INFORME PARCIAL Nº 2

CARACTERIZACIÓN DE LAS PAUTAS DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTO

INDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

2 A – ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 1

2.1 ANÁLISIS DE LA GEOMORFOLOGÍA HISTÓRICA Y GENERAL 1

2.1.1 ESTRATIGRAFÍA 3

2.1.2 EMPLAZAMIENTO TECTÓNICO REGIONAL 6

2.1.3 SISMICIDAD 7

2.1.4 GEOMORFOLOGÍA GENERAL 13

2.2 ESTUDIO DE LAS FORMAS GEOMORFOLÓGICAS 13

2.2.1 GEOMORFOLOGÍA DE PROCESOS 13

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES Y SUMIDEROS 19

3 B – CLIMA MARÍTIMO 29

3.1 FUENTES DE DATOS 29

3.2 CLIMA MEDIO DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS 30

3.2.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE 30

3.2.2 REGIMEN MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS 36

3.2.3 DISTRIBUCION DE Tp 39

3.3 CLIMA EXTREMAL DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS 42

3.3.1 REGIMEN EXTREMAL ESCALAR 42

3.3.2 REGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL 43

3.4 CONDICIONES DEL VIENTO 47

3.4.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL 47

3.4.2 RÉGIMEN MEDIO ESCALAR 49

3.5 CORRELACIÓN VIENTO-OLEAJE 49

3.6 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE 52

3.6.1 METODOLOGÍA 52

3.6.2 CASOS A ANALIZAR 53

3.6.3 CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE EN LA ZONA DE ESTUDIO 53

4 C – ESTUDIO DE DINÁMICA MARINA EN EL ENTORNO DE LOS BALNEARIOS 61

4.1 METODOLOGÍA 61

4.2 INSTALACIÓN DE APARATOS DE MEDICIÓN 61

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS 61

4.2.2 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS 68

4.3 SIMULACIONES NUMÉRICAS DE DETALLE 70

4.3.1 ESTUDIO DE PROPAGACIONES 70

4.3.2 CORRIENTES INDUCIDAS POR ROTURA DEL OLEAJE 72
4.3.3 CÁLCULO DE LAS TASAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS 73
4.4 FLUJO MEDIO Y PROFUNDIDAD DE CIERRE 79
4.5 CÁLCULO DEL TRANSPORTE Y DIRECCIÓN MORFOLÓGICA 80
4.6 PERFIL BIPARABÓLICO DE EQUILIBRIO 84
4.7 PLANTA DE EQUILIBRIO 89
4.8 CONCLUSIONES 90
5 E – VALIDACIÓN DE LA MODELIZACIÓN NUMERICA 92
5.1 METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS 92
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN CAMPO 93
5.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE CALIBRADO 94
6 F – CONCLUSIONES 97

ANEXO I SALIDAS GRÁFICAS DE PROPAGACIONES EXTERIORES
ANEXO II SALIDAS GRÁFICAS DE PROPAGACIONES DE DETALLE
ANEXO III SALIDAS GRÁFICAS DE CORRIENTES
ANEXO IV SALIDAS GRÁFICAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
ANEXO V ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE MEDICIÓN
ANEXO VI REGISTRO DE RESULTADOS DE LOS EQUIPOS
ANEXO VII REPORTAJE FOTOGRÁFICO

1 INTRODUCCIÓN

El MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES con fecha 22 de Octubre de 2013 publico el consentimiento de la Buena Pro otorgada al Consorcio Internacional AC-INC, conformado por las empresas ACCIONA INGENIERIA S.A SUCURSAL DEL PERU, INVESTIGACION Y CONTROL DE CALIDAD S.A. SUCURSAL DEL PERU Y FREUD EDISON MEZA HIJAR.

Producto de esta adjudicación con fecha 05 de Noviembre del 2013 se firma el CONTRATO Nº 120-2013-MTC/10 para la realización del Servicio de Consultoría del "Estudio de Regeneración del Borde Costero de los Balnearios de las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco" con la finalidad de proponer las alternativas de actuación encaminadas a la mejora y estabilización de las playas en los mencionados balnearios, lo que se realizara en base al estudio integral de los procesos hidrodinámicos y de dinámica sedimentaria, de manera que la Administración competente pueda tomar las decisiones más convenientes en el medio y largo plazo en el marco de una Gestión Integrada de Zonas Costeras

El presente Informe corresponde al tomo I de la Entrega nº 2 del proyecto de referencia de acuerdo a los criterios establecido en el punto nº 19. Documentación a ser presentada por el Consultor, incluido en las Bases Integradas del Concurso. El contenido de este informe responde a lo indicado en las mencionadas Bases.

2 A – ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

2.1 ANÁLISIS DE LA GEOMORFOLOGÍA HISTÓRICA Y GENERAL

La zona de estudio se encuentra íntegramente dentro del Límite Distrital de Trujillo (ver Figura 1). Por otra parte, la provincia de Trujillo se encuentra situada en su totalidad dentro de la cuenca hidrográfica del río Moche, que nace en las cumbres de la cordillera occidental andina y se extiende sinuosamente a lo largo de 102 km hasta desembocar en el Océano Pacífico.

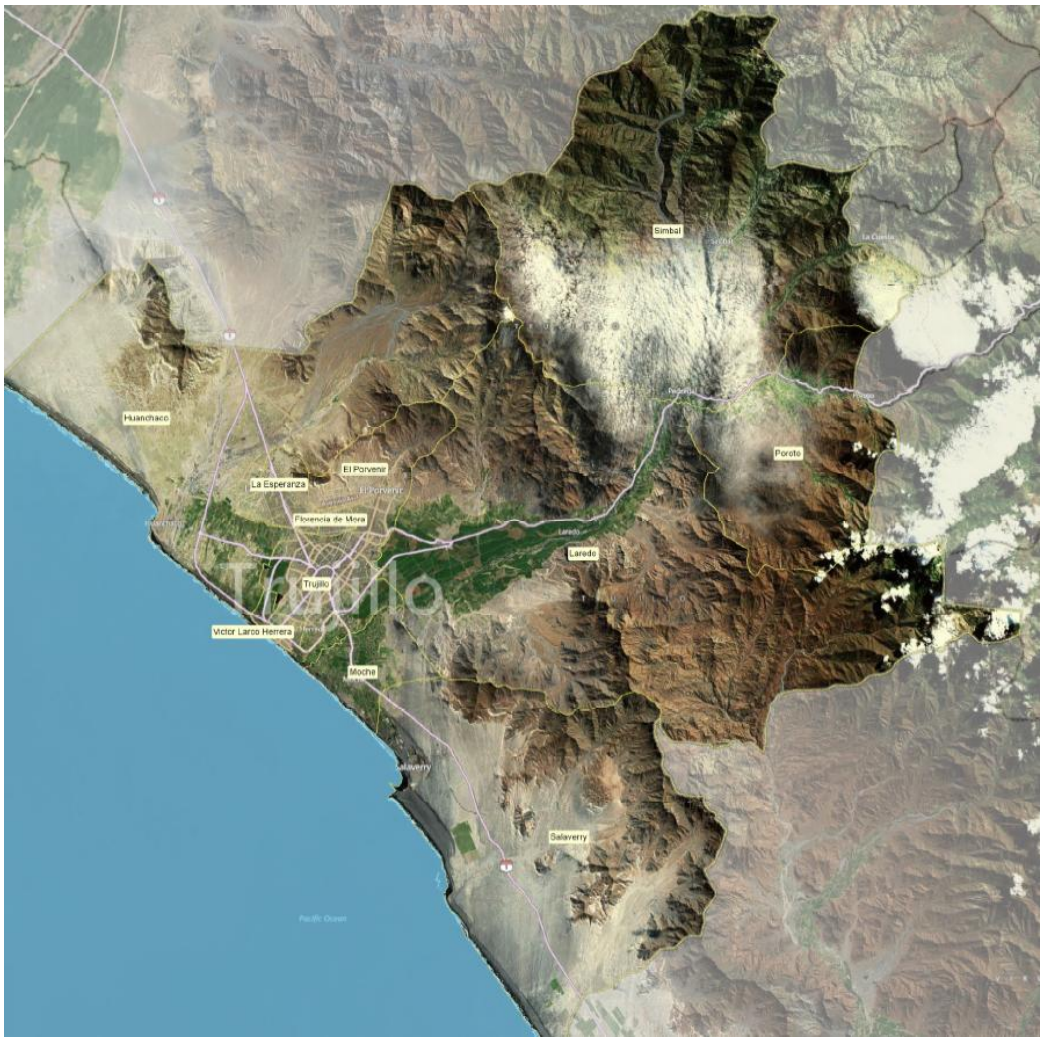


Figura 1. *Límite distrital de Trujillo*

Dado su carácter costero y su relieve, con altitudes medias que van desde los 3 msnm en distritos como Víctor Larco Herrera o Salaverry, hasta los 627 msnm en Poroto, Trujillo ha sufrido históricamente inundaciones, tanto costeras, como inundaciones urbanas, especialmente importantes en épocas de ocurrencia del fenómeno de El Niño. Asimismo, su localización geotectónica la expone a eventos de tsunamis.

Geológicamente el tramo de costa se considera como la cuenca hidrocarburífera de Salaverry, que es la extensión en la plataforma continental de la cuenca de Trujillo, hasta la inversión que ocurrió en el Terciario Superior, debido a lo cual se generó un alto estructural que separó ambas cuencas.

La plataforma continental presenta en la superficie una unidad superior de sedimentos finos laminados, seguidos por otra secuencia de sedimentos en la que se intercalan fangos terrígenos con fangos diatomáceos y capas de arena y limos; sigue una tercera unidad de fangos diatomáceos laminados y finalmente la unidad más profunda consistente de arenas, arena limosa y limo arenoso.

En la parte más profunda de la cuenca han sido reconocidas por geofísica una potente sección de rocas cretácicas, el espesor de estas rocas alcanza más de 4 000 m. Asimismo, se ha reconocido una discordancia angular en la parte sur de la cuenca que según su posición,

estaría relacionada con un evento tectónico ocurrido a mediados del Oligoceno o a principios del Mioceno.

2.1.1 ESTRATIGRAFÍA

La secuencia sedimentaria de las cuencas Salaverry y Trujillo separadas por un alto estructural, es conocida por los afloramientos presentes en la costa entre Chiclayo y Trujillo. La estratigrafía paleógena y neógena es conocida a través de los pozos Ballena y Delfín perforados en la cuenca Trujillo; estos pozos atravesaron una sección de 2 350 m y llegaron al basamento que está expuesto en la isla Lobos de Tierra, frente a Lambayeque.

En el resumen estratigráfico que se presenta en la Figura 2 y que se describe, se ha tomado como referencia la geología de la costa entre Pacasmayo y Chimbote, estudiado por el INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico de Perú).

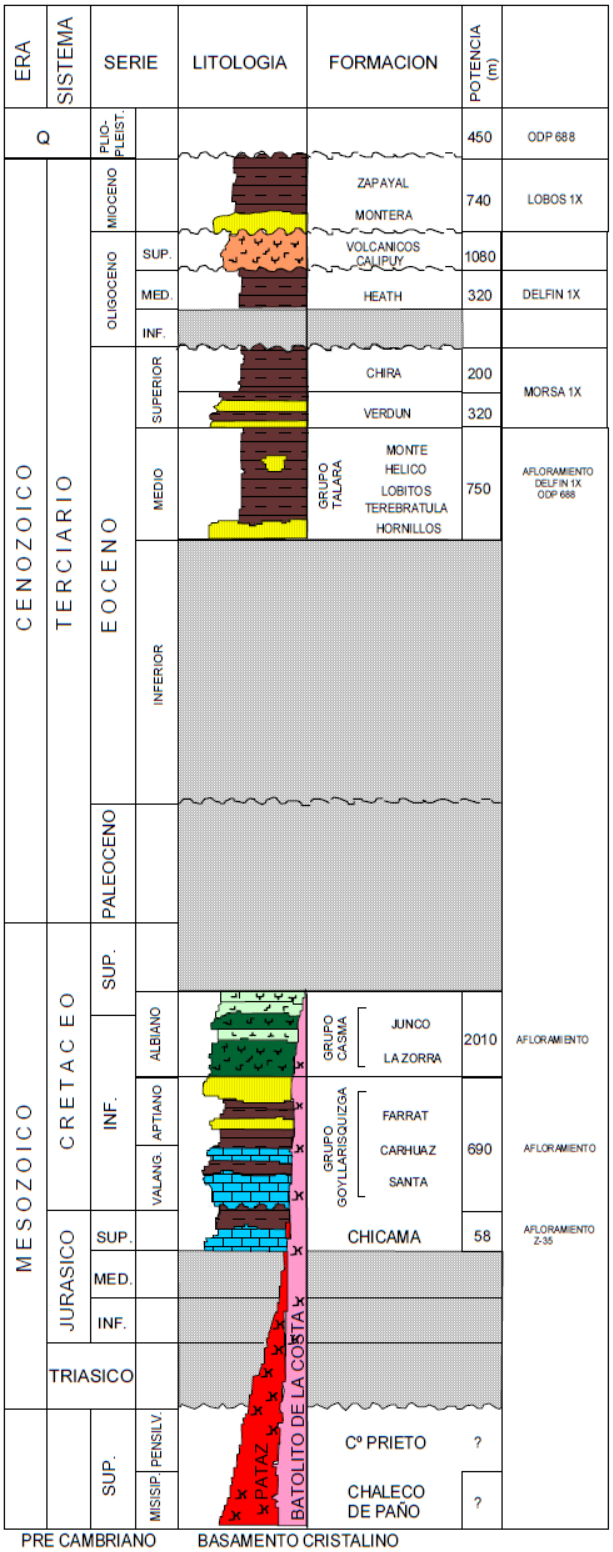
Basamento Pre-Cámbrico-Paleozoico inferior

Las rocas que conforman el basamento de la cuenca Salaverry-Trujillo son rocas precámbricas y del paleozoico inferior. Han sido atravesadas parcialmente por el pozo Ballena, el cual terminó de perforarse en el gneis de cuarzo-biotita. El pozo Delfín, que también llegó al basamento, atravesó parcialmente esquistos y filitas micáceas.

Regionalmente en el área continental costera cercana a la zona de estudio no se conocen afloramientos de rocas precámbricas o paleozoicas, pero tanto al norte como al sur de la costa y algunas islas del Perú si se han reportado y están constituidas por esquistos y gneises.

Mesozoico

La estratigrafía mesozoica del área costera comienza con una gruesa sección de lutitas pizarrosas de la Formación Chicama que tiene algunas variaciones litológicas regionales, presentando proporciones variables de cuarcitas, calizas y derrames volcánicos hacia la base.



Fuente: Perupetro, 2006 (modificado)

Figura 2 Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Salaverry

Sobreyace a esta secuencia la Formación Santa del Grupo Goyllarisquizga, la cual en el área costera está constituida por una secuencia de lutitas gris oscuras y calizas arcillosas negras con predominancia de lutitas hacia el tope. La Formación Santa subyace concordantemente a la gruesa secuencia de lutitas arenosas pardo rojizas intercaladas de limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz; hacia el tope de Carhuaz se observa una transición hacia los bancos gruesos de cuarcitas blancas y grises con intercalaciones de lutitas y limolitas oscuras de la Formación Farrat.

Sobre el Grupo Goyllarisquizga, se depositó la Formación La Zorra, perteneciente al Grupo Casma; esta formación consiste de flujos de andesita en capas delgadas y piroclastos intercalados con sedimentitas consistentes en limolitas y areniscas. Sobreyaciendo a la Formación La Zorra está dispuesta la Formación Junco, también perteneciente al Grupo Casma, que consiste en lavas en almohadillas intercaladas con algunos paquetes de aglomerados y flujos lávicos. El grosor de los paquetes de almohadillas oscila en promedio entre 50 cm. y 1 m.

Cenozoico

Sobreyaciendo a las rocas mesozoicas, ocurre una gruesa sección de sedimentos cenozoicos. Esta era geológica comienza con la depositación del grupo Talara, el cual se distingue en su base por areniscas de la Formación Hornillos y sobre estas, una alternancia de capas lutáceas, no calcáreas y masivas.

Sobreyace al Grupo Talara, la Formación Verdún, compuesta de areniscas cuarzosas, conglomerádicas y limo arcillitas. En concordancia al Verdún yacen los sedimentos finos de la Formación Chira.

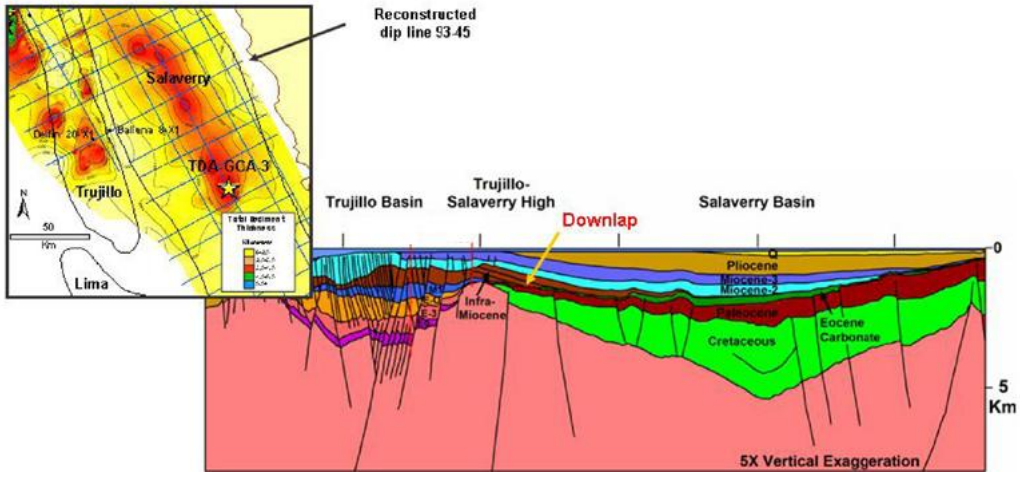


Figura 3 Corte geológico

La Formación Chira está constituida predominantemente por lutitas y arcillitas marrón oscuro a gris oscuro y limonitas gris medio. En las secciones sísmicas marinas se le observa como una secuencia de traslape marino, que sobreyace en discordancia ya sea sobre rocas del basamento, o sobre remanentes erosionados de formaciones pre-terciarias aún no identificadas (ver corte geológico en la Figura 3).

El oligoceno está definido por un contacto basal discordante con el eoceno superior y se caracteriza por una secuencia de calizas y lutitas de la Formación Heath que está compuesta predominantemente de lutitas y arcillitas marrón oscuro y gris parduzco con trazas de carbón similares a las de la formación Chira. Cerca al tope se presenta un horizonte de areniscas cuarzosas de grano fino-medio, con abundantes restos de conchas.

Sobreyaciendo en discordancia erosional a la Formación Heath, se encuentran depositados derrames y brechas de andesitas, dacitas y riolitas de los volcánicos Calipuy.

El mioceno se identifica por un contacto discordante con el oligoceno y consiste en una secuencia litológica de areniscas de grano medio a grueso, algo conglomeraditas de la Formación Montera y lutitas intercaladas con arcillas finas de la Formación Zapallal.

Rocas intrusivas

Gran parte de los afloramientos de rocas mesozoicas sedimentarias y volcánicas se hallan intruidas secuencialmente por stocks de dioritas, granodioritas y granitos que conforman el Batolito de la Costa, también por una red de pequeños diques.

2.1.2 EMPLAZAMIENTO TECTÓNICO REGIONAL

Desde el punto de vista geológico, se puede afirmar que la evolución morfotectónica de la franja costera central del Perú, es consecuencia del proceso de subducción de bajo ángulo de la placa oceánica de Nazca que se sumerge por debajo de la placa continental Sudamericana; proceso iniciado en el límite Mioceno-Plioceno (Terciario), hace unos 5 a 10 millones de años, lo que dio lugar a importantes eventos morfotectónicos, los que se pueden resumir en los siguientes:

a) Arqueamiento y subsecuente levantamiento del macizo andino occidental
b) Acortamiento migrante de la corteza continental que se comprime hacia el Este
c) Cese del vulcanismo Cuaternario en los Andes
d) Fallamiento en bloques de la Cordillera de la Costa y su hundimiento en el litoral central
e) Levantamiento tectónico de las terrazas y tablazos marinos costeros
f) División de la Cuenca Oceánica en varias subcuencas de antearco, entre ellas las de Salaverry, Trujillo y Lima

Según la carta geológica de la Trujillo (ver Figura 4), los materiales de los que está compuesta la zona costera del ámbito de estudio corresponden a materiales sedimentarios correspondientes a depósitos fluviales, eólicos y aluviales recientes, y terrazas marinas depositadas en el Pleistoceno, todos ellos de Sistema Cuaternario, con algunos afloramientos de rocas intrusivas, como los que aparecen alrededor del Puerto de Salaverry.

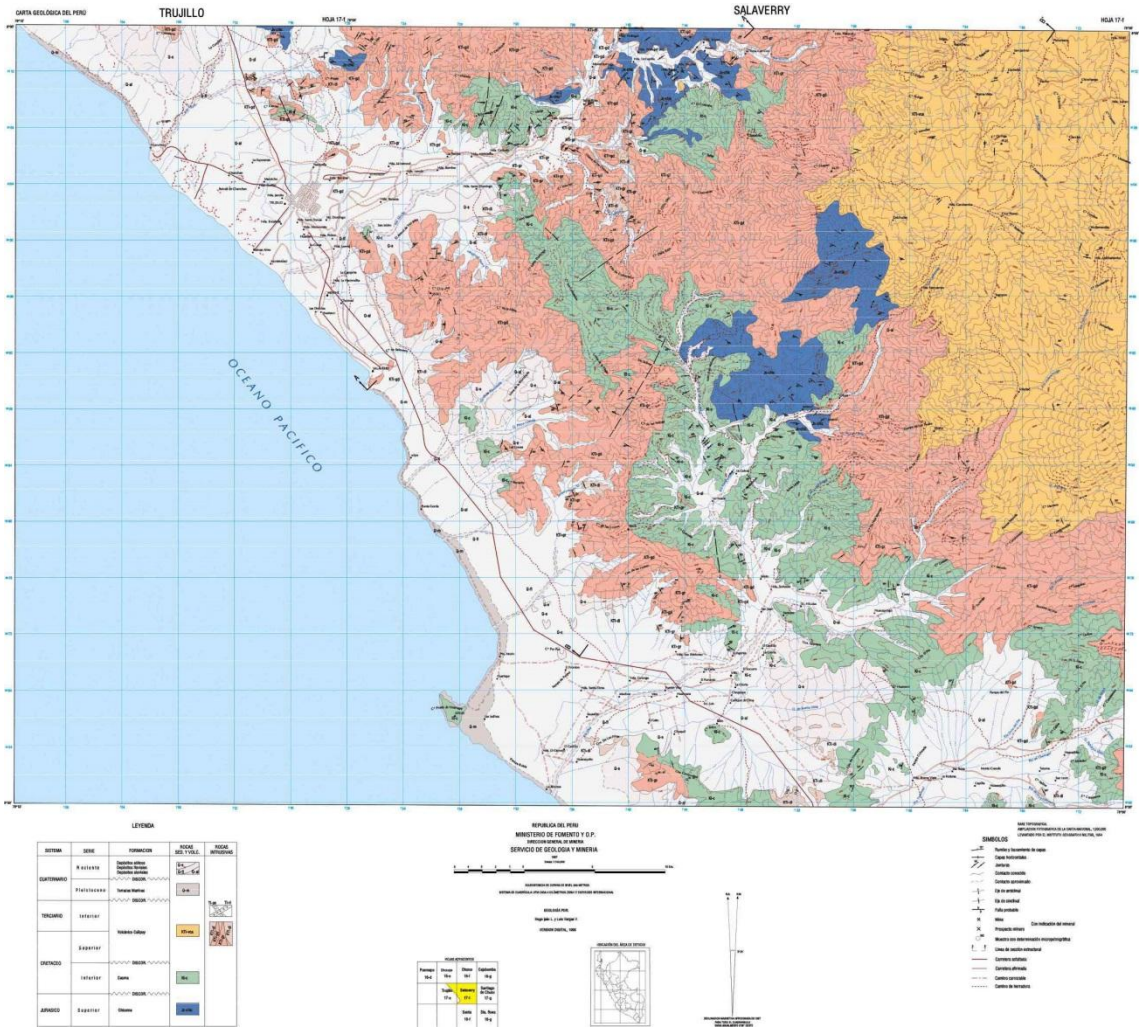


Figura 4. *Carta geológica de Trujillo*

2.1.3 SISMICIDAD

En el contexto regional, la zona de estudio se ubica en una región de elevada actividad sísmica la cual se halla relacionada al proceso de subducción de la placa de Nazca que se hunde bajo la placa Sudamericana, en el segmento litoral comprendido entre los 2° y 18° de latitud Sur. Subducción que se realiza con un desplazamiento del orden de diez centímetros por año, ocasionando intensas fricciones y acumulación de energía en la zona de contacto por roce de las dos placas, la liberación de esta energía da lugar a violentos sismos en el margen litoral peruano, siendo los más destructivos los superficiales, es decir aquellos cuyos focos se localizan a menos de 30 km. De profundidad; tornando a esta región desde el punto de vista sísmico, como el más activo del retroarco a lo largo del frente occidental andino.

