2018). *Informe de régimen extremal de oleaje, Boya de Valencia*.

Puertos del Estado. (2018). *Informe de régimen medio de oleaje, Boya de Valencia*.

Puertos del Estado. (2019). *Informe mareógrafo REDMAR de Valencia 3*.

Puertos del Estado. (2022). *Informe de régimen medio de oleaje, Punto SIMAR 2081111*.

PUERTOS DEL ESTADO. (2023). *Oceanografía*. Obtenido de <http://puertos.es>

U.S. Army. (2002). *Shore Protection Manual (SPM)*.