La gradiente de subducción de 5° a 10° de la Placa de Nazca y su velocidad de desplazamiento, mantiene la actividad tectónica de la costa peruana donde las fuerzas de comprensión son eficazmente transportadas a la corteza.

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el litoral costero aledaño se encuentra en la zona de intensidades VIII y IX del Mapa de Intensidades Sísmicas, que toma como base la escala modificada de Mercalli (Figura 5).

A lo largo de casi 450 años, la zona central del Perú ha sufrido 24 sismos con intensidades comprendidas entre la clase VI y la clase IX en la Escala Modificada de Mercalli. En esta región, el último sismo de gran magnitud fue el que ocurrió el 15 de agosto del 2007 frente a las costas de Pisco, con una intensidad de VIII y que fue sentido en gran parte del país, generando destrucción y muerte en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete.

La Tabla 1 presenta los sismos que han afectado el área de estudio en los últimos 450 años y en la Figura 6 se presenta el Mapa Preliminar de Peligro Sísmico y Aceleraciones Sísmicas elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

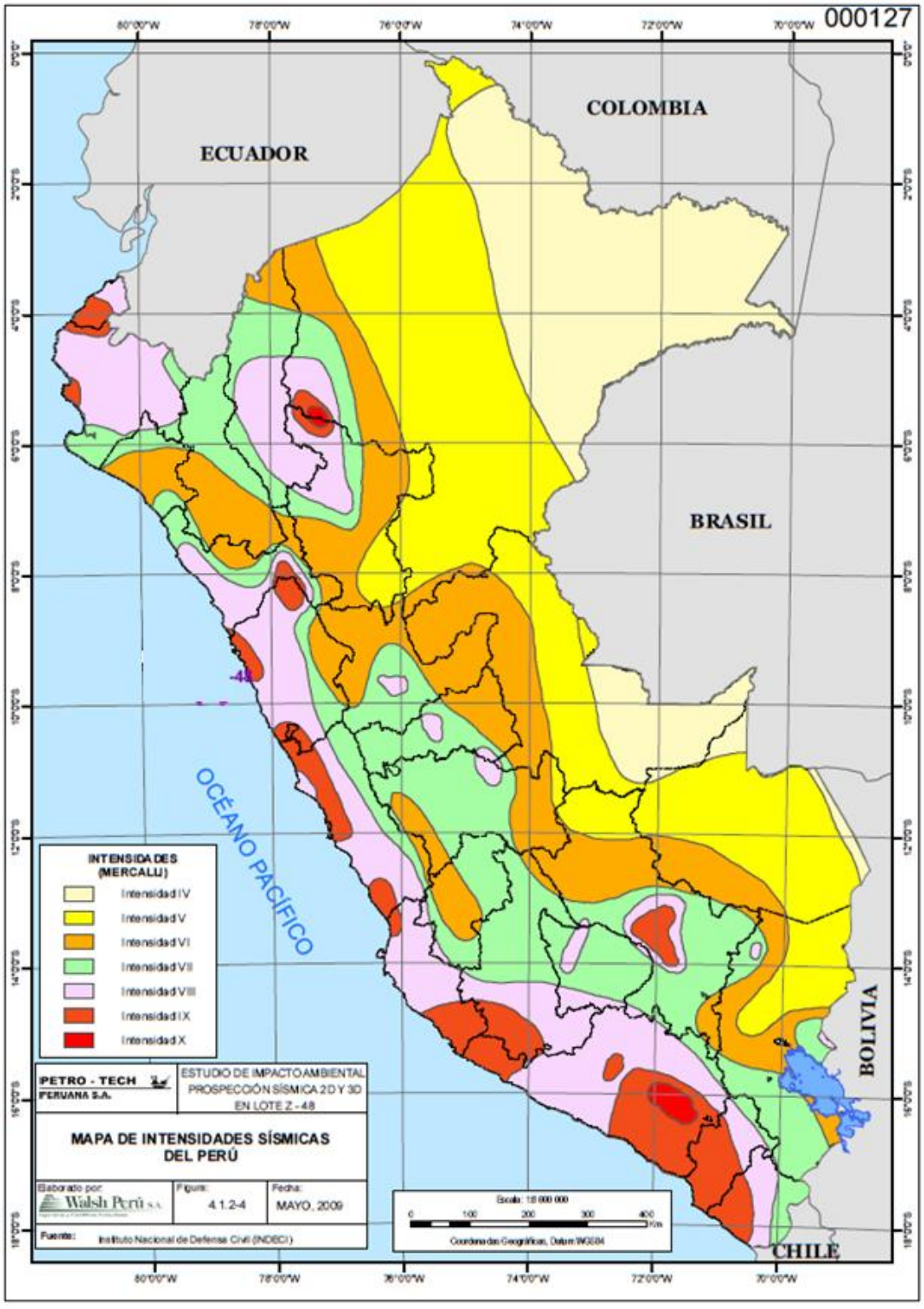


Figura 5. *Carta de sismicidad*

Nº	FECHA	INTENSIDAD (MM)	OBSERVACIONES
1	15/11/1555	sd	Terremoto en Lima a 20 años de su fundación, destruyó a la pequeña ciudad.
2	09/07/1586	VIII	Terremoto en Lima, destruyó la ciudad. Sentido desde Trujillo hasta Caraveli
3	23/03/1609	V	Violento temblor en Zaña
4	19/10/1609	VII	Violento temblor que causó gran destrucción en Lima.
5	14/02/1619	IX	Terremoto en Trujillo; destruyó la ciudad.
6	27/11/1630	VII	Destrucción en Lima
7	13/11/1655	VII	Destrucción en Lima
8	17/06/1678	VIII	Fuerte sismo; estragos en Callao y Lima.
9	20/10/1687	VII -IX	Dos sismos en Lima, dejando la mayor parte de la ciudad en ruinas.
10	06/01/1725	VII	Terremoto en Trujillo
11	28/10/1746	IX - X	Destrucción casi total de Lima y Callao. Un tsunami de grandes proporciones inundó el Callao, hasta casi 6 km, matando a casi toda la población.
12	02/09/1759	VII	Fuerte sismo en Trujillo
13	30/03/1828	VII	Terremoto en Lima; afectó Trujillo.
14	02/01/1902	V-VI	Fuerte sismo en Chimbote y Chiclayo
15	04/03/1904	VII-VIII	Terremoto en Lima, sentido en Pacasmayo (VI)
16	28/09/1906	VII	Notable conmoción sísmica, sentido en Trujillo y Santa (V)
17	20/05/1917	VI	Fuerte sismo en Trujillo; sentido en Casma (IV)
18	19/01/1932	VI - VII	Violento sismo; mucho daño entre Lima y Huacho.
19	05/03/1935	VI	Fuerte sismo, muchos daños en Trujillo
20	24/05/1940	VII-VIII	Terremoto sentido desde Guayaquil hasta Arica.; destrucción en Lima; hubo tsunami. Afectó Trujillo (IV)
21	10/11/1946	XI	Terremoto en Pallasca (Ancash), sentido en Trujillo (V)
22	31/01/1951	VI - VII	Fuerte sismo en Lima; fue sentido en el litoral desde el paralelo 10º hasta el 14º.
23	23/07/1951	V	Fuerte sismo en Trujillo
24	19/08/1955	VI	Sismo en Salaverry, sentido muy fuerte en Chimbote (V)
25	17/02/1956	V	Fuerte sismo en La Libertad y Ancash
26	03/07/1961	V	Fuerte sismo en Trujillo; sentido en Huaraz
27	18/04/1962	VI	Terremoto en Casma; afectó Trujillo (V)
28	15/11/1962	V	Fuerte sismo que afectó Chiclayo, Trujillo y Chimbote
29	17/09/1963	VI-VII	Terremoto en Ancash; afectó Salaverry, Chimbote y Huarmey
30	17/10/1966	VIII	Terremoto en Lima. Se sintió en todo el norte, Chimbote y Trujillo (V).
31	04/02/1969	V	Fuerte sismo que afectó Chiclayo y Trujillo
32	31/05/1970	VI - IX	Violento terremoto que fue sentido desde Tumbes hasta Ica y desde la costa hasta Iquitos.
33	03/10/1974	VII-VIII	Violento terremoto que afectó Lima.
34	18/04/1993	VI	Fuerte sismo que sacudió Lima.
35	15/08/2007	VIII	Terremoto en Pisco que fue sentido en gran parte del país.

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Instituto Geofísico del Perú (IGP)
(MM): Escala Mercalli Modificado
sd: sin datos

Tabla 1 Sismos con Intensidades iguales o superiores a V en la escala de Mercalli Modificado con epicentro en el área o muy ceca de ella

Además, los sismos de gran magnitud, pueden dar lugar a la formación de “tsunamis”. Cuando se origina un tsunami se propaga en todas las direcciones, hallándose la velocidad de propagación de las ondas sísmicas relacionada con la profundidad del mar. Cabe destacar, que el Perú no ha sufrido los efectos de los tsunamis con la misma frecuencia que otras regiones del planeta; sin embargo, la historia nos dice que el litoral ha sufrido los efectos destructivos de muchos en el pasado. Los más destructivos fueron los ocurridos el 28 de octubre de 1746 y el 13 de agosto de 1868. El primero se generó frente a las costas del Callao alcanzando una altura de 7,0 m. Este tsunami causó la muerte de 5 a 7 mil habitantes y es probablemente el tsunami de mayor magnitud registrado a la fecha. El tsunami del 13 de agosto de 1868 ocasionó grandes daños desde Trujillo (Perú) hasta Concepción (Chile), en Arica, una nave de guerra fue depositada 400 m tierra adentro; este tsunami alcanzó regiones tan lejanas como Japón, Hawai y Australia.

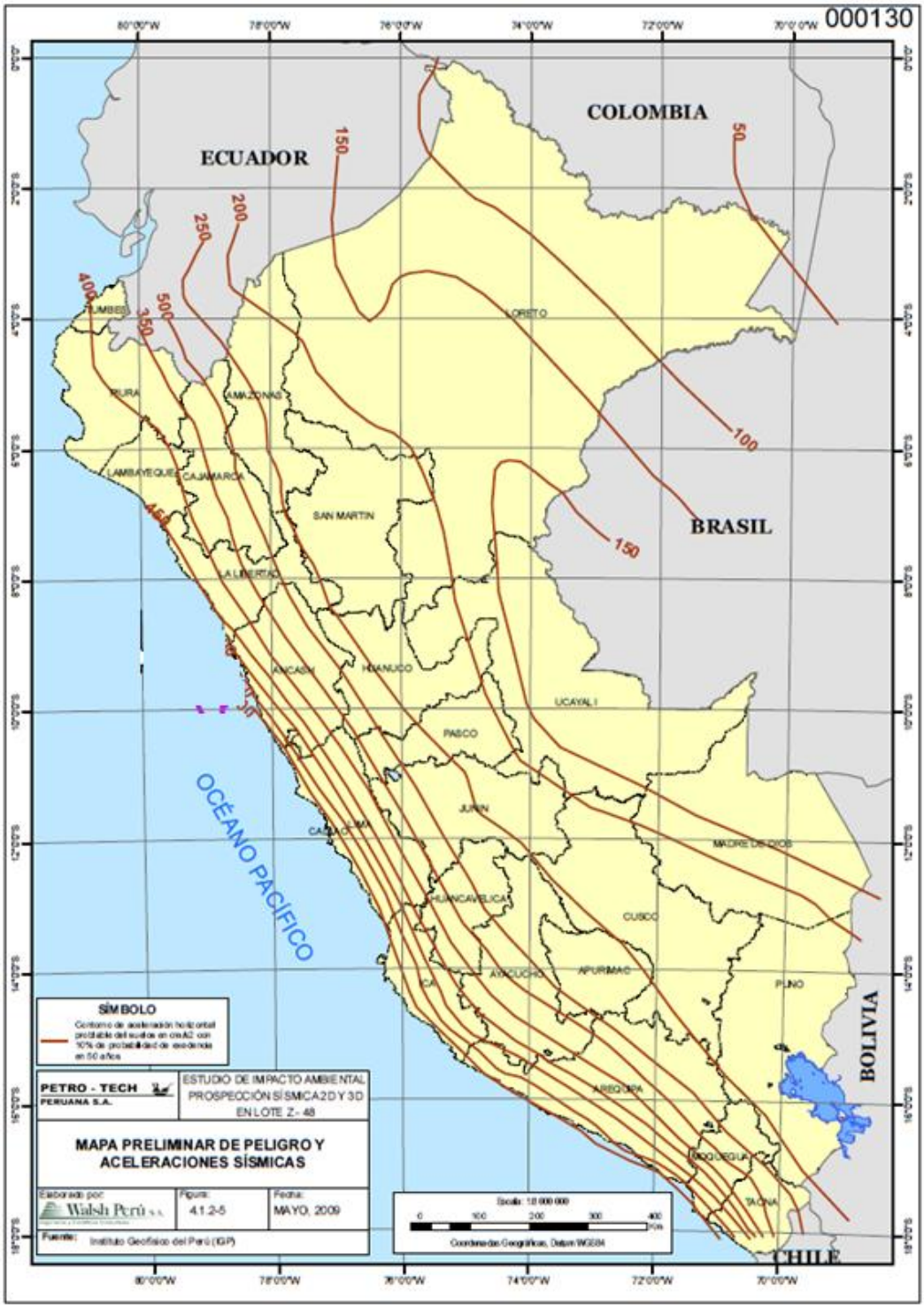


Figura 6. *Mapa de peligrosidad sísmica*

2.1.4 GEOMORFOLOGÍA GENERAL

La zona de estudio presenta una variedad de unidades geomorfológicas, las cuales se han clasificado en:

Faja Litoral, comprende las terrazas escalonadas llamadas terrazas aluvionales que han sido cortadas por la erosión marina (desgaste con transporte) formando acantilados costeros. Entre la desembocadura del Río Moche y el Puerto de Salaverry, se aprecia la acumulación de fragmentos compuestos de arena, grava y conchas acarreadas por los mares y ríos llamados cordones litorales, los terrenos muestran una topografía suave cubierta con arena eólica-aluvial y vegetación natural muy salitrosa. Sobre esta faja se ubican las áreas urbanas de Las Delicias, Buenos Aires, Huanchaquito y Huanchaco.

Ultima Terraza Fluvial, se presenta en los márgenes del río Moche, constituidos por materiales rodados de diferentes tipos de rocas.

Ultima Terraza Fluvioaluvial, corresponde a la Campiña propiamente dicha, y también al área donde se ubican las áreas urbanas de Moche Pueblo, con características y condiciones de sedimentación muy similares, se presenta con depósitos lenticulares de arenas eólicas que han conformado el cono defectivo sobre el que se ha formado el valle.

Zona de Pampas o Planicies costeras, que comprende tramos más o menos amplios, ligeramente inclinados que se sitúan en la región costanera entre los macizos costeros y las estribaciones andinas. Están constituidos por depósitos sedimentarios de origen marino, eólico, coluvioaluvial, etc. Corresponde a terrenos sobre los cuales se ubica Alto Moche-Miramar y a futura área de desarrollo Agroindustrial, gracias al proyecto de irrigación Chavimochic.

Estribaciones Andinas, que llegan muy próximas a la línea de costa, estando constituidas por rocas ígneas intrusitas de batolito de la costa. Corresponde a los denominados Cerros Aislados, como son el Cerro Blanco, Cerro Chico, Cerro Arena y Cerro Ochiputur.

2.2 ESTUDIO DE LAS FORMAS GEOMORFOLÓGICAS

2.2.1 GEOMORFOLOGÍA DE PROCESOS

En el ámbito de la geomorfología, el estudio de las formas se ha desarrollado tradicionalmente empleando múltiples herramientas (fotografías aéreas, mapas topográficos y geológicos, campo, etc.) que permiten captar visualmente la globalidad del fenómeno pero mediante las cuales no siempre es sencillo cuantificar sus características. A pesar de que los estudios morfométricos cuentan con una amplia tradición en geomorfología desde mediados del siglo XX, la mayor parte de los mismos, especialmente los estudios de redes de drenaje, se han tendido a centrar en la disposición planimétrica no considerándose la dimensión altimétrica (Rodríguez-Iturbe & Rinaldo, 1997)[1]. En la actualidad, la disponibilidad de modelos digitales de elevación (MDE) permite enfrentar análisis sistemáticos del territorio contemplando sus tres dimensiones, lo que sin duda mejora sustancialmente su comprensión geomorfológica.

En este apartado se muestra la potencialidad que el análisis sistemático de los perfiles transversales de una serie de barrancos y cauces fluviales para la caracterización morfológica del territorio, en este caso, de la zona de costa que discurre desde Punta Malabrigo hasta Punta Cerro Negro, así como de la cuenca vertiente de los cursos de agua superficial que desembocan en la zona de estudio. Para ello se tratará de establecer las distintas tipologías que presenta el sistema de barrancos, ramblas y cauces fluviales que drenan la zona de costa.

[1] RODRÍGUEZ ITURBE, I. y RINALDO, A. (1997): *Fractal river basins. Chance and selforganization*, Cambridge University Press, 547 pp

Para adquirir la información de las secciones transversales se ha un modelado el terreno (MDE), los perfiles transversales de los barrancos y cauces y los parámetros morfométricos necesarios para su caracterización.

El establecimiento de la tipología se logra mediante la combinación de determinados parámetros morfológicos extraídos automáticamente de los perfiles transversales. El análisis conlleva distintas fases que merecen ser comentadas:

(a) Generación de un MDE suficientemente detallado

(b) Determinación del eje central de los barrancos

(c) Extracción de los perfiles y establecimiento de los parámetros morfométricos de forma y dimensión

(d) Definición de la tipología y extracción cartográfica

2.2.1.1 *Generación de un MDE suficientemente detallado*

El MDE es el dato fuente a partir del que se podrán obtener los parámetros morfométricos del valle por lo que se considera que se ha de partir de un MDE suficientemente detallado. Para poder hacer el análisis, se ha generado un MDE de la totalidad de la zona de estudio a partir de la cartografía digital obtenida mediante el programa GEODAS Coastline extractor, utilizando la información planimétrica y altimétrica correspondiente a las curvas de nivel (con equidistancia entre ellas de 5 m), puntos de cota (con una densidad media de 80 puntos /km2), la red de drenaje y la línea de costa. El MDE ha sido creado mediante Surfer, generando un modelo raster con un paso de malla de 10 x 10 m.

2.2.1.2 *Determinación del eje central de los barrancos*

Dado que la caracterización del territorio se pretende realizar utilizando parámetros procedentes de los perfiles topográficos transversales al eje de barrancos y cauce, es importante que la determinación de dicho eje se realice de forma eficiente y realista.

El procedimiento utilizado para definirlo ha sido a partir del análisis de las orientaciones y pendientes (deducidas del MDE) para determinar la trayectoria que seguirán los flujos de agua.

2.2.1.3 *Extracción de los perfiles y establecimiento de los parámetros morfométricos de forma y dimensión*

Para el presente estudio se han analizado 4 ejes de ríos y barrancos, realizándose hasta 11 perfiles transversales. Para el establecimiento de la tipología se emplearán solo algunos datos concretos de cada perfil:

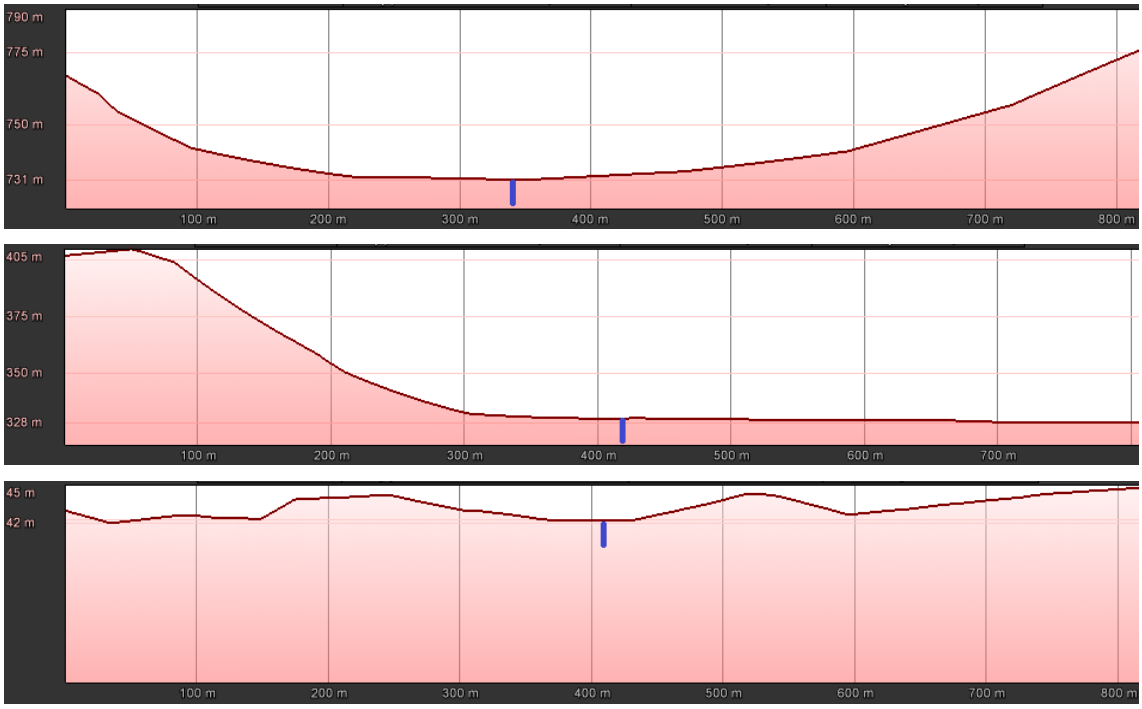
- Anchura del valle (A): es decir, la distancia reducida entre los dos puntos de cota máxima del perfil.

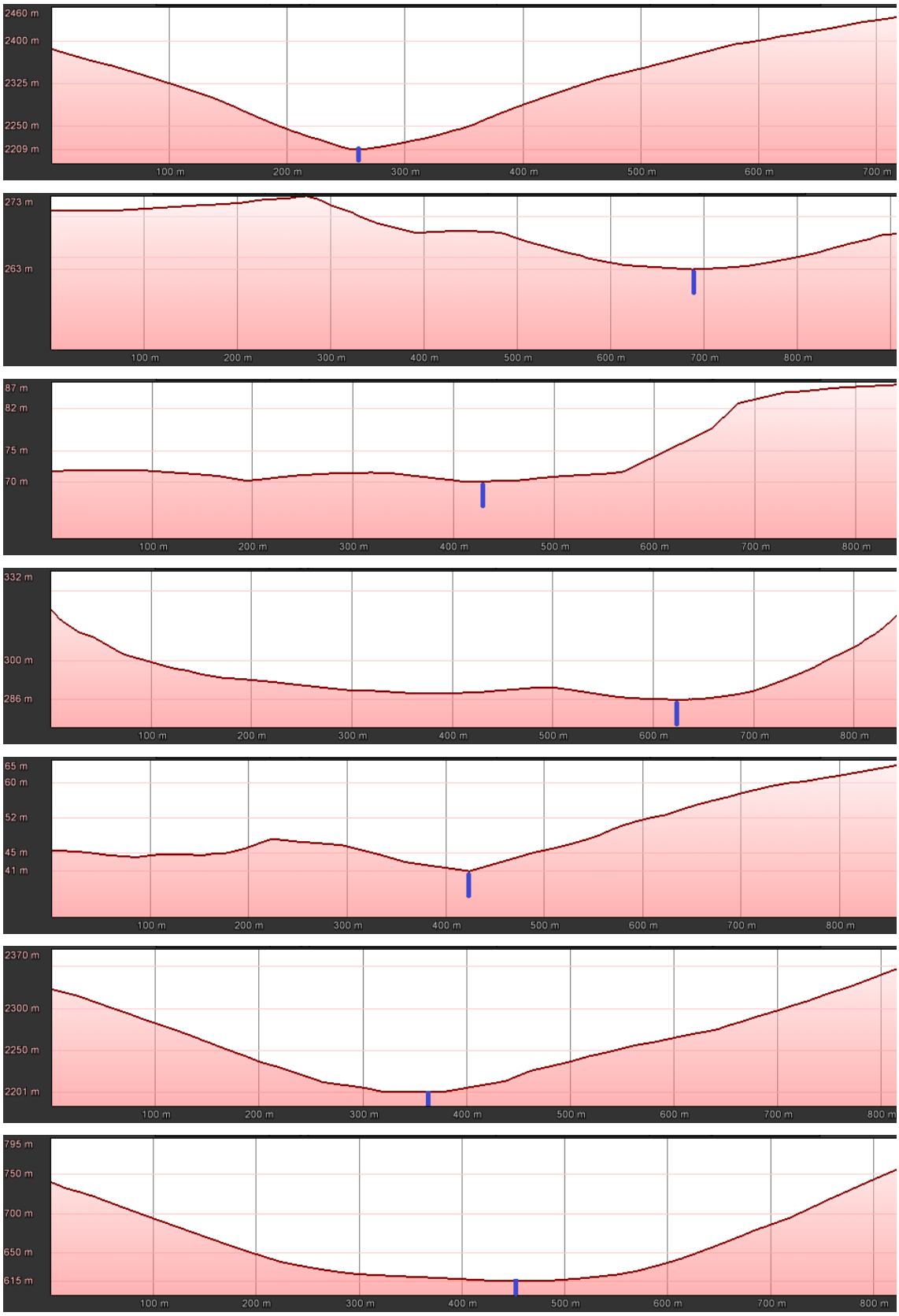
- Anchura de la cubeta (C): o distancia reducida entre aquellos dos puntos que se encuentren a una cota 2 m por encima del eje del barranco.

- Profundidad del valle (P): se considera el incremento de cota entre el eje del barranco y la cota resultante de promediar las altitudes de los dos máximos.

En la Figura 7 se muestra los valles o cauces de agua analizados donde se han ido extrayendo los perfiles transversales, los cuales se resumen en la Figura 8. La importancia del análisis planimétrico reside en la estadística general de la tipología de los distintos valles o cursos de agua, por lo que la posición relativa de los distintos transectos carece de importancia.

Figura 7. Barrancos y cursos de agua analizados.




2460 m
2400 m
2325 m
2250 m
2209 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m
273 m
263 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m
87 m
82 m
75 m
70 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m
332 m
300 m
286 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m
65 m
60 m
52 m
45 m
41 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m
2370 m
2300 m
2250 m
2201 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m
795 m
750 m
700 m
650 m
615 m
100 m 200 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m

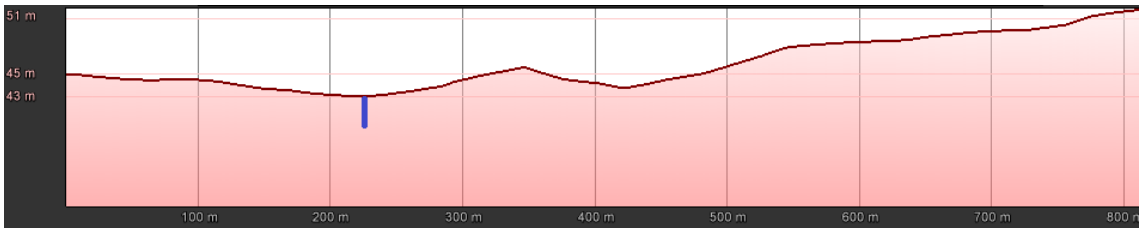


Figura 8. Perfiles transversales.

Probablemente el dato más difícil de determinar ha sido el ancho de cada perfil. Si se toma una sección excesivamente amplia el análisis se puede extender a los valles inmediatos, falseándose así los parámetros morfológicos. Si, por el contrario, es excesivamente corta, puede que no alcance el límite del valle, lo que también los falsearía.

Otra de las dificultades para caracterizar morfométricamente las secciones transversales es la determinación de la cubeta (C). Si se toma un incremento de cota respecto al eje del barranco excesivamente bajo es posible que el fondo de los valles no quede representado, mientras que si, por el contrario, se emplea un valor excesivamente alto puede que no aparezca la cota de la cubeta supere los márgenes del valle. En el presente estudio se ha tomado un incremento de cota de 2 m por encima del nivel del eje del barranco. Dicha elección se fundamenta en las propias características geomorfológicas de la zona y, se ha demostrado suficientemente expresivo para buena parte de los análisis realizados. A pesar de ello, dado que se define a partir de un incremento de cota fijo y no a partir de la posición exacta de la línea de ruptura de pendiente en el fondo del valle, el parámetro C ha de entenderse no tanto como la dimensión exacta del fondo del valle, sino como un valor proporcional a dicha dimensión, de manera que puede ser comparado en todos los perfiles. Por tanto, a pesar de sus limitaciones, dicho parámetro puede emplearse para definir la tipología de los distintos perfiles.

2.2.1.4 *Definición de la tipología y extracción cartográfica*

Una vez extraídos los parámetros A, P y C se han calculado dos índices morfométricos: el índice A/P y el índice A/C. El primero establece la relación entre la anchura del valle y la profundidad del mismo, mientras que el segundo relaciona la anchura de la cubeta con la del valle. Combinando ambos índices se ha podido establecer una tipología fundamentada en la forma del perfil del barranco en la que se distinguirán 4 modelos, al que habrá que sumar una tipo específico para las zonas muy llanas (ver Figura 9). Los cuatro primeros tipos se han definido tras establecer el valor de la mediana de la serie de la relación A/P y A/C de todos los barrancos considerados, siguiendo los siguientes criterios:

- Tipo I: Aquellos en los que los valores de la relación A/P son inferiores a la mediana de la serie y los de A/C son mayores. Son, por tanto, aquellos valles bastante profundos respecto a su anchura y claramente incidido, es decir, con poca cubeta.

- Tipo II: Aquellos en los que tanto la relación A/P como la relación A/C presentan valores inferiores a la mediana. Serán aquellos en los que con un perfil transversal bastante profundo respecto a su anchura y con un fondo de valle amplio o relleno.

- Tipo III: Aquellos en los que los valores de A/P son superiores a la mediana y lo de A/C también. Son, por tanto, valles poco profundos respecto a su anchura pero con una clara incisión, es decir, sin relleno en la cubeta.

- Tipo IV: Aquellos en los que los valores de la relación A/P son superiores a la mediana y los valores de la relación A/C son menores. Presentan, por tanto secciones transversales poco profundas respecto a su anchura pero con una amplia cubeta.

- Tipo V: correspondiente a perfil prácticamente llano, en el que el incremento de cota entre alguno de sus márgenes y el eje no supera los dos metros. En sentido estricto, para estos

casos, resulta poco coherente hablar de barranco. Sencillamente son pequeñas vaguadas muy poco marcadas sobre el terreno.

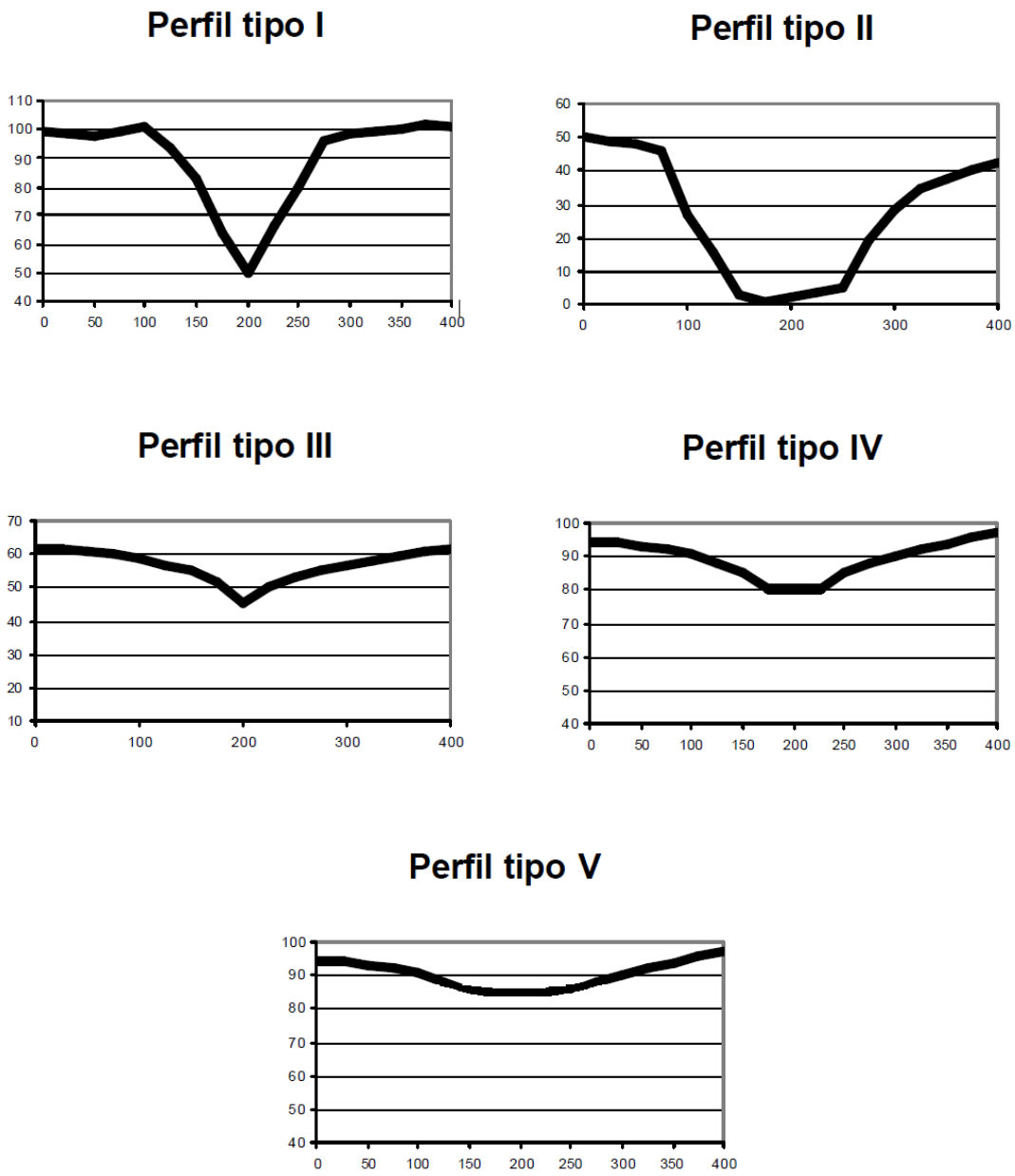


Figura 9. Ejemplos de perfiles transversales de barrancos de cada una de las tipologías definidas.

Además de la forma, se ha considerado que también la dimensión del valle es un parámetro significativo para el análisis geomorfológico. Para la valoración de la dimensión se han empleado dos parámetros:

- El área o superficie aproximada de la sección del valle (Sv): se obtiene a partir de los parámetros A, C y P mediante los que se define un trapecio isósceles, es decir un valle hipotético con la anchura A, la cubeta C y la profundidad P en el que se considera que las dos vertientes son iguales. La superficie de la sección (Sv) se obtiene, por tanto:

$$Sv = [(A+C)/2]\cdot P$$

- La propia profundidad del barranco (P) en sí mismo puede servir para calibrar el grado de incisión del barranco y, por ello se emplea como parámetro de dimensión. Como para el estudio de la forma, también aquí se ha utilizado la mediana y los cuantíales para establecer los rangos de dimensión.

La discusión de la zona de estudio muestra como en su gran mayoría, los cauces fluviales y barrancos presentan una tipología tipo V, salvo un par de perfiles tipo III y un perfil tipo IV (que seguramente se ubican en los cauces más elevados). Por ello se puede concluir que se trata de una zona sedimentaria de cauce bajo aluvial, con material sedimentario presente en toda el área.

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES Y SUMIDEROS

La mayor abundancia en la composición de los sedimentos de origen continental, depende en general de su cercanía a la costa y de sus fuentes de aporte. Las corrientes y el relieve juegan un rol importante en la distribución de los sedimentos y la configuración geomorfológica de la costa favorece la sedimentación en caso de puntas y puertos.

En la zona de estudio se han identificado tres grandes cauces fluviales que podrían ser considerados, a priori, como fuente de sedimentos para alimentar las playas del borde costero: río Chicama, río Moche y río Viru (de norte a sur), además de otros cauces menores:

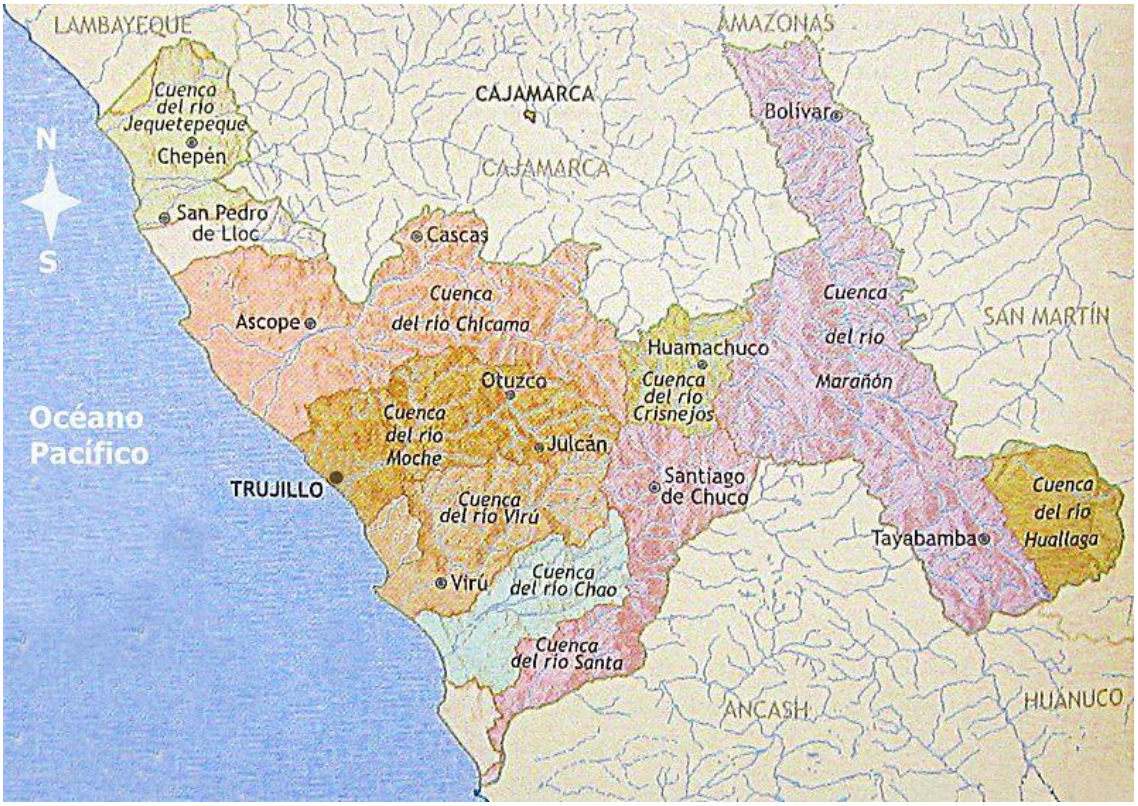


Figura 10. Cuencas fluviales en la zona de estudio.

En cuanto a posibles sumideros, los resultados de las batimetrías no muestran la existencia de cañones submarinos, o similares.

Análisis de las posibles fuentes de sedimentos

Río Chicama

La cuenca del río Chicama, se emplaza en la zona norte del Perú y pertenece a la hoya hidrográfica del Océano Pacífico. Sus nacientes se ubican en la vertiente occidental de los Andes occidentales y tiene una longitud total de 169,2 km.

Políticamente, la cuenca del río Chicama atraviesa las provincias de Trujillo y Otuzco de la región de La Libertad y de las provincias de Contumazá y Cajamarca y Cajabamba del departamento de Cajamarca.

Geográficamente, la cuenca limita por el Norte, con la cuenca del río Jequetepeque; por el Sur con la cuenca del río Moche y la quebrada río Seco; por el Este con la cuenca del río Marañón; por el Sureste con la cuenca del río Santa y por el Oeste con el Océano Pacífico. Sus puntos extremos se encuentran comprendidos entre los paralelos 07° 21' y 08° 01' de Latitud Sur y los meridianos 78° 16' y 74° 27' de Longitud Oeste de Greenwich.

El río Chicama nace en las alturas de las minas de Callacuyán con el nombre de río Pereji, nombre que mantiene hasta la localidad de Caina, punto a partir del cual toma el nombre de río Grande o Alto Chicama a partir de la La Hacienda El Tambo, nombre con el cual desemboca en el Océano Pacífico.

Hidrográficamente, la cuenca del río Chicama, se presenta ancha en la parte de la cuenca alta y estrecha en la desembocadura. Cuenta con un área de drenaje total de 5822 km^2, de los cuales el 42 % (2472 km^2) se localiza por encima de los 1500 msnm. y que pertenece a la cuenca húmeda o imbrifera. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar, hasta la línea de cumbres que constituye la divisoria de aguas, entre esta cuenca y la del río Marañón, cuyo punto más alto corresponde a la Señal Cerro Tuanga (4,297 m.s.n.m.)

A lo largo del río se puede apreciar variaciones climáticas diversas, desde el tipo semi-cálido (20.8 °C) en el sector agrícola costero hasta el frío (6 °C) en el sector que supera los 4000 msnm. quedando comprendidos entre estos dos extremos otros tipos de variaciones térmicas que caracterizan a cada uno de los diversos pisos altitudinales de la cuenca. La precipitación que ocurre principalmente en las zonas altas, presenta una distribución que varía desde un promedio anual de 5.5 mm. en el litoral a 1100 mm. en el sector de la sierra por sobre los 2800 msnm. Se ha observado, asimismo, que la intensidad de la precipitación va en aumento con el nivel altitudinal.

El sector de menor precipitación pluvial de la cuenca (2950 km^2) está comprendido entre el litoral marino y el nivel altitudinal que oscila entre 1200 y 1300 m.s.n.m. Entre este sector y el nivel altitudinal que varía entre los 2000 y 2100 m.s.n.m. (950 km^2), las lluvias son más abundantes y marcadamente estacionales. En el sector altitudinal inmediato, comprendido entre el límite anteriormente descrito y la cota altitudinal que oscila entre 2,700 y 2,800 m.s.n.m. (946 km^2) las lluvias son muchísimo más intensas.

Finalmente, entre el sector anteriormente descrito y la divisoria misma de la cuenca, que oscila aproximadamente entre 3600 y 4200 m.s.n.m., se presenta el área más lluviosa de la cuenca (996 km^2). Datos que arrojan para la cuenca un promedio de 1,153 mm, de precipitación pluvial anual.

El valle del río Chicama, con 45950 ha de área agrícola física y 82150 ha de área total global, se halla ubicado en la Costa Septentrional del Perú, abarcando el sector central de la región de La Libertad. El uso del agua con fines de riego se centra principalmente en la zona de valle

para abastecer a los cultivos de caña de azúcar, maíz, alfalfa, garbanzo, frijol, entre otros. Se emplean con fines de riego 260543 m^3, correspondiéndoles el 74.6% al sector costeño y que sirve para irrigar 41913 ha de un total de 55.198 ha, cultivadas bajo riego.

Rio Moche

El río Moche es un corto río de la vertiente del Pacífico, localizado en la costa norte del Perú, en el Departamento de La Libertad. La cuenca del río Moche drena un área total de 2708 km² y políticamente comprende total o parcialmente las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. La longitud máxima de recorrido, desde sus nacientes hasta su desembocadura es de 102 km, una pendiente promedio de cauce de 4 %. La pendiente del cauce en sus afluentes es aún más pronunciada, llegando a un valor de 16 %, en el caso de la quebrada La Cuesta.

Geográficamente sus puntos extremos se hallan comprendidos entre los 7º46' y 8º15' de latitud sur y los 78º16' y 79º08' de longitud oeste. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar, hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4000 m.

Nace en la Laguna Grande sobre los 3988 m, en las cercanías del pueblo de Quiruvilca, con el nombre de río Grande, adoptando posteriormente los nombres de río San Lorenzo y río Constancia. A la altura de la localidad de San Juan, a unos 14 km de su origen, toma el nombre de río Moche, el mismo que conserva hasta su desembocadura en el mar.

La cuenca colectora húmeda es de 1418 km² (área de cuenca con altitud mayor a 1500 msnm), área que representa el 52% del área total de la cuenca y es la que contribuye sensiblemente al escurrimiento superficial, y del mismo modo, es la que tiene mayores implicancias en los problemas de impacto ambiental ocasionados por las actividades mineras.

Sus afluentes principales, por la margen derecha, son los ríos o quebradas Motil, Chota, Otuzco, Cumbray y Catuay. Por la margen izquierda, el río Chanchacap. Existen además lechos de ríos secos, pues aguas del río Chepén y del río Simbal son captados para irrigar zonas de cultivo en el transcurso de su curso, no llegando a desembocar ningún caudal en el río Moche.

Como todas las cuencas de la Costa del Perú, la cuenca del río Moche es de fondo profundo y quebrado, fuerte pendiente, presentando un relieve escarpado y abrupto propiciando un flujo torrentoso y altamente turbulento, principalmente durante el período de avenidas.

La parte superior de la cuenca presenta, por efecto de la desglaciación, cierto número de lagunas y, en la parte inferior del valle, por la disminución brusca de la pendiente se ha formado un cono de deyección, producto de la deposición del material sólido transportado por el río principalmente durante el período de avenidas.

El escurrimiento superficial del río Moche se debe principalmente a las precipitaciones estacionales, que caen sobre las laderas occidentales de la cordillera de los Andes. La cuenca alta, no presenta nevados de importancia, que contribuyan a mejorar el régimen de descargas, en época de deshielo Dentro de la cuenca del río Moche La temperatura varía en sentido inverso, esto es, disminuye conforme se asciende hacia la Sierra. Mientras, en la faja litoral, la temperatura promedio es del orden de los 20° C, en los niveles superiores va disminuyendo hasta que en el límite cordillerano dicho promedio de temperatura está alrededor de 8° C; además a este nivel, ocurren en forma frecuente temperaturas mínimas próximas al punto de congelación, quedando comprendida entre estos límites una gama de valores térmicos que tipifican a cada uno de los pisos altitudinales dentro de la cuenca.

En la Costa y hasta unos 800 msnm, la temperatura aumenta a medida que se avanza tierra adentro, a partir de los 800 msnm la temperatura comienza a descender a medida que se gana en altitud. La precipitación pluvial anual en la cuenca del río Moche varía desde escasos

milímetros en la costa árida adyacente al Océano Pacífico, hasta un promedio anual de 1200 mm. en la cabecera o nacientes de la cuenca, a una altitud de 4200 msnm; área en donde se presentan variaciones notables de precipitación, Siendo la zona minera de Quiruvilca (4000 msnm), una de las zonas en donde se han registrado precipitaciones anuales del orden de 1400 mm.

En cuanto a la variación en el tiempo dentro del ciclo hidrológico debe indicarse que existe una marcada variación pluvial intermensual, presentándose las mayores precipitaciones (80%) durante el período entre los meses de diciembre y marzo.

Las variadas condiciones de clima, suelos y geomorfología han dado origen a distintos tipos medioambientales, que se caracterizan por la presencia de una vegetación típica en cada uno de ellos. En este sentido, se ha identificado 5 formaciones ecológicas, ubicadas en distintos pisos altitudinales, cuya calificación, desde el punto de vista de su potencial agropecuario, es la siguiente: Desierto Pre-Montano, con potencial medioambiental excelente; Matorral Desértico Pre-Montano, con potencial medioambiental pobre, Estepa Espinosa Montano Bajo, con potencial medioambiental muy bueno y Pradera Muy Húmeda Montano con potencial medioambiental bueno.

En la cuenca baja o valle existen las tierras de mejor calidad para las actividades agrícolas, con una superficie de tierras aptas para la agricultura de 10500 Ha. aproximadamente; sin embargo, en esta zona se ha mejorado el riego de tierras existentes y se ha incrementado o se incrementarán a corto plazo nuevas áreas como parte del proyecto especial Chavimochic cuya infraestructura hidráulica ha sido concluida hasta el valle del río Moche.

La superficie agrícola total del sector andino hasta los 3700 msnm comprende 16000 ha. Distribuidas en tres pisos altitudinales, en este sector predomina una agricultura de secano siendo los cultivos más importantes la papa, trigo, cebada y maíz. La mayor parte de las tierras del valle están dedicadas al sembrío de caña de azúcar, alfalfa, palta, lenteja, yuca, maíz, piña, fríjol.

Rio Virú

El río Virú es un corto río de la vertiente del Pacífico, localizado en la costa norte del Perú, en el Departamento de La Libertad.

La cuenca hidrográfica del río Virú, se extiende por las provincias de Virú, Julcán y Trujillo y su extensión es de 2805 km². Tiene por vecinas: por el norte, la cuenca del río Moche; por el sur, cuenca del río Chao; por el este, la cuenca del río Santa, y por el oeste, limita con el Mar Peruano.

Su sistema hidrográfico tiene su origen en un grupo de pequeñas lagunas: Usgón, Brava y Negra, ubicadas en las faldas del Cerro Pelón Chico, las cuales dan nacimiento al río Huacapongo. Por otro lado, las precipitaciones estacionales que caen principalmente en los Cerros Los Colorados y Guitarras, dan origen al río Las Salinas; estos 2 ríos, en su confluencia en las cercanías de la hacienda Tomabal, originan el río Virú.

La longitud del cauce principal es de 89 km, presentando una pendiente promedio de 5%; sin embargo, presenta sectores en que se hace más fuerte, especialmente en el río Pirhuay, tributario por la margen izquierda. El cauce, desde sus orígenes hasta su desembocadura en el mar, es irregular y tortuoso, siguiendo predominantemente una dirección de nor-este a sur-oeste.

Sus principales afluentes, son los ríos Palconque (91 km^2) y Carabamba (675 km^2) por la margen derecha; y, por la margen izquierda, los ríos Tantada (43 km^2), Pirhuay (25 km^2) y La Vega (242 km^2); mientras que los principales afluentes del río de Las Salinas son las quebradas El Peñón, Apingullo, Zangal, Caña Brava y Seca.

Al igual que el valle de Chao, Virú este también recibe irrigación complementaria del Proyecto Especial Chavimochic, lo que ha permitido el desarrollo de la agricultura en dicho valle

Quebrada de San Ildefonso

La quebrada de San Idelfonso desciende desde los cerros El Alto y San Idelfonso situados al Noreste de la ciudad de Trujillo; en su curso alto presenta un cauce rocoso y estrecho. Atraviesa luego depósitos aluviales potentes y erosionables en una distancia de 2.5 km hasta llegar a la zona urbana del El Porvenir donde el cauce natural de la quebrada se encuentra urbanizado a través de las calles Hipólito Unanue y Riva Agüero, que descienden contiguas al cauce natural, al término de los cuales el flujo de aguas se orientará hacia el Cementerio de Mampuesto. Este cementerio ocupa una depresión originada por un dique artificial de tierra de unos 650 m de longitud y altura variable entre 4 y 6 mEl escurrimiento que inicialmente se detenía en dicha depresión, ha sido orientado hacia el canal tapado La Mochica, a través de una tubería cuya capacidad es de 3.0 m^3/s; todo adicional se canaliza a través de la Avenida Miraflores hacia la zona antigua de la ciudad.

Considerando que en la quebrada de San Idelfonso no es caudal líquido lo que preocupa sino el gran arrastre de material sólido, se ha construido un dique de roca a una distancia estimada de 5 km de la zona urbana, abarcando aguas arriba un área de 7.6 km^2 , de modo que permita retener el material sólido transportado de gran tamaño, para que así fluya el agua sólo con sedimentos con tamaños inferiores a los cantos rodados pequeños (Ø < 100mm) y además, disipar la energía cinética de las aguas, consiguiendo el laminado de las mismas y reduciendo el peligro de desborde aguas abajo, en la zona urbana.

Figura 11. Cauce de la Quebrada “San Idelfonso”, en su parte baja. Fuente: Mapa de peligros de la ciudad de Trujillo.

Quebrada El León (Rio Seco)

La quebrada de El León, que en su parte baja se llama “Río Seco”, así como varias quebradas menores intermedias, tiene sus cauces de escurrimiento de Este – Oeste; casi la totalidad de

estos cursos naturales confluyen finalmente hacia un cauce receptor que luego de atravesar el flanco sur del distrito de Huanchaco desemboca en el mar. Otro punto de descarga al mar, pero de menor área de influencia es la quebrada de Valdivia cercana al área arqueológica de Chan Chan.

Los cauces naturales que conforman la quebrada, y en general el escurrimiento superficial que podría producirse por lluvias intensas, se encuentran interceptadas por la carretera Panamericana, la vía de evitamiento y la carretera a Huanchaco. Un elemento interceptor del escurrimiento, es la muralla Mochica que atraviesa toda la planicie aluvial situada entre los cerros Las Cabras y Campana. Dicha muralla está conformada por un muro central construido con piedras grandes y barro, de 1.50 m de ancho y altura de 3.00 m o más sobre el terreno natural; el muro está recubierto enteramente con enrocado liviano, con taludes de 1.5:1 o más tendidos. En la actualidad la muralla se encuentra destruida en varios tramos, justamente donde atraviesa cauces naturales. La muralla sigue pendientes descendentes hacia el cauce de la quebrada de El León de manera que el escurrimiento interceptado por la muralla es derivado hacia dicha quebrada. Por efecto del Fenómeno El Niño se han producido severas erosiones que han ampliado y socavado su cauce notándose terrazas altas y huellas recientes de sus niveles de agua de escurrimiento.

Transporte de sedimentos fluviales

De acuerdo con el mapa de facies texturales de sedimentos marinos superficiales elaborado por IMARPE (1987), en el sector de la Plataforma Continental frente al litoral entre Pacasmayo a Salaverry se observan variadas texturas de sedimentos, a manera de parches intercalado que de modo general muestran texturas de grano más grueso (arena, arena arcillosa en menor medida) más alejadas de la costa; áreas a manera de pequeñas franjas y parches de sedimentos de textura más fina como fango, arcilla limosa adyacentes a estas pero más cercanas a la línea a de costa y pequeños parche de limo arcilloso cercanos a la zona de la costa. Localmente hay áreas donde se incrementa también el tamaño de grano de los sedimentos en la zona más proximal a la costa entre Pacasmayo y Puerto Chicama y frente a la desembocadura del río Chicama donde se observan áreas de limo arenoso, frente a la desembocadura del río Moche se observa un área con textura de fango.

Entre Salaverry y el sur de Punta Chao hay una gran extensión de sedimentos de textura de arena con muy pequeños parches de fango y limo arenoso, con una franja de sedimentos de textura de arcilla limosa más cercanos a la costa y con una extensión de arena arcillosa presente muy cerca de la desembocadura del río Virú.

No son muchos los estudios de transporte de sedimentos que se han realizado hasta la fecha en la zona norte de Perú, por lo que no ha sido posible encontrar información relativa a este aspecto para los tres ríos analizados. Tan solo existen estudios elaborados para el río Moche, que no se pueden considerar extrapolables para el resto de los ríos de la zona de estudio, ya que analizan un tramo urbano del mismo.

Los valles de estos ríos descritos reciben sedimentos fluviales transportados por los cauces que descienden desde considerables alturas (sobre los 4 000 m.s.n.m.) en régimen de avenidas turbulentas y fuertes de corta duración; este tipo de escorrentía produce una sedimentación de materiales gruesos, a muy gruesos, alternados con elementos finos como arenas, limos y arcillas, ya sea mezclados o en estratos y lentes de poca extensión lateral. Como consecuencia de este régimen de escorrentía, no es posible encontrar depósitos exentos de materiales finos, que frecuentemente se forman bajo un régimen de flujos permanentes y fijos. Los elementos componentes que constituyen el relleno aluvial provienen mayormente de rocas sedimentarias que predominan en la zona andina (cuarcitas, areniscas, pizarras), y de las rocas magmáticas que forman las laderas occidentales de la cordillera.

Las cuencas son de fondo profundo y quebrado, con fuerte pendiente, presentando un relieve escarpado y en partes, abrupto, cortado por quebradas profundas y estrechas gargantas. Se

encuentran limitadas por cadenas de cerros que, en dirección al Océano Pacífico, muestran un descenso sostenido y rápido del nivel de cumbres. En la parte inferior de los valle se suele formar, como consecuencia de la brusca disminución de la pendiente, un pequeño cono de deyección la llanura aluvial, producto de la depresión del material transportado por el rio.

En la imagen siguiente se muestran, identificadas sobre la carta geológica, las principales quebradas existentes en la zona, que podrían ser, a priorí, fuente de sedimentos para las playas.

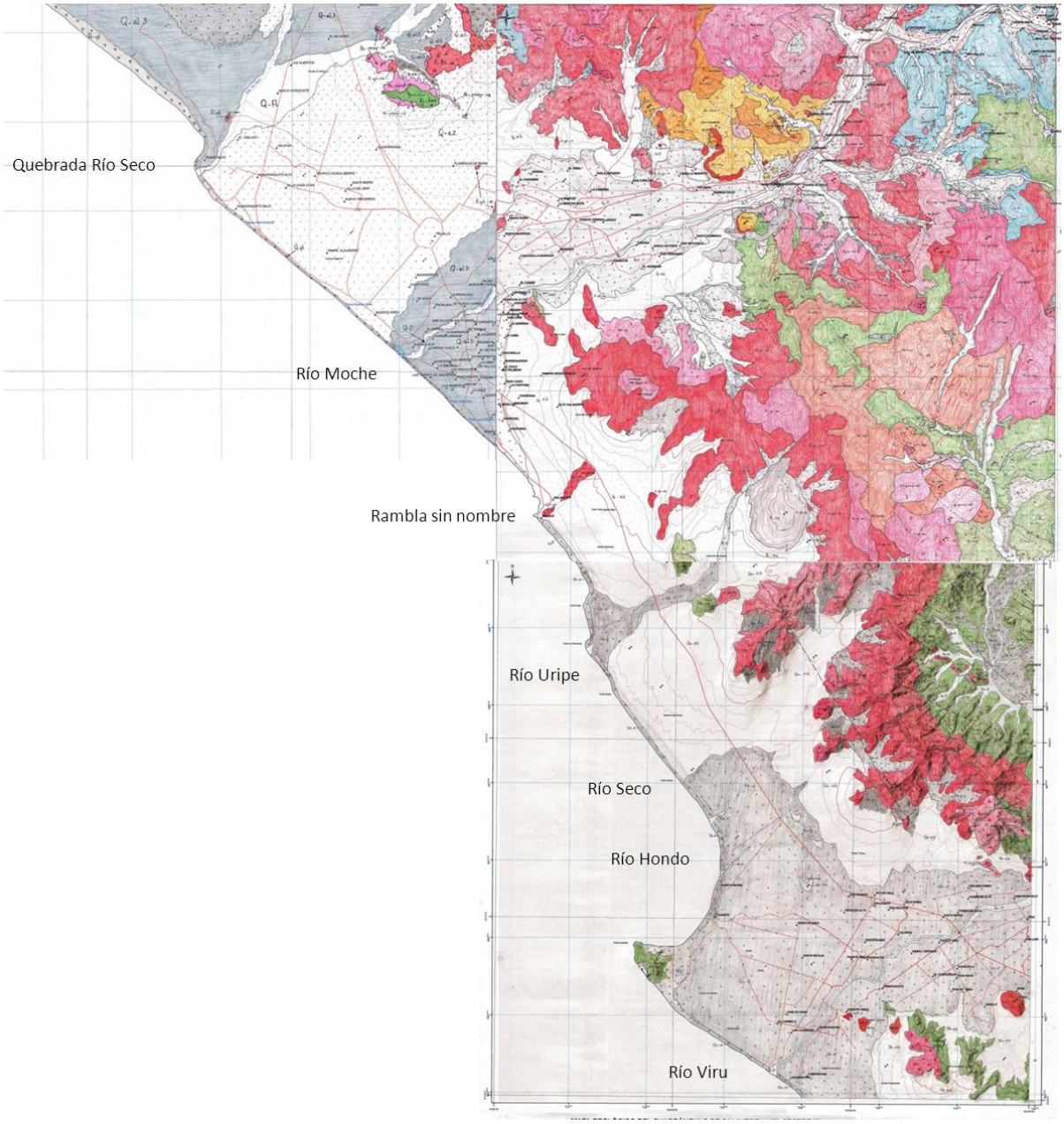


Figura 12. Carta Geológica.

Sin embargo, la realidad muestra que no existe un aporte de acarreos en las desembocaduras de las mismas, por lo general debido a la fuerte regulación que presentan los ríos principales y a la escasez de transporte de las quebradas secas.

Tan solo se ha identificado, por la geomorfología que presenta, una quebrada que podría estar aportando sedimentos en su desembocadura, que es el río Uripe, al sur de Salaverry. Lamentablemente no se han realizado hasta la fecha estudios o programas de monitorio que corroboren esta hipótesis, por lo que se ha recurrido al análisis de fotografías aéreas. En este caso procedentes de Google Earth al encontrarse al sur de la zona de estudio. Se puede apreciar como a pesar del avance de los terrenos de cultivo, entre los años 2004 y 2014 se ha producido un ligero aumento de la zona de playa justo al norte de la desembocadura del río Uripe (las fotografías anteriores son de peor calidad y no permiten apreciar bien el proceso).

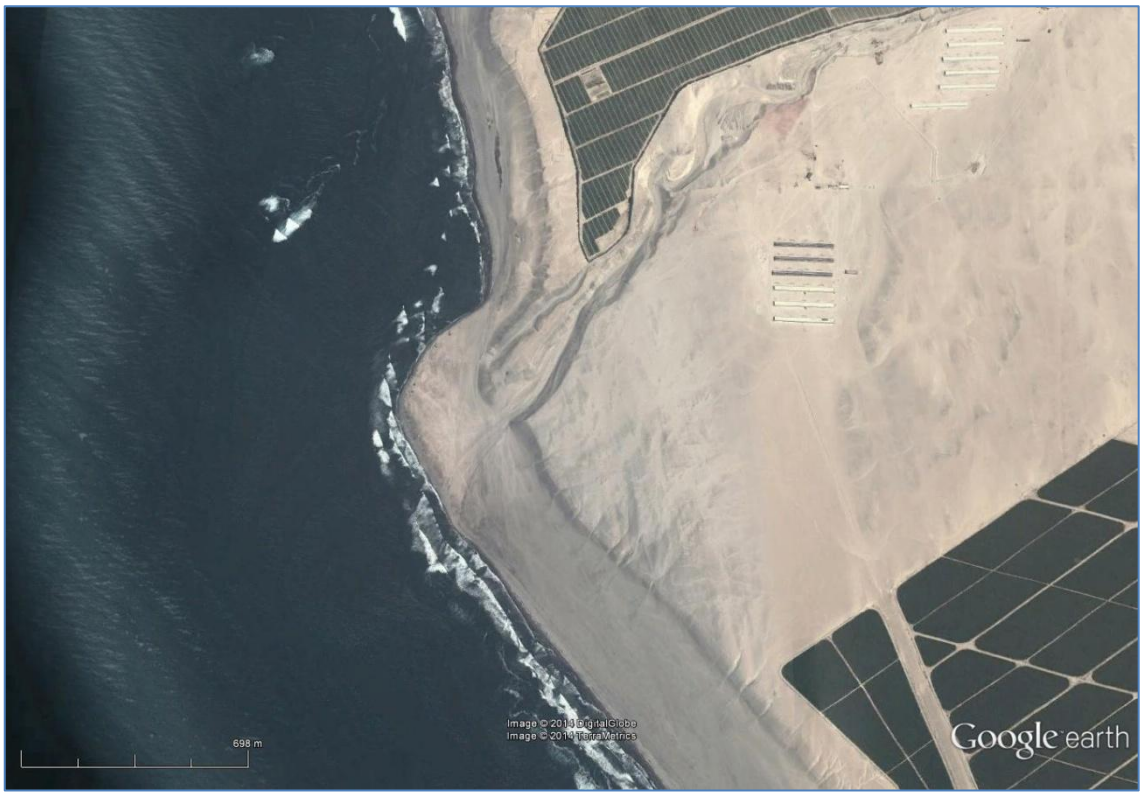


Figura 13. Desembocadura rio Uripe en 2004 y 2013

Por otro lado, también es posible que haya aporte de sedimentos en la desembocadura del Río Seco en Huanchaco, si bien la planificación urbanística de la zona terminará por afectar al entorno de la desembocadura del rio, según se aprecia en la fotografías siguientes, de los años 1987 y 2013.

En este caso se observa como el río ha perdido su sinuosidad natural, propia de cursos bajos, y ha sido encauzado al haberse desarrollado el municipio a ambos lados del mismo. En este caso, se produce el efecto contrario, el encauzamiento del río y la construcción de represas en los tramos altos está causando una merma en los sedimentos aportados a la playa de Huanchaco.

Huanchaco
Río Seco

Figura 14. Litoral de Huanchaco. 1967 y 2013

En cuanto a posibles sumideros, los resultados de las batimetrías no muestran la existencia de cañones submarinos, o similares.

3 B – CLIMA MARÍTIMO

3.1 FUENTES DE DATOS

Para la obtención del clima marítimo en aguas profundas se han empleado los datos de oleaje (altura de ola significante, periodo de pico y dirección media) de la base de datos hindcast GROW 78051. Este es un modelo global de retroanálisis desarrollado por Oceanweather que combina un modelo global de oleaje con su experiencia en desarrollar campos de viento marinos. GROW proporciona registros de viento y los parámetros del oleaje, criterios de extremos y estadísticos del conjunto de datos y espectro del oleaje. Estos datos cubren un período de 33 años: a partir del 1/1/1979 hasta el 31/12/2011, y tienen una frecuencia de una hora. En total se dispone de 289272 registros de datos. En el apéndice XX se incluye una descripción de los datos utilizados.

En la siguiente figura, se sitúa el punto que se ha seleccionado para caracterizar el clima marítimo en aguas profundas, que tiene las siguientes coordenadas: longitud 80.00º W y latitud 8.50º S.

Figura 15. Posición de la fuente de datos utilizada.

3.2 CLIMA MEDIO DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

3.2.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL OLEAJE

La distribución sectorial del oleaje queda caracterizada mediante las rosas de oleaje, que discretizan los datos en clases de direcciones y alturas de ola. Cada sector se representa con un brazo en la rosa. Su longitud es proporcional a la probabilidad de presentación de cada sector, calculada como la frecuencia relativa muestral. De esta forma se puede apreciar visualmente cuáles son los sectores que predominan. La discretización en alturas de ola permite determinar cuáles son los sectores más energéticos.

Como se ha comentado en el apartado anterior, la información que se ha utilizado para caracterizar el oleaje en condiciones medias ha sido los datos del nodo GROW. A continuación se presenta la rosa de oleaje este nodo. La misma información en forma numérica se puede ver en la tabla adjunta.

Observando la Figura 16 se puede apreciar que los oleajes con mayor frecuencia de presentación son por un lado el SSW (con un 55%) y por otro el S (con un 38%). Estos mismos sectores también son los sectores más energéticos, junto con el sector SSE, que a pesar de tener tan sólo un 0.1% de frecuencia de presentación tiene oleajes que superan los 4 m de Hs y el sector SW que supera los 3 m. También se puede ver en la rosa de oleaje que a parte de estos sectores, tan sólo el WSW contiene datos (0.4%) Por lo tanto, en la fuente de datos analizada los datos se concentran alrededor de una pocas direcciones.

A partir de estos resultados se concluye que los oleajes a considerar en las propagaciones desde aguas profundas hasta la costa deben ser los comprendidos entre el SSE y el WSW. Posteriormente, se hará un análisis para definir los oleajes característicos que se deben propagar, en función de la batimetría particular y la orientación de la costa.

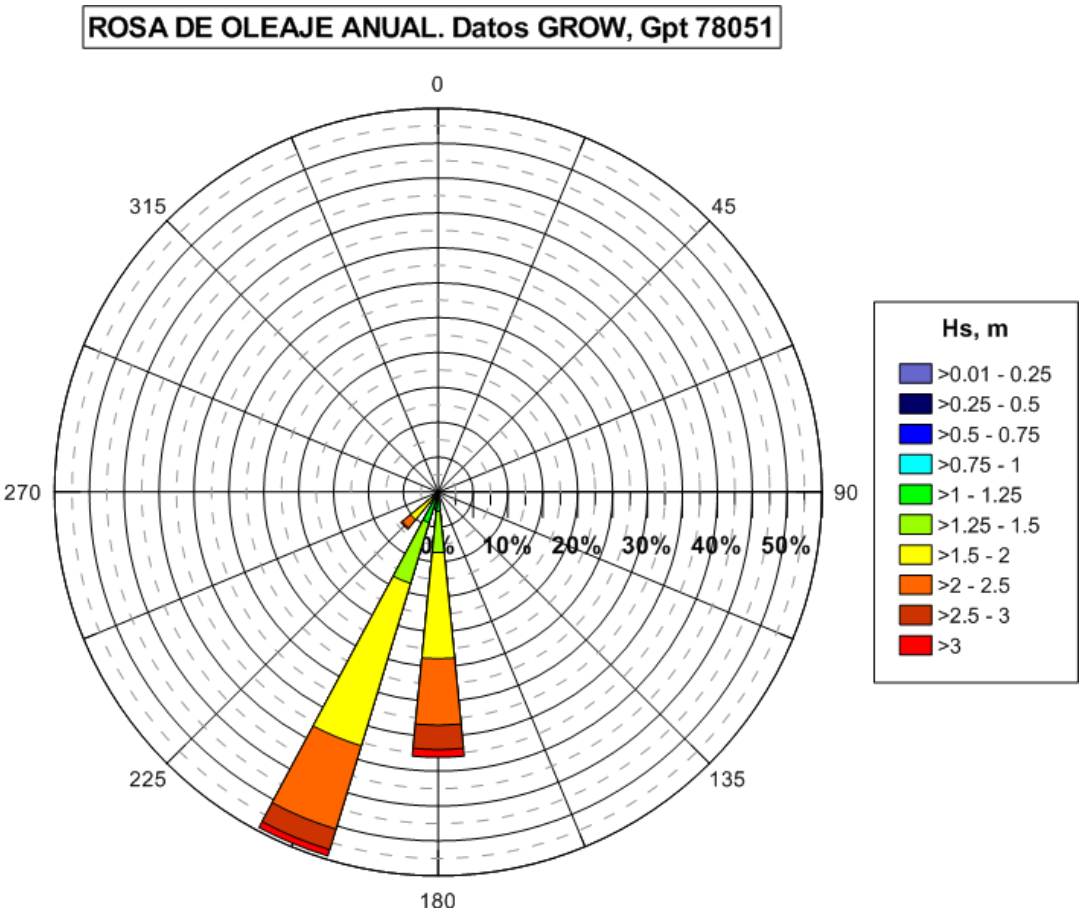


Figura 16. Rosa de olaje anual. Datos GROW.

Dirección	Hs, m										TOTAL	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SSE	0	0	0	28	63	160	73	17	25	0	366	0.1%
S	0	1161	23965	44007	27547	10082	2668	521	47	0	109998	38.0%
SSW	0	1844	37722	70380	36117	8911	2273	399	24	0	157670	54.5%
SW	0	112	3177	11517	4522	580	20	0	0	0	19928	6.9%
WSW	0	0	42	752	435	49	0	0	0	0	1278	0.4%
W	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	32	0.0%
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
TOTAL	0	3117	64906	126684	68716	19782	5034	937	96	0	289272	
%	0.0%	1.1%	22.4%	43.8%	23.8%	6.8%	1.7%	0.3%	0.0%	0.0%		

Tabla 2. Altura de ola significante (Hs, m) – Dirección. Datos GROW

Para analizar si existen variaciones estacionales en la distribución sectorial del oleaje, se ha realizado las rosas de oleaje estacionales, que se presentan a continuación. Se puede observar que los mayores temporales se registran en las estaciones de invierno y otoño, mientras que la primavera y sobre todo el verano tienen alturas de ola mucho menores.

También existen diferencias apreciables en la distribución sectorial: en invierno los oleajes proceden principalmente del sector S (65%) y del SSW (casi 35%), en cambio en otoño y primavera el sector dominante es el SSW y el S (con alrededor de un 60% - 40%, respectivamente), es decir, en invierno el oleaje tiene una incidencia más oblicua respecto a la orientación de la costa. En verano el sector predominante sigue siendo el SSW (más de un 65%), pero el segundo sector con mayor frecuencia es el SW.

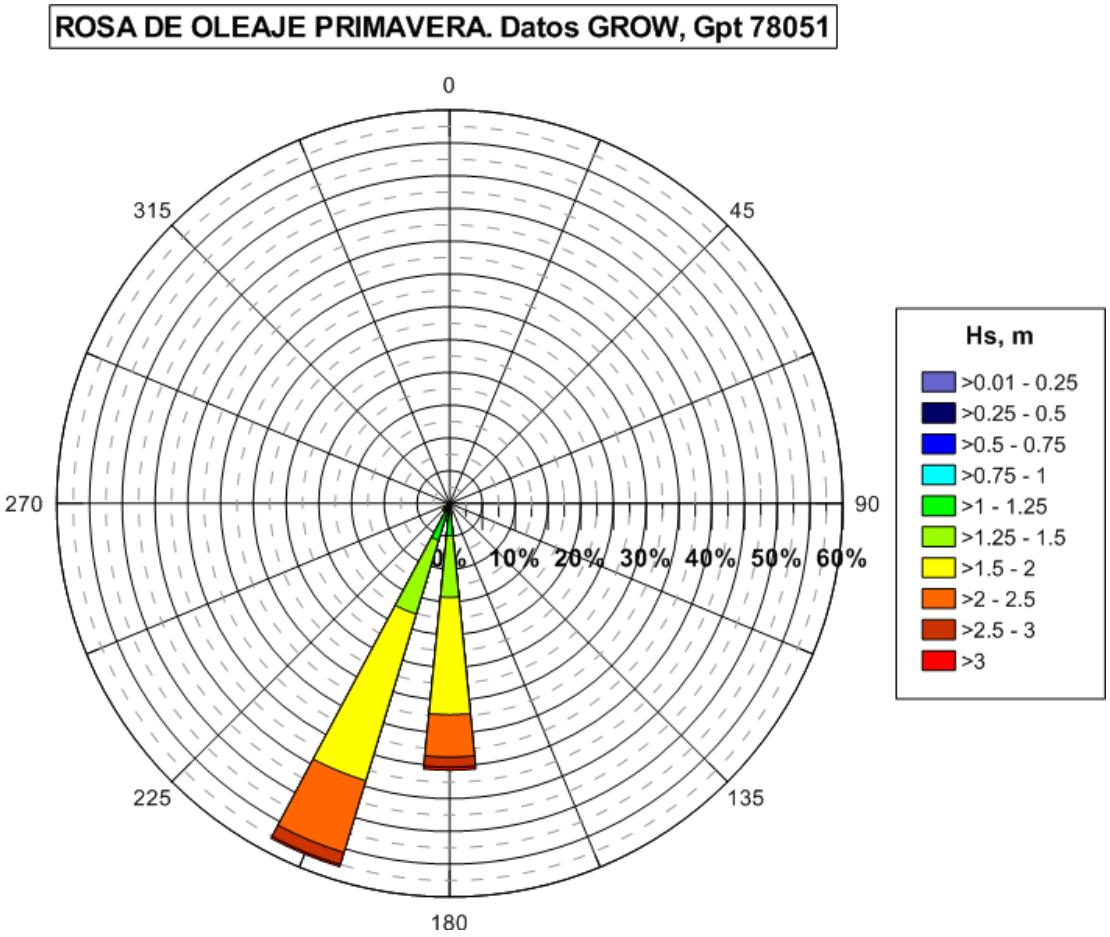


Figura 17. Rosa de olaje primavera. GROW.

Dirección	Hs, m										TOTAL	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%

SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
S	0	488	9843	12892	4637	1108	236	108	0	0	29312	40.7%
SSW	0	518	12192	19138	8244	1384	222	18	0	0	41716	57.9%
SW	0	0	367	487	154	10	0	0	0	0	1018	1.4%
WSW	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	26	0.0%
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
TOTAL	0	1006	22402	32543	13035	2502	458	126	0	0	72072	
%	0.0%	1.4%	31.1%	45.2%	18.1%	3.5%	0.6%	0.2%	0.0%	0.0%		

Tabla 3. Altura de ola significante (Hs, m) – Dirección. GROW. Primavera

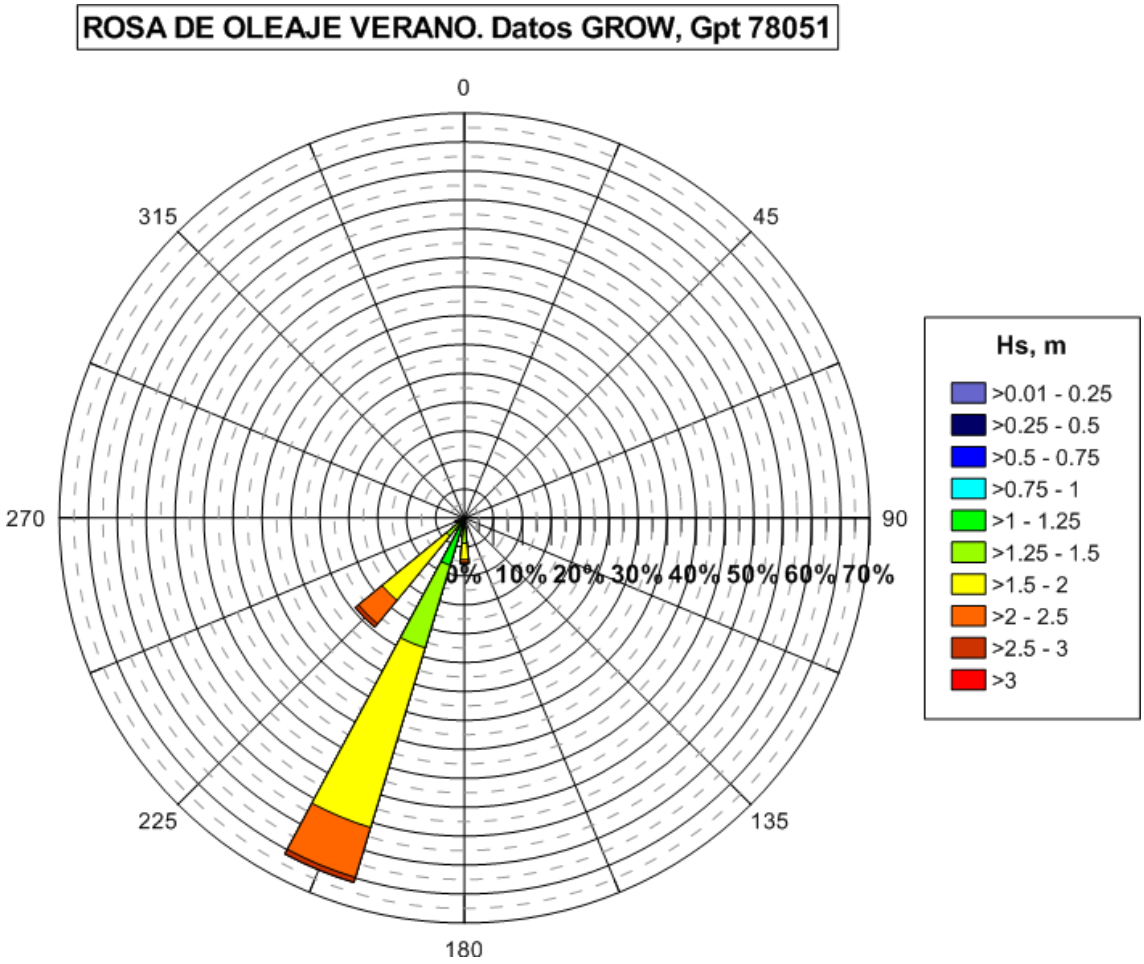


Figura 18. Rosa de olaje verano. GROW.

Dirección	Hs, m										TOTAL	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
S	0	336	2768	2074	417	34	35	0	0	0	5664	7.9%
SSW	0	891	15880	23183	6462	624	25	0	0	0	47065	65.9%
SW	0	112	2744	10295	3761	527	20	0	0	0	17459	24.4%
WSW	0	0	42	726	435	49	0	0	0	0	1252	1.8%
W	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	32	0.0%
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
TOTAL	0	1339	21434	36278	11107	1234	80	0	0	0	71472	
%	0.0%	1.9%	30.0%	50.8%	15.5%	1.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%		

Tabla 4. Altura de ola significante (Hs, m) – Dirección. GROW. Verano

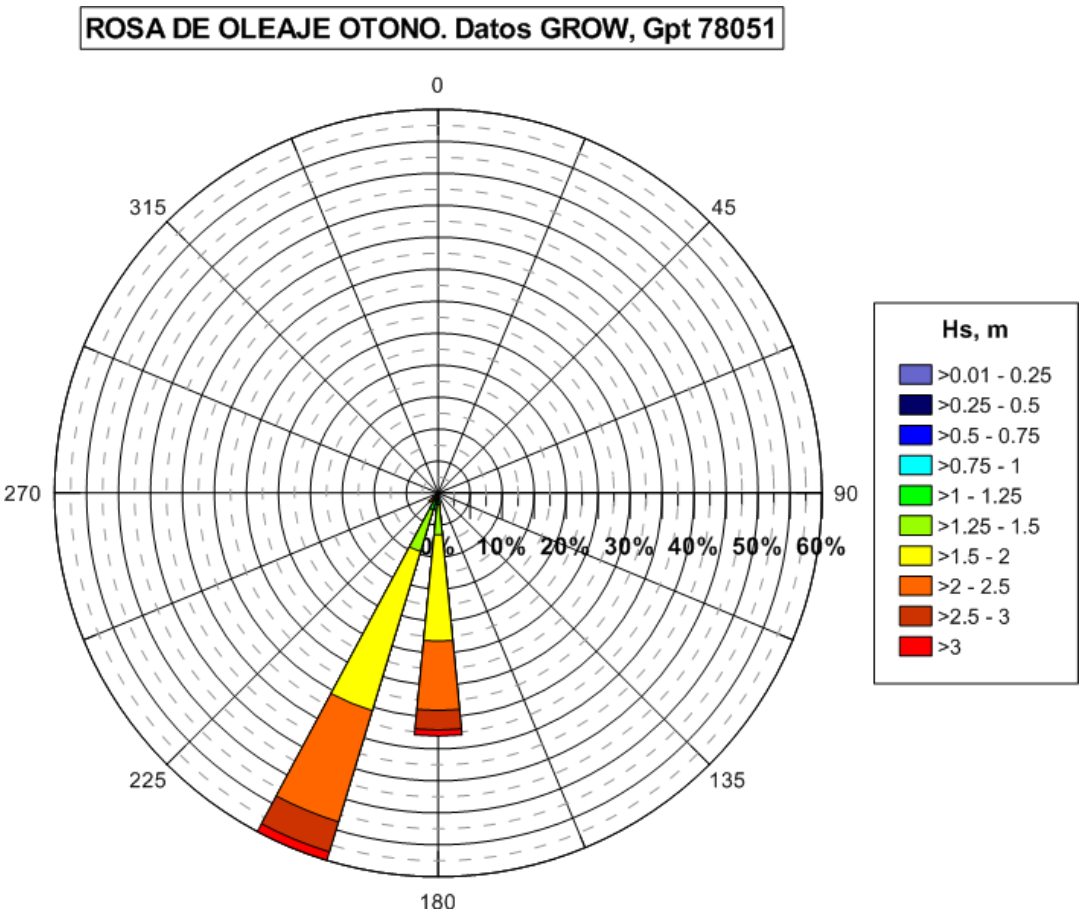


Figura 19. Rosa de olaje otoño. GROW.

Dirección	Hs, m										TOTAL	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SSE	0	0	0	9	12	2	17	0	0	0	40	0.1%
S	0	194	4603	12077	7892	2240	664	18	0	0	27688	38.0%
SSW	0	207	6770	18925	13234	3583	915	73	11	0	43718	60.0%
SW	0	0	50	718	607	43	0	0	0	0	1418	1.9%
WSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
TOTAL	0	401	11423	31729	21745	5868	1596	91	11	0	72864	
%	0.0%	0.6%	15.7%	43.5%	29.8%	8.1%	2.2%	0.1%	0.0%	0.0%		

Tabla 5. Altura de ola significante (Hs, m) – Dirección. GROW. Otoño

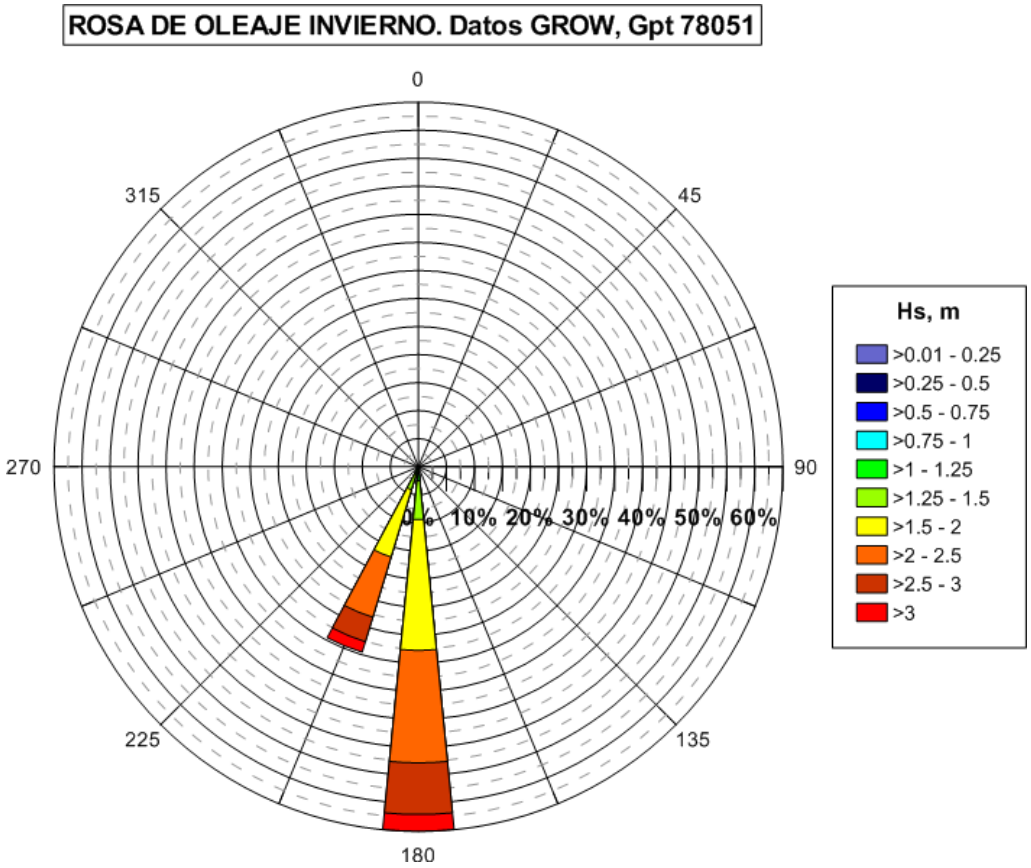


Figura 20. Rosa de olaje invierno. GROW.

Dirección	Hs, m										TOTAL	
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SSE	0	0	0	19	51	158	56	17	25	0	326	0.4%
S	0	143	6751	16964	14601	6700	1733	395	47	0	47334	65.0%
SSW	0	228	2880	9134	8177	3320	1111	308	13	0	25171	34.5%
SW	0	0	16	17	0	0	0	0	0	0	33	0.0%
WSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
TOTAL	0	371	9647	26134	22829	10178	2900	720	85	0	72864	
%	0.0%	0.5%	13.2%	35.9%	31.3%	14.0%	4.0%	1.0%	0.1%	0.0%		

Tabla 6. Altura de ola significante (Hs, m) – Dirección. GROW. Invierno

3.2.2 REGIMEN MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS

El objetivo del estudio del régimen medio es caracterizar la probabilidad de no superación de diferentes niveles de altura de ola en un año medio. Esto se realiza mediante el ajuste de la muestra de alturas de ola disponible a una función de distribución acumulada. La función que se utiliza habitualmente para caracterizar el régimen medio del oleaje es la distribución Weibull de mínimos. Su función de distribución acumulada es:

$$P\left[Hs \le \underline{h}\right] = 1 - \exp\left[-\left(\frac{h-A}{B}\right)^{C}\right],$$

donde *A* es el parámetro de posición, *B* es el parámetro de escala y *C* es el parámetro de forma. Los 3 parámetros de esta distribución se han estimado con el método de los momentos.

Régimen medio escalar

Para determinar el régimen medio escalar, se ha ajustado la distribución muestral propuesta para todos los datos del nodo GROW a una distribución de Weibull de mínimos. En la Figura 21, se puede ver este ajuste. El valor estimado de los parámetros de la distribución ha sido: A= 1.071, B= 0.881 y C= 1.57.

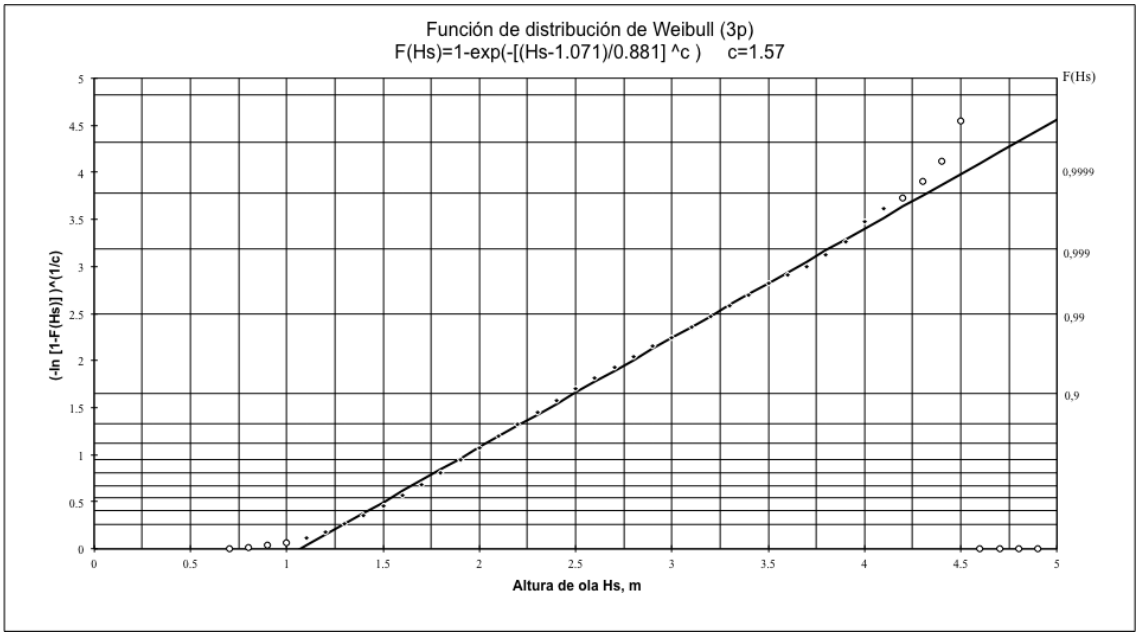


Figura 21. Régimen medio escalar. Ajuste de los datos del nodo GROW a una distribución de Weibull de mínimos

Regímenes medios direccionales

El régimen medio direccional proporciona la probabilidad de no excedencia de diferentes valores de altura de ola en un año medio condicionada a que el oleaje provenga de un sector dado. El procedimiento para calcular los regímenes medios direccionales es el mismo que para el régimen escalar. En este caso, el registro total se divide en clases en función de la dirección de incidencia del oleaje. La distribución muestral de los datos que pertenecen a cada una de estas clases se tiene que ajustar a la distribución teórica.

A continuación, como resumen de este análisis, se puede ver la comparación de todos los regímenes medios direccionales y una tabla con los parámetros estimados de la distribución de Weibull. Las probabilidades de no excedencia definidas por la funciones de distribución obtenidas tienen que ser interpretadas como probabilidades condicionadas, por lo tanto tienen que ser valoradas con la correspondiente frecuencia de presentación sectorial del oleaje a partir del Teorema de las probabilidades totales.

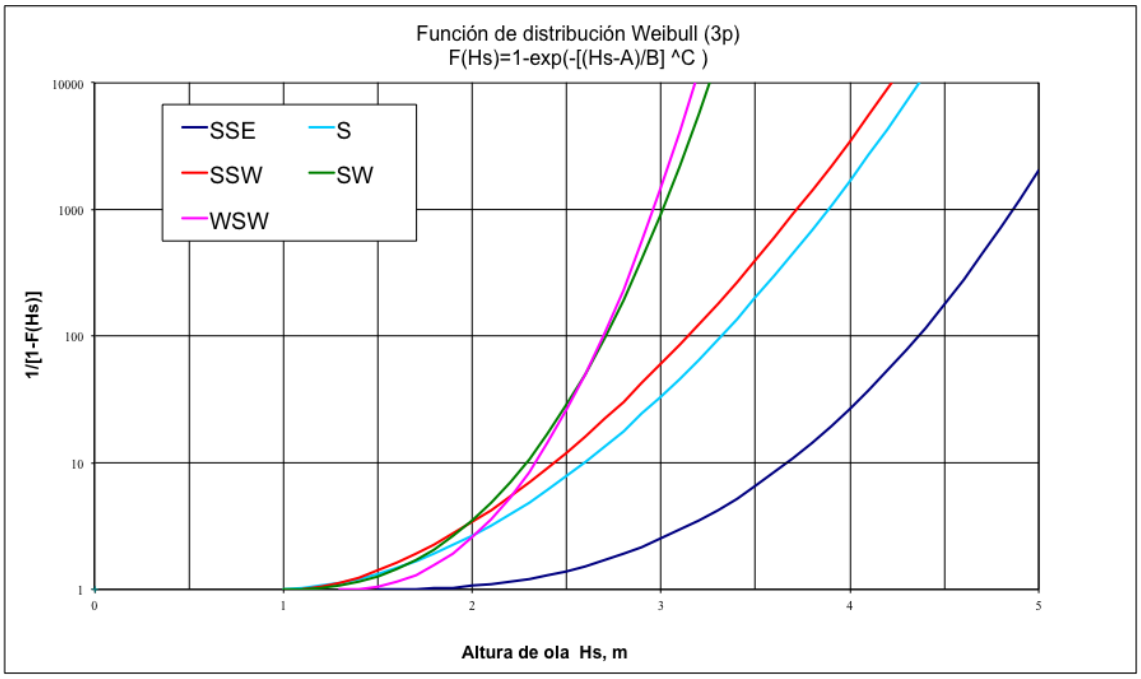


Figura 22. Regímenes medios direccionales. Datos del nodo GROW.

Sector	A	B	C
SSE	1.478	1.573	2.52
S	0.964	1.045	1.88
SSW	1.074	0.82	1.65
SW	0.945	0.968	2.55
WSW	1.290	0.729	2.33

Tabla 7. Regímenes medios direccionales. Parámetros estimados de la distribución de Weibull. Datos del nodo GROW

Estas distribuciones se pueden utilizar únicamente para condiciones medias. Para tener un orden de magnitud: la probabilidad de que la altura de ola no sea superada más de 12 h por año es de 0.9986, de 48 h 0.9945 y la de 1 semana es de 0.9808. Por lo tanto, estas distribuciones se tienen que utilizar para valores de probabilidad de excedencia situados en la parte central.

3.2.3 DISTRIBUCION DE Tp

En este apartado se analiza la relación existente entre la altura de ola significante, Hs, y el período de pico del oleaje, Tp. Esta relación puede servir para definir el conjunto de oleajes tipo que caracterizan el clima de la zona.

Dirección	Tp, s									TOTAL	
	(4,6]	(6,8]	(8,10]	(10,12]	(12,14]	(14,16]	(16,18]	(18,20]	(20,22]		
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
SSE	0	6	215	145	0	0	0	0	0	366	0.1%
S	146	10971	34708	23046	22431	14663	3692	324	17	109998	38.0%
SSW	8	1735	9786	34581	60699	39655	10270	924	12	157670	54.5%
SW	0	1	181	1956	7679	7332	2546	233	0	19928	6.9%
WSW	0	0	0	34	270	617	321	34	2	1278	0.4%
W	0	0	0	0	0	6	26	0	0	32	0.0%
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
TOTAL	154	12713	44890	59762	91079	62273	16855	1515	31	289272	
%	0.1%	4.4%	15.5%	20.7%	31.5%	21.5%	5.8%	0.5%	0.0%		

Tabla 8. Período de pico (Tp, s) – Dirección. GROW

Se ha realizado un histograma para la variable período de pico de cada uno de los sectores considerados. A continuación se presentan todos los histogramas. En ellos, se puede apreciar cuáles son los períodos más frecuentes, cuál es el período de pico medio de todos los oleajes registrados para cada sector y apreciar visualmente el grado de dispersión que hay en esta variable.

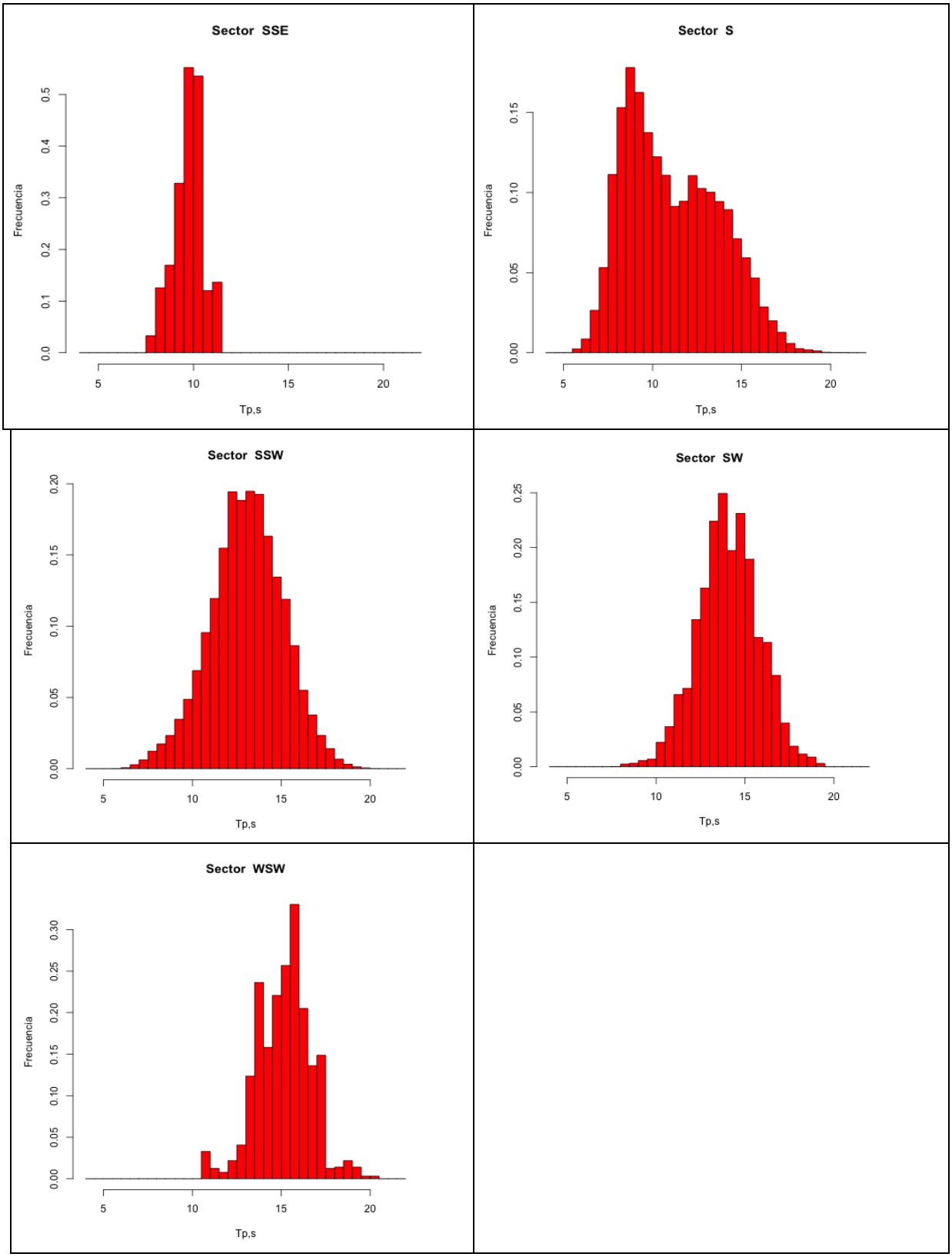
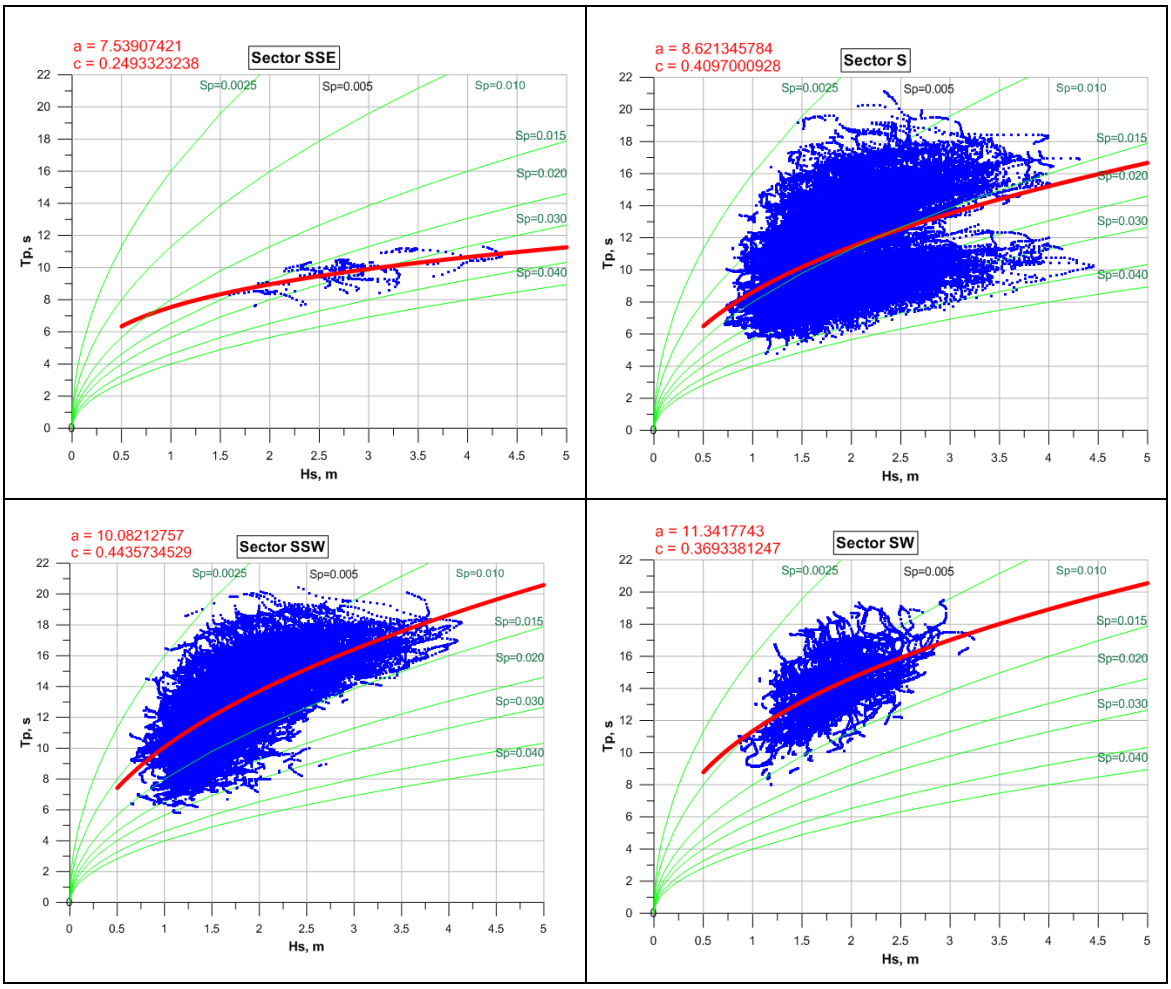


Figura 23. Histograma con la frecuencia relativa muestral de la variable Tp por sectores. Datos GROW

También se ha determinado para los temporales de cada uno de los sectores la relación entre la variable altura de ola, Hs, y la variable período de pico, Tp. Para ello se ha dibujado un diagrama de dispersión para cada sector y se ha ajustado mediante el método de mínimos cuadrados un modelo teórico. Se ha ajustado un modelo potencial, $Tp = a \cdot (Hs)^c$, a todos los datos de los temporales para determinar una relación entre ambas variables.

Aunque la dispersión de estas 2 variables siempre es grande, estos ajustes suelen presentar una aproximación razonable incluso para extrapolar los valores de Tp a alturas de ola que no se han registrado. Esta relación se utilizará para determinar los períodos de pico asociados a las alturas de ola extremales, que se calcularán en el siguiente apartado. A continuación se pueden ver estos resultados.



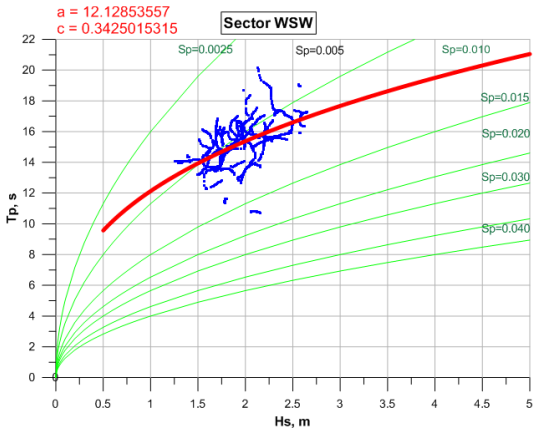


Figura 24. Diagrama de dispersión Hs-Tp por sectores. Datos GROW

3.3 CLIMA EXTREMAL DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

La caracterización de los valores extremos es muy importante desde el punto de vista de la ingeniería porque está relacionada con la definición de las acciones externas que tienen que resistir las estructuras que se diseñan. El problema para poder caracterizar estas acciones es que los sucesos peligrosos suceden con muy poca frecuencia. Por lo tanto, se debe utilizar una teoría que permita estimar el comportamiento de los niveles altos a partir de los bajos. Esto se consigue con la teoría de valores extremos.

En función de los datos que se utilizan para extrapolar el comportamiento de la cola superior de la distribución se distinguen los siguientes métodos: distribución de tamaños, que utiliza todos los datos disponibles y extrapola el resultado a la cola superior, distribución de extremos, que divide el tiempo de registro en intervalos y sólo utiliza el máximo de cada uno, y distribución de excesos, que calcula la distribución de los excesos sobre un umbral.

Según el teorema de Fisher-Tippett, si la distribución que se quiere caracterizar tiene la cola superior regular y el número de datos es suficientemente grande, la distribución del máximo de éstas se aproxima a uno de los siguientes modelos: Fréchet, Gumbel o Weibull.

3.3.1 REGIMEN EXTREMAL ESCALAR

Para caracterizar el régimen extremal, se ha utilizado la distribución de Weibull.. El método para seleccionar los datos a analizar ha sido el de excesos sobre un umbral (*Peak Over Threshold*, POT). Cuanto más alto sea el umbral, más probable es que los datos analizados se distribuyan según una distribución de máximos, pero menos datos quedan para estimar los parámetros. Se ha definido un umbral, de forma que el número de datos a analizar sea coherente con el tiempo de registro y suficientemente grande como para hacer la estimación.

El régimen extremal define las características del oleaje en el emplazamiento donde se encuentra cada fuente de datos. En la siguiente figura, se muestra el régimen extremal escalar de los datos GROW. Se ha realizado ajustando una distribución de Weibull a la muestra resultante de seleccionar los valores máximos de altura de ola significante de las borrascas que superaran el umbral de 3.5 m. El número total de borrascas consideradas ha sido de 105.

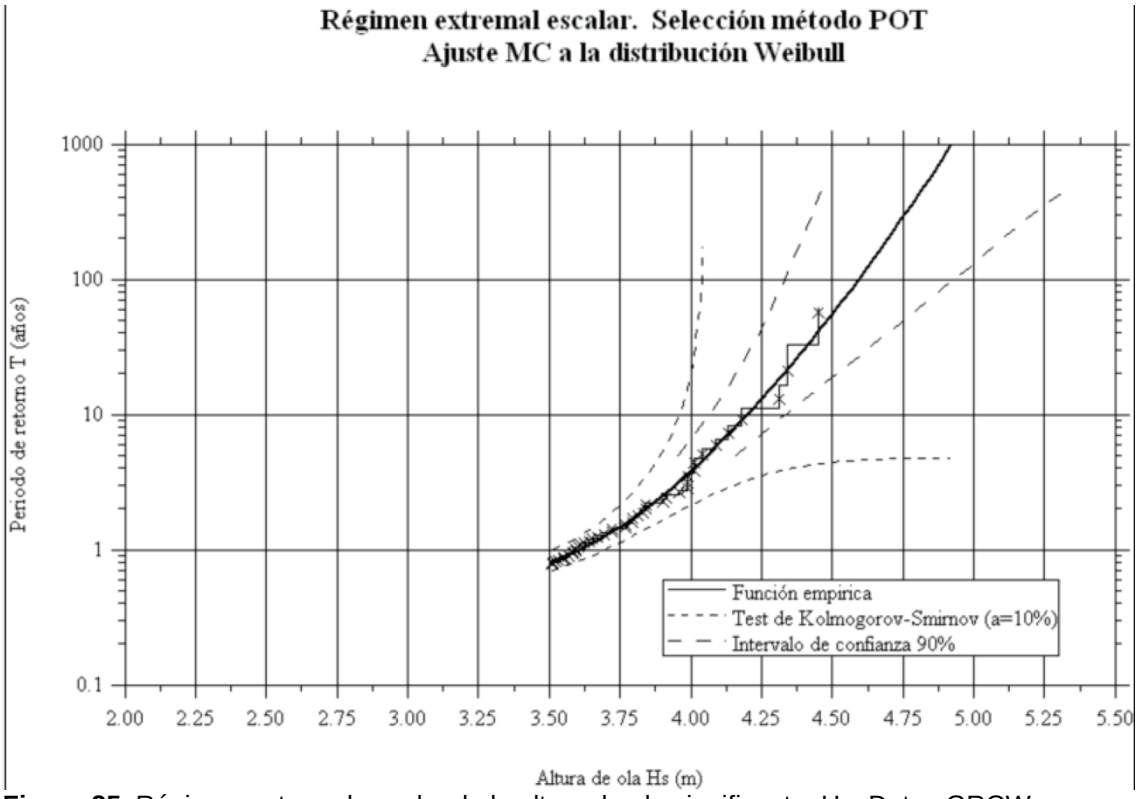


Figura 25. Régimen extremal escalar de la altura de ola significante, Hs. Datos GROW.

3.3.2 REGIMEN EXTREMAL DIRECCIONAL

Los regímenes extremales direccionales se calculan de la misma forma que el escalar, pero utilizando únicamente los datos procedentes del mismo sector que se quiere caracterizar. Después de ver la distribución sectorial del oleaje, se puede afirmar que los mayores temporales en las proximidades de la zona de proyecto proceden de los sectores SSE, S, SSW, SW y WSW. En el resto de los sectores existen muy pocos temporales dentro de la fuente de datos analizada.

En las siguientes figuras, se muestra el régimen extremal direccional de los datos GROW.

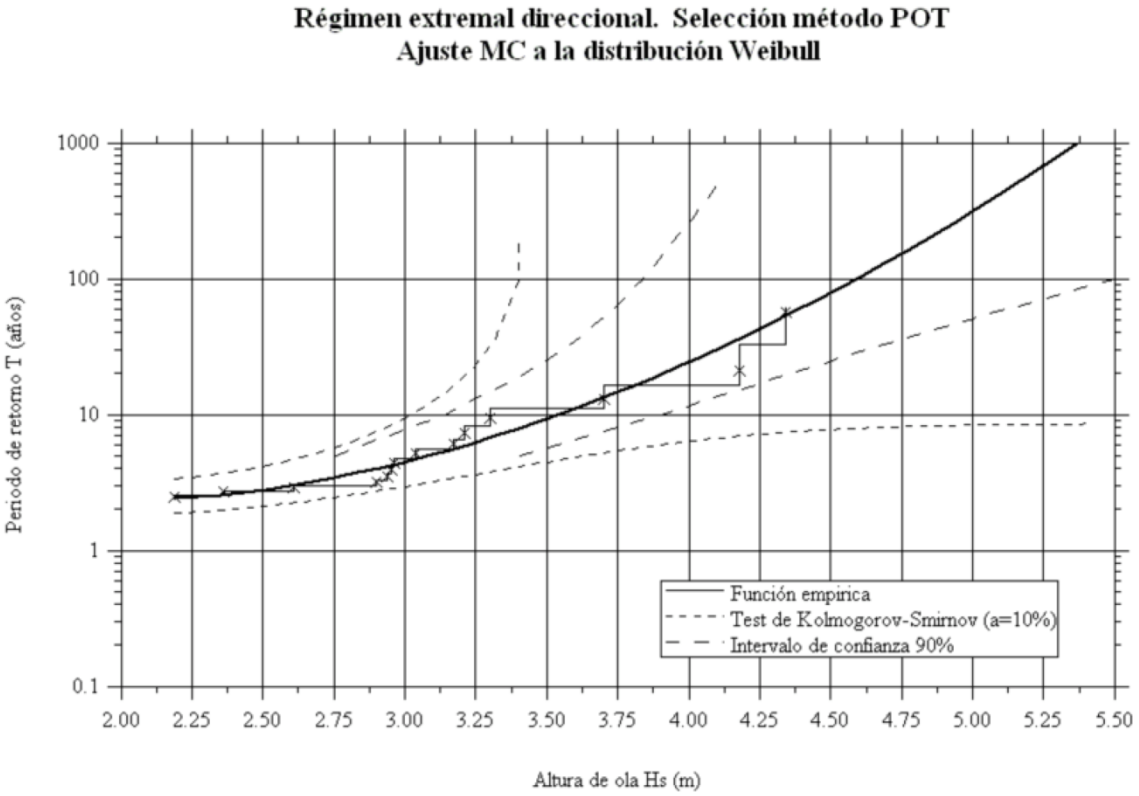


Figura 26. Regimen Extremal Direccional. Datos GROW. Sector SSE.

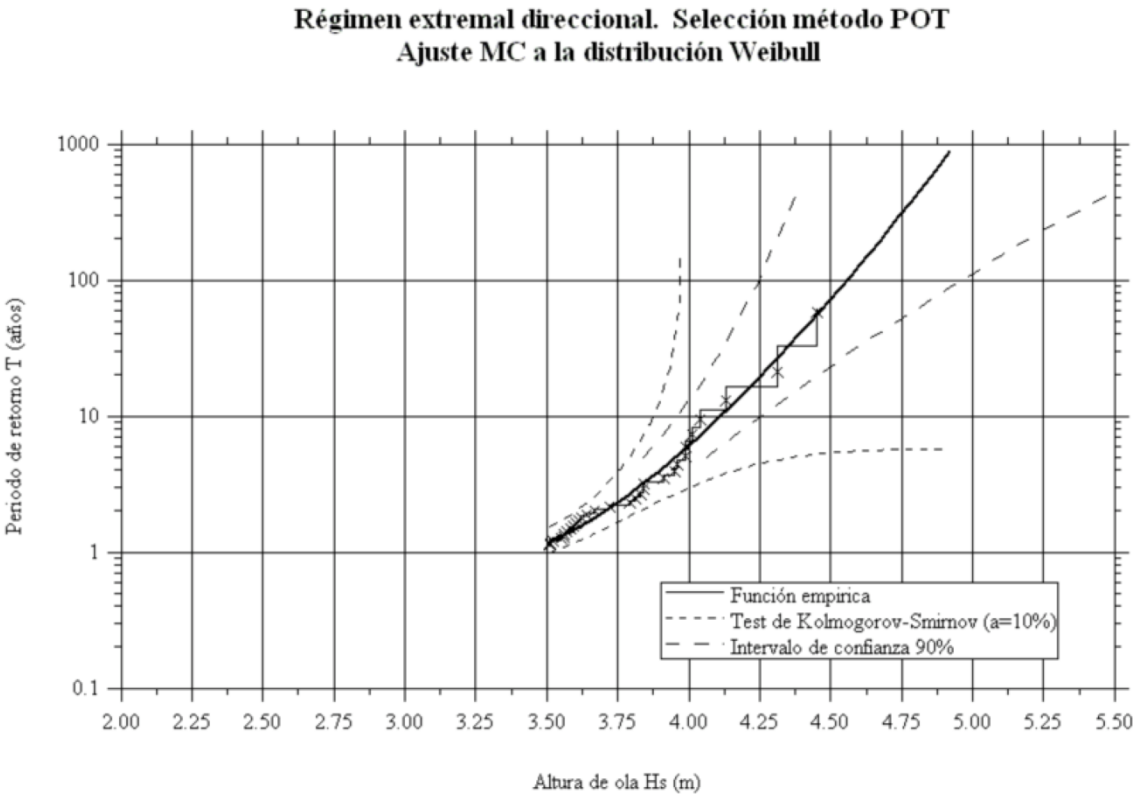


Figura 27. Regimen Extremal Direccional. Datos GROW. Sector S.

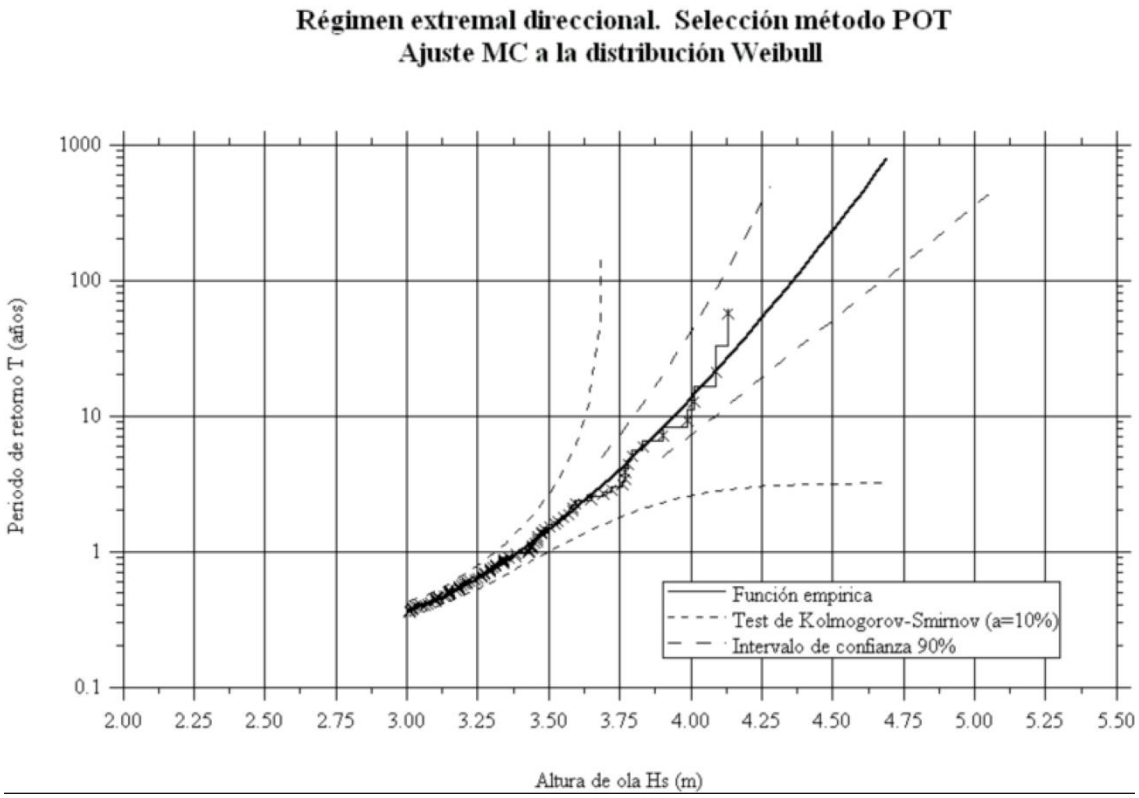


Figura 28. Regimen Extremal Direccional. Datos GROW. Sector SSW.

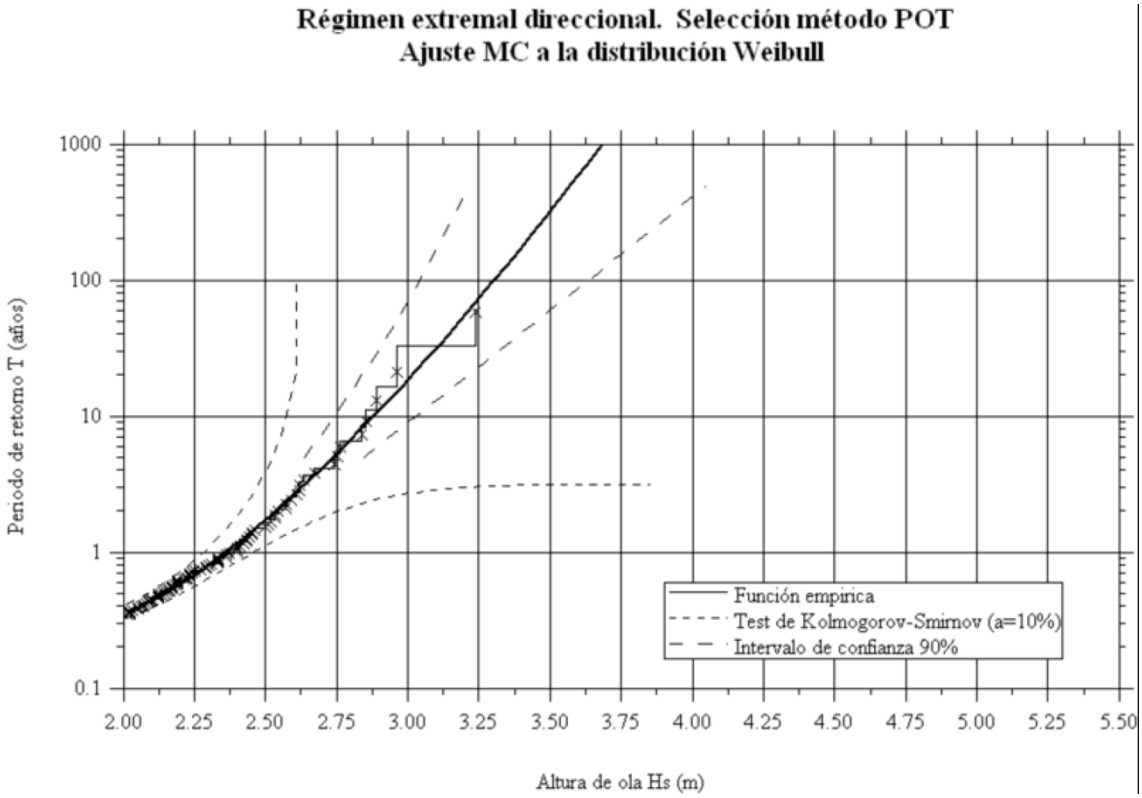


Figura 29. Régimen Extremal Direccional. Datos GROW. Sector SW.

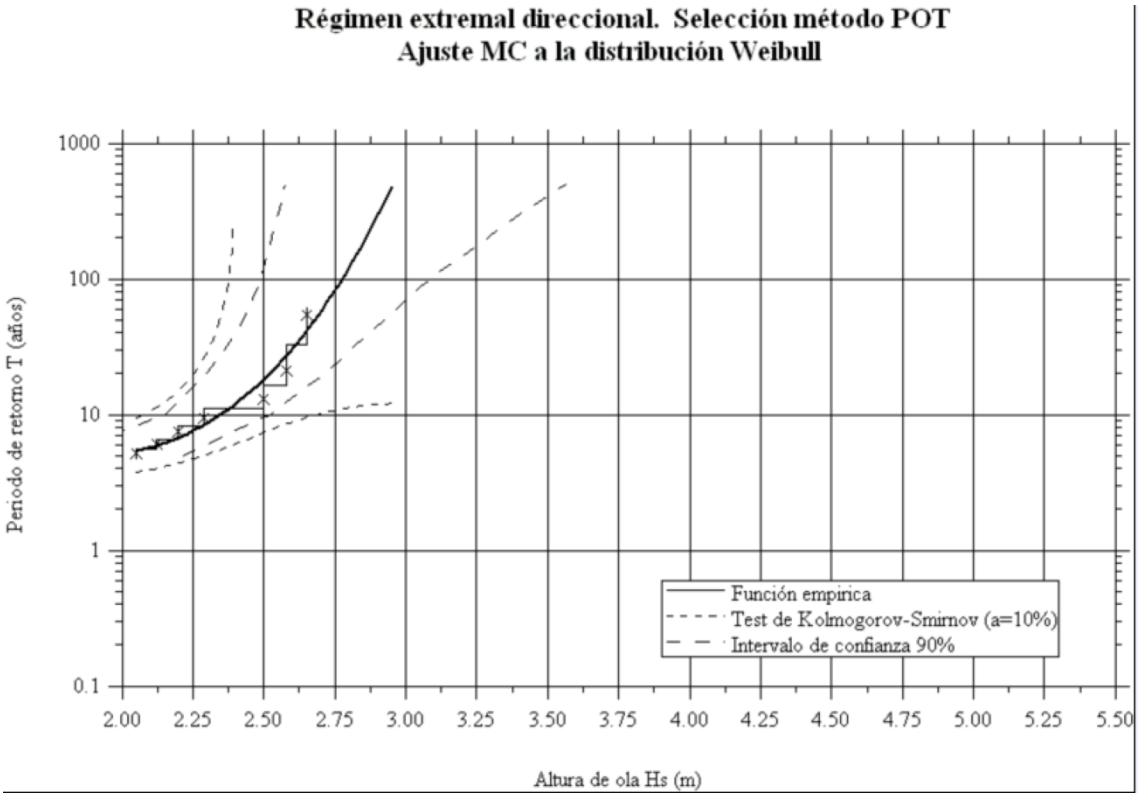


Figura 30. Régimen Extremal Direccional. Datos GROW. Sector WSW.

En la tabla siguiente, se presenta para cada sector el número de temporales seleccionados y los parámetros estimados de la distribución de Weibull.

Sector	nDatos	A	B	C
TOTAL	43	3.430	0.420	1.56
SSE	14	2.047	1.219	1.79
S	30	3.440	0.383	1.41
SSW	93	2.943	0.444	1.49
SW	95	1.968	0.377	1.37
WSW	7	1.727	0.692	2.67

Tabla 9. Número de temporales seleccionados y parámetros estimados de la distribución de Weibull para determinar los REE y RED. Datos GROW.

Una vez determinados los regímenes extremales direccionales, se han calculado las alturas de ola asociadas a diferentes períodos de retorno. En las siguientes tablas se muestran las alturas de ola asociadas a la estima central de los ajustes y a la banda de confianza del 90%.

t, años	Escalar	SSE	S	SSW	SW	WSW
5	4.06	3.09	3.95	3.8	2.74	1.97
10	4.2	3.54	4.11	3.94	2.88	2.35
50	4.48	4.32	4.43	4.24	3.18	2.68
112	4.61	4.64	4.58	4.38	3.33	2.79
237	4.72	4.9	4.71	4.5	3.45	2.88
500	4.83	5.15	4.83	4.62	3.57	2.96

Tabla 10. Alturas de ola asociadas a la estima central del régimen extremal escalar y a los regímenes extremales direccionales. Datos GROW.

t, años	Escalar	SSE	S	SSW	SW	WSW
5	4.16	3.41	4.06	3.9	2.85	2.21
10	4.33	3.9	4.26	4.09	3.03	2.52
50	4.76	4.99	4.74	4.5	3.45	2.92
112	4.96	5.61	5	4.71	3.67	3.12
237	5.15	6.2	5.26	4.9	3.86	3.33
500	5.35	6.79	5.54	5.09	4.05	3.57

Tabla 11. Alturas de ola asociadas a la banda de confianza del 90% del régimen extremal escalar y a los regímenes extremales direccionales. Datos GROW.

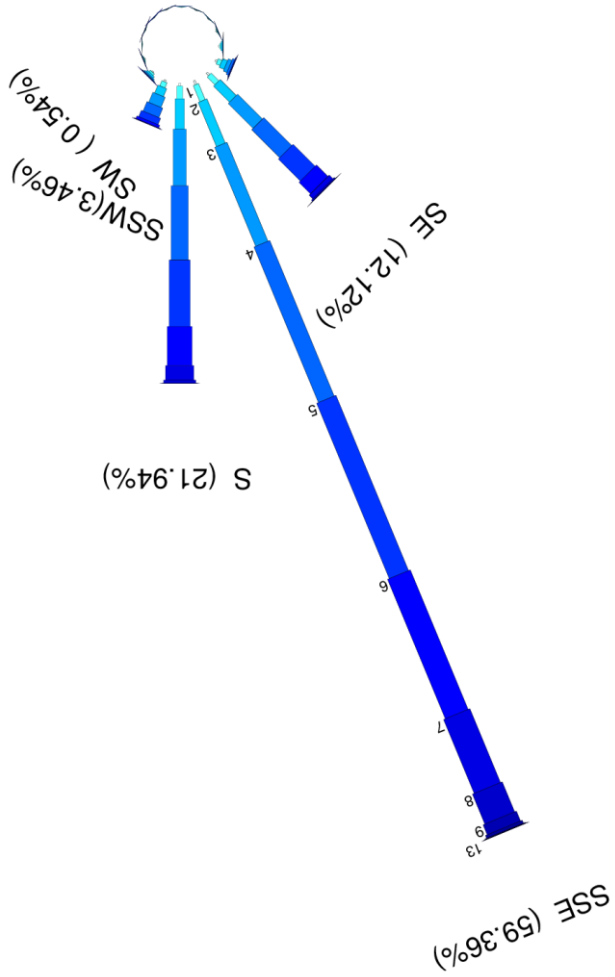
Observando las alturas de ola obtenidas para los diferentes períodos de retorno, se puede ver que el sector que tiene mayores alturas de ola asociadas es el SSE, a pesar de tener una frecuencia de presentación muy baja. De todas formas, teniendo en cuenta la orientación de la costa, prácticamente seguro que las direcciones que llegarán con mayor altura de ola a la zona de proyecto serán S ó SSW, a pesar de tener una altura de ola en aguas profundas menor.

3.4 CONDICIONES DEL VIENTO

3.4.1 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL

La descripción de la distribución sectorial del oleaje que se recoge en Apartado 3.2.1 *CLIMA MEDIO DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS*, es válida para la distribución sectorial de los datos de viento, que se resume en la rosa de viento y la correspondiente tabla de encuentros.

Tal y como se aprecia el viento presenta algo más de dispersión que el oleaje, pero no demasiada y prácticamente la totalidad de los vientos provienen del segundo sector, y en especial del SSE"

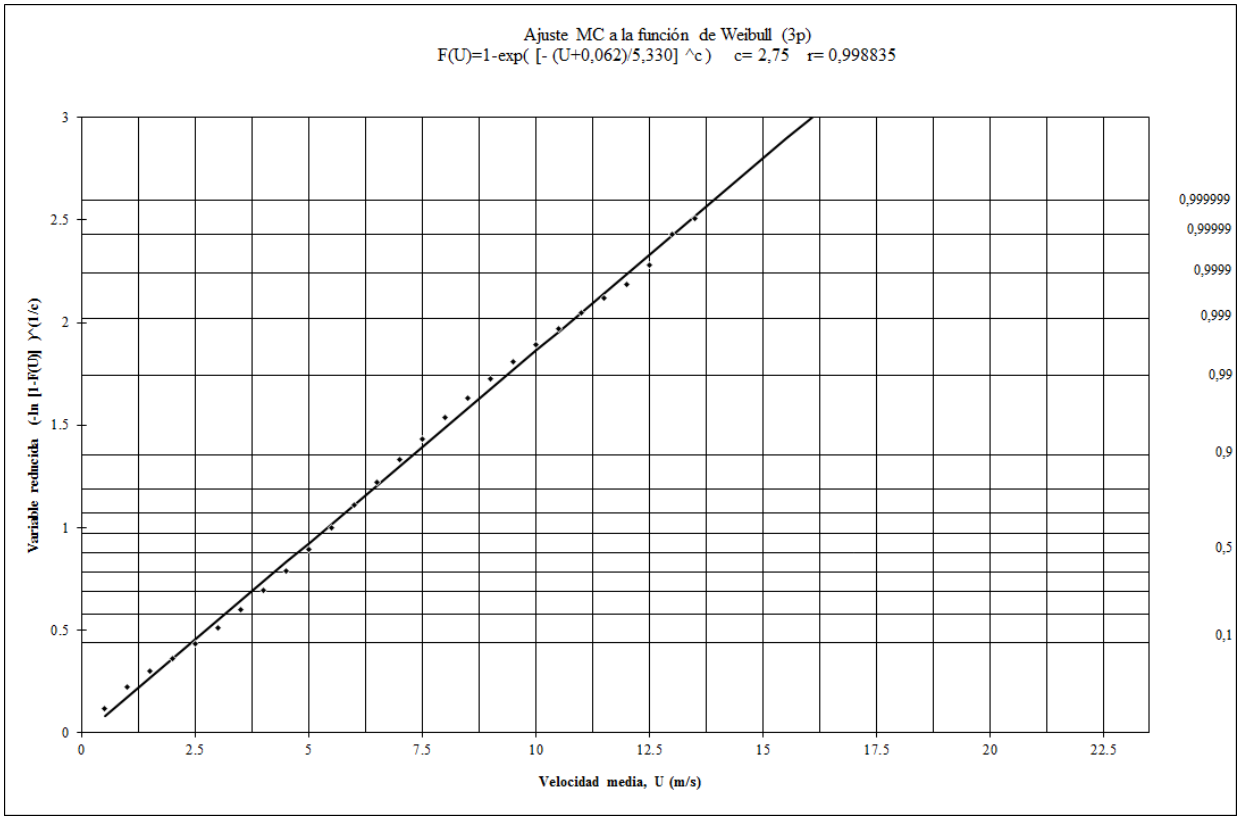


Sector/U	< 1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	> 14	%	TOTAL
Calmas																*0.00%*	0
N	80	65	35	26	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.07%*	214
NNE	108	51	47	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.08%*	223
NE	101	85	30	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.08%*	237
ENE	162	160	83	43	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.16%*	463
E	286	292	231	136	65	11	1	2	0	0	0	0	0	0	0	*0.35%*	1024
ESE	434	878	1109	823	481	167	59	9	0	0	0	0	0	0	0	*1.37%*	3960
SE	729	2310	4792	7411	8360	6567	3428	1088	301	71	7	1	1	0	0	*12.12%*	35066
SSE	903	3684	10099	22621	35554	40074	31891	16893	6855	2265	642	165	51	2	0	*59.36%*	171699
S	643	2643	6452	11933	15708	14001	8287	3077	629	84	10	0	0	0	0	*21.94%*	63467
SSW	431	1180	1814	2303	2164	1436	573	111	11	0	0	0	0	0	0	*3.46%*	10023
SW	240	429	388	279	146	54	13	1	0	0	0	0	0	0	0	*0.54%*	1550
WSW	146	168	104	44	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.16%*	472
W	88	91	54	19	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.09%*	256
WNW	85	80	41	15	6	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	*0.08%*	229
NW	69	49	39	15	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.06%*	185
NNW	92	52	33	14	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*0.07%*	204
%	*1.59%*	*4.22%*	*8.76%*	*15.80%*	*21.62%*	*21.55%*	*15.30%*	*7.32%*	*2.70%*	*0.84%*	*0.23%*	*0.06%*	*0.02%*	*0.00%*	*0.00%*	*100.00%*	
TOTAL	4597	12217	25351	45714	62535	62327	44254	21182	7796	2420	659	166	52	2	0		289272

A partir de estos resultados se concluye que los oleajes a considerar en las propagaciones desde aguas profundas hasta la costa deben ser los comprendidos entre el SSE y el WSW. Posteriormente, se hará un análisis para definir los oleajes característicos que se deben propagar, en función de la batimetría particular y la orientación de la costa.

3.4.2 RÉGIMEN MEDIO ESCALAR

"La caracterización de la probabilidad de no superación de diferentes niveles de intensidad del viento en un año medio se realiza por medio del ajuste de los datos de viento a una función de distribución de Weibull, tal y como se hacía con el oleaje. En la Figura X se indica el ajuste obtenido con los siguientes parámetros de ajuste: A= -0.062, B= 5.330 y C= 2.75".



3.5 CORRELACIÓN VIENTO-OLEAJE

Atendiendo a la distribución sectorial de viento y oleaje, parece no existir una correlación bastante directa entre dirección e intensidad de ambos fenómenos. De cara a analizar si existe alguna relación se ha obtenido la correlación entre direcciones e intensidades de todos los datos del registro.

En la Figura 31 se muestra el diagrama de dispersión de las direcciones de oleaje (en el eje de abscisas) frente a las direcciones del viento (eje de ordenadas). La dispersión en la dirección de viento es mucho mayor que en la de oleaje, en la que prácticamente no existen direcciones fuera del tercer cuadrante.

Podría parecer que no existe una relación definida entre ambas direcciones, pero es habitual que en este tipo de gráficos de dispersión no se aprecien tendencias claras. Si se observa la diferencia entre ambas direcciones (ver histograma en la Figura 32), se observa como aproximadamente el 25% del tiempo la dirección del viento difiere en unos 33.75º con respecto a la de oleaje y casi el 85% del tiempo en menos de 56.25º. Principalmente estos valores se deben a que el oleaje se concentra en el sector SSW más del 50% del tiempo y casi el resto del tiempo en los sectores contiguos (S y SW), mientras que lo mismo ocurre con el viento, pero en este caso, casi el 60% del tiempo concentrándose en el sector SSE, y el resto del tiempo en los contiguos.

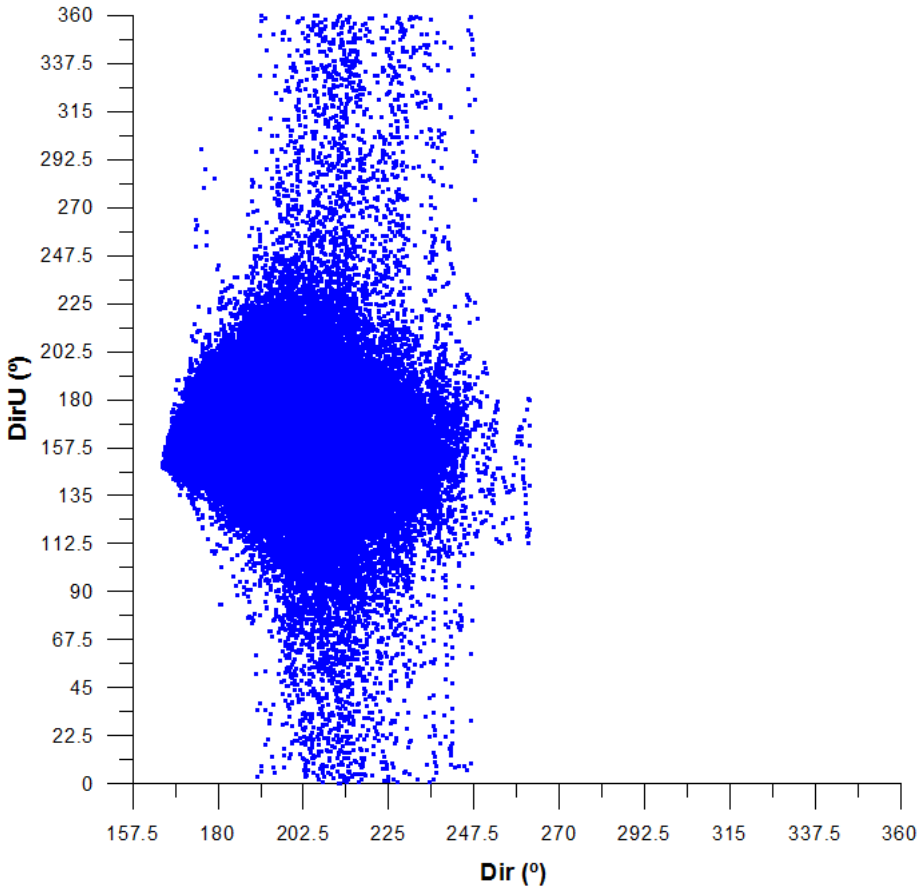


Figura 31. Relación entre direcciones de oleaje (abscisas) y de viento (ordenadas**)**

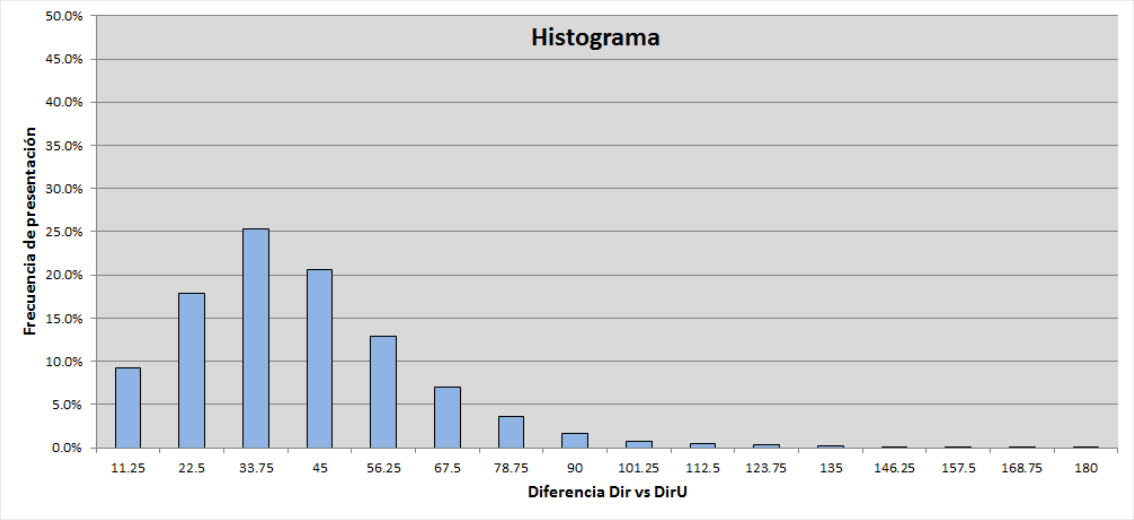


Figura 32. Histograma de la diferencia entre direcciones de oleaje y viento

Así pues, de cara a considerar la acción del viento en las propagaciones, se considerarán todas las condiciones de oleaje junto con un viento del SSE, y por otro lado se analizará qué efecto tiene considerar un viento del S (el siguiente sector más frecuente y energético). Por otro lado, en la Figura 33 se muestra la relación entre altura de ola e intensidad del viento, de donde se puede extraer una relación directa entre altura de ola e intensidad del viento.

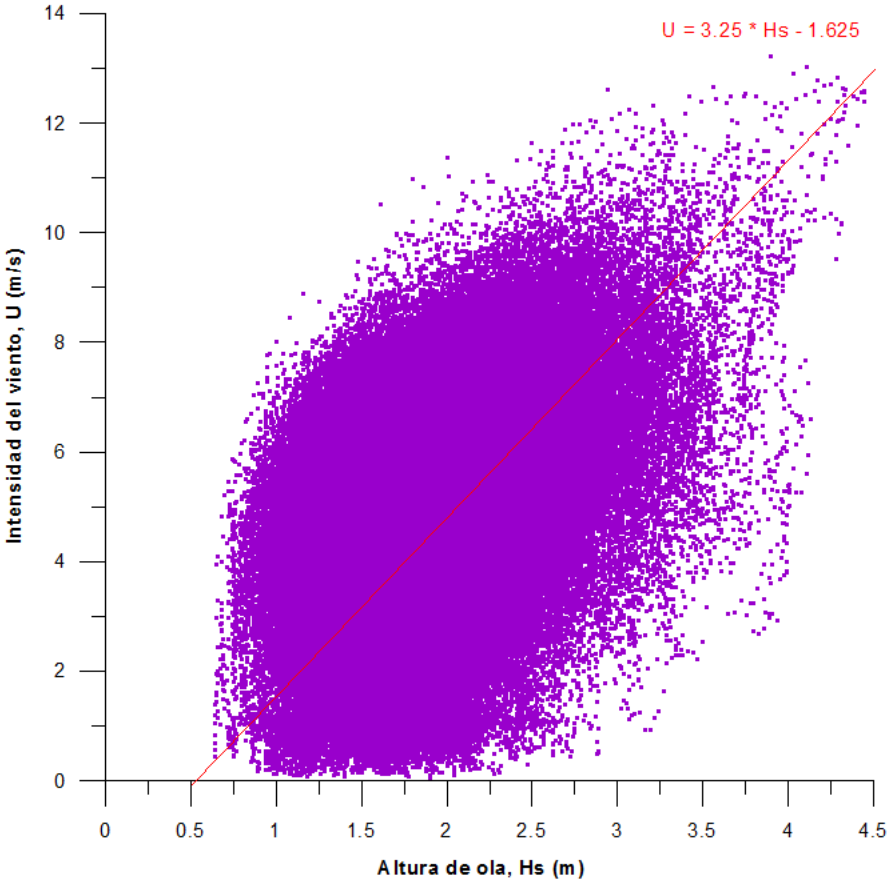


Figura 33. Relación entre altura de ola (abscisas) e intensidad del viento (ordenadas)

Según la figura anterior, la dispersión en cuanto a intensidades se refiere es mucho mayor que en direcciones, si bien existe cierta correlación donde a mayores intensidades de viento, mayores alturas de ola.

El ajuste de la regresión lineal nos indica una relación de U (m/s) = 3.25·Hs (m) – 1.625.

3.6 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

3.6.1 METODOLOGÍA

Para el estudio de propagaciones desde aguas profundas se ha empleado el modelo SWAN, desarrollado por la Universidad de Delft. SWAN (*Simulating WAves Nearshore*) es un modelo de propagación de oleaje de tercera generación para obtener estimaciones realistas de parámetros del oleaje en áreas costeras, lagos y estuarios a partir de condiciones de viento, batimetría y corriente dadas.

SWAN resuelve la propagación de oleaje espectral en tiempo y espacio, y es capaz de reproducir los fenómenos de *shoaling*, refracción, variación en la frecuencia debido a corrientes y profundidad no estacionaria, generación de oleaje por viento, interacción ola-ola, fricción con el fondo, rotura de oleaje, set-up inducido por oleaje, transmisión y reflexión debida a obstáculos, y difracción.

En la Figura 31 se muestra el dominio computacional y la batimetría general utilizados en las propagaciones exteriores. Para todos los sectores se ha utilizado una misma malla rectangular que parte de aguas profundas incluyendo la ubicación del nodo GROW. Dicha malla tiene unas dimensiones de 130 km en el eje X, y de 86 km en la dirección perpendicular, con celdas cuadradas de 200 x 200 m, lo que implica 520 nodos en dirección X y 344 en dirección Y.

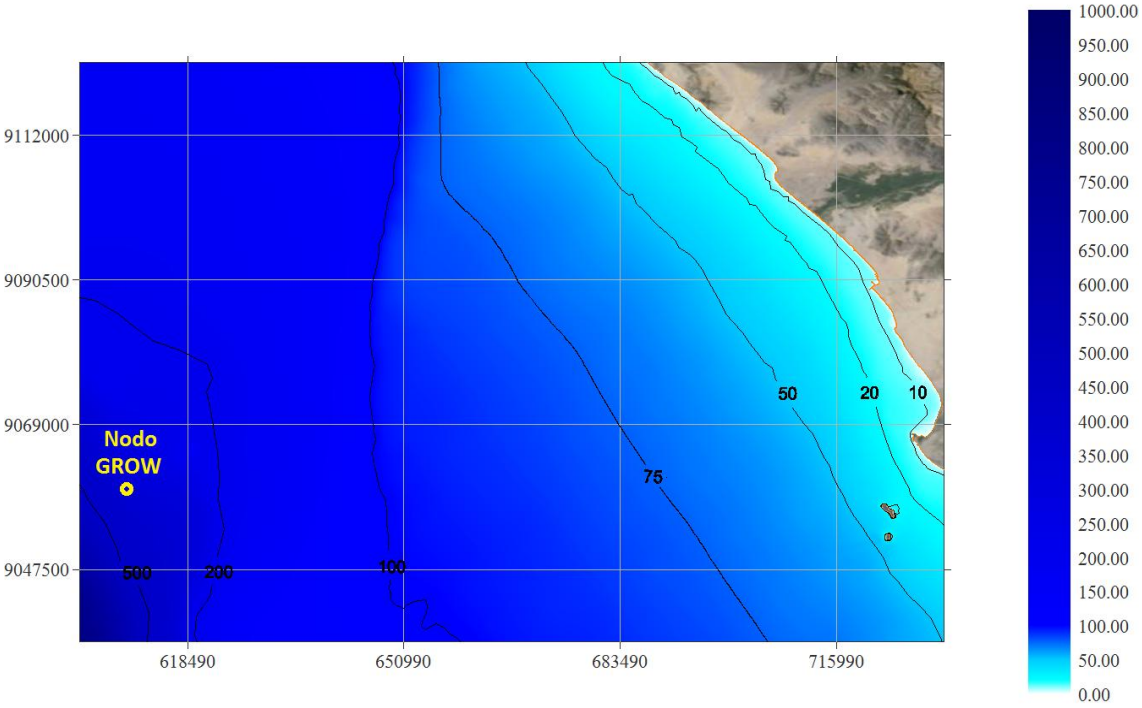


Figura 34: Batimetría general para las propagaciones exteriores. Modelo SWAN

3.6.2 CASOS A ANALIZAR

De acuerdo al análisis de clima marítimo en aguas profundas, se han definido un conjunto de casos de oleaje, viento y marea a propagar desde aguas profundas, que se detallan en la Tabla 13.

Los resultados de las propagaciones exteriores se muestran en el Anejo I, de donde puede extraerse como principal valoración que en la zona de Trujillo los oleajes llegan poco refractados, a excepción de los oleajes del S y del SSW, que viran y se ubican en direcciones más próximas a la perpendicular a la costa.

Por ese motivo, se espera que la gran mayoría de los oleajes que alcancen la costa lo hagan con una dirección muy parecida.

Sector	Hs (m)	Tp (s)	U (m/s)	DirU (º)	NMM (m)
WSW	1	8	1.625	180	1.73
	2.4	13	6.5	180	1.73
	4	18	11.375	180	1.73
	1	8	1.625	157.5	1.73
	2.4	13	6.5	157.5	1.73
	4	18	11.375	157.5	1.73
SW	1	8	1.625	180	1.73
	2.4	13	6.5	180	1.73
	4	18	11.375	180	1.73
	1	8	1.625	157.5	1.73
	2.4	13	6.5	157.5	1.73
	4	18	11.375	157.5	1.73
SSW	1	8	1.625	180	1.73
	2.4	13	6.5	180	1.73
	4	18	11.375	180	1.73
	1	8	1.625	157.5	1.73
	2.4	13	6.5	157.5	1.73
	4	18	11.375	157.5	1.73
S	1	8	1.625	180	1.73
	2.4	13	6.5	180	1.73
	4	18	11.375	180	1.73
	1	8	1.625	157.5	1.73
	2.4	13	6.5	157.5	1.73
	4	18	11.375	157.5	1.73
SSE	1	8	1.625	180	1.73
	2.4	13	6.5	180	1.73
	4	18	11.375	180	1.73
	1	8	1.625	157.5	1.73
	2.4	13	6.5	157.5	1.73
	4	18	11.375	157.5	1.73

Tabla 12: Relación de los oleajes a propagar en régimen medio

3.6.3 CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE EN LA ZONA DE ESTUDIO

Tras las propagaciones de todos los casos seleccionados, se ha procedido a definir los valores locales del oleaje, por medio de la obtención de los parámetros de transformación del oleaje (coeficiente de propagación Kp y dirección media propagada), generando una tabla de valores

de propagación que permite transformar el registro entero de datos de aguas profundas a un punto local.

En concreto se han establecido 4 puntos de control, correspondientes a:

a) Molo retenedor y ubicación del ológrafo

b) Las Delicias

c) Buenos Aires

d) Huanchaco

Los valores de transformación de los oleajes propagados se resumen en la Tabla 13 para la ubicación del ológrafo, en la Tabla 14 para el nodo de control frente al Balneario de Las Delicias, en la Tabla 15 los valores de transformación para el nodo frente al Balnearios de Buenos Aires y en la Tabla 16 para el nodo frente al Balneario de Huanchaco.

Sector	**Aguas profundas**			**Valores locales**	
	Hs (m)	**Tp (s)**	**Viento**	**Kp**	**Dir (º)**
WSW	1	8	S	0.88	247.3
	2.4	13		0.86	241.2
	4	18		0.96	239.0
	1	8	SSE	0.90	247.1
	2.4	13		0.89	241.6
	4	18		0.97	239.8
SW	1	8	S	0.86	227.1
	2.4	13		0.86	226.8
	4	18		1.02	227.9
	1	8	SSE	0.89	227.5
	2.4	13		0.88	226.8
	4	18		1.01	228.1
SSW	1	8	S	0.82	209.0
	2.4	13		0.82	213.0
	4	18		0.94	214.6
	1	8	SSE	0.84	209.3
	2.4	13		0.83	212.5
	4	18		0.93	214.1
S	1	8	S	0.70	195.0
	2.4	13		0.69	202.8
	4	18		0.83	204.3
	1	8	SSE	0.71	195.2

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
	2.4	13		0.69	201.6
	4	18		0.81	203.1
SSE	1	8	S	0.51	183.6
	2.4	13		0.46	194.7
	4	18		0.52	195.1
	1	8	SSE	0.52	183.8
	2.4	13		0.45	191.5
	4	18		0.50	190.8

Tabla 13: Valores de transformación del oleaje en la ubicación del Ológrafo frente al Molo retenedor

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
WSW	1	8	S	0.79	244.0
	2.4	13		0.83	237.7
	4	18		0.81	235.9
	1	8	SSE	0.81	243.9
	2.4	13		0.85	238.2
	4	18		0.81	236.8
SW	1	8	S	0.77	228.4
	2.4	13		0.81	227.0
	4	18		0.80	226.7
	1	8	SSE	0.80	228.5
	2.4	13		0.82	227.2
	4	18		0.81	227.2
SSW	1	8	S	0.71	214.1
	2.4	13		0.75	217.1
	4	18		0.80	218.4
	1	8	SSE	0.72	214.3
	2.4	13		0.76	217.0
	4	18		0.80	218.5
S	1	8	S	0.57	203.1
	2.4	13		0.60	209.4

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
	4	18		0.71	210.7
	1	8		0.58	203.1
	2.4	13	SSE	0.59	208.8
	4	18		0.69	210.2
SSE	1	8		0.37	194.3
	2.4	13	S	0.38	202.2
	4	18		0.44	202.6
	1	8		0.38	194.3
	2.4	13	SSE	0.37	199.9
	4	18		0.41	199.4

Tabla 14: Valores de transformación del oleaje frente a Las Delicias

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
WSW	1	8		0.80	242.3
	2.4	13	S	0.82	235.2
	4	18		0.84	233.3
	1	8		0.82	242.2
	2.4	13	SSE	0.84	235.6
	4	18		0.84	234.1
SW	1	8		0.80	226.0
	2.4	13	S	0.86	224.5
	4	18		0.87	224.8
	1	8		0.82	226.2
	2.4	13	SSE	0.87	224.6
	4	18		0.87	225.1
SSW	1	8		0.75	210.5
	2.4	13	S	0.82	213.7
	4	18		0.86	214.9
	1	8		0.77	210.7
	2.4	13	SSE	0.82	213.4
	4	18		0.86	214.8

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
S	1	8	S	0.64	198.2
	2.4	13		0.65	204.8
	4	18		0.77	206.2
	1	8	SSE	0.64	198.3
	2.4	13		0.65	204.0
	4	18		0.76	205.4
SSE	1	8	S	0.45	189.0
	2.4	13		0.42	197.5
	4	18		0.48	197.9
	1	8	SSE	0.45	189.1
	2.4	13		0.41	194.8
	4	18		0.46	194.2

Tabla 15: Valores de transformación del oleaje frente a Buenos Aires

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
WSW	1	8	S	0.82	243.3
	2.4	13		0.87	235.2
	4	18		0.90	232.7
	1	8	SSE	0.84	243.1
	2.4	13		0.89	235.4
	4	18		0.90	233.4
SW	1	8	S	0.81	226.4
	2.4	13		0.84	223.6
	4	18		0.88	222.9
	1	8	SSE	0.83	226.5
	2.4	13		0.86	223.5
	4	18		0.88	223.2
SSW	1	8	S	0.77	210.0
	2.4	13		0.81	212.4
	4	18		0.88	214.0
	1	8	SSE	0.78	210.3

Sector	Aguas profundas			Valores locales	
	Hs (m)	Tp (s)	Viento	Kp	Dir (º)
	2.4	13		0.82	212.0
	4	18		0.87	213.8
S	1	8	S	0.67	196.6
	2.4	13		0.68	204.1
	4	18		0.82	205.9
	1	8	SSE	0.67	197.0
	2.4	13		0.68	203.2
	4	18		0.81	205.1
SSE	1	8	S	0.50	186.6
	2.4	13		0.45	196.5
	4	18		0.53	197.8
	1	8	SSE	0.50	186.8
	2.4	13		0.44	193.9
	4	18		0.51	194.5

Tabla 16: Valores de transformación del oleaje frente a Huanchaco

La transformación del registro de datos de aguas profundas a la zona costera se ha realizado dato a dato y aplicando los valores de transformación interpolados según dirección y periodo, usando los 4 oleajes de la tabla más parecidos al caso a propagar. Tras generarse el registro de datos local, se pueden definir las condiciones locales del oleaje, que se muestran en la Figura 15 mediante la rosa de oleaje en la ubicación del ológrafo, en la para la ubicación frente a Las Delicias, en la para Buenos Aires y en la para la ubicación frente a Huanchaco.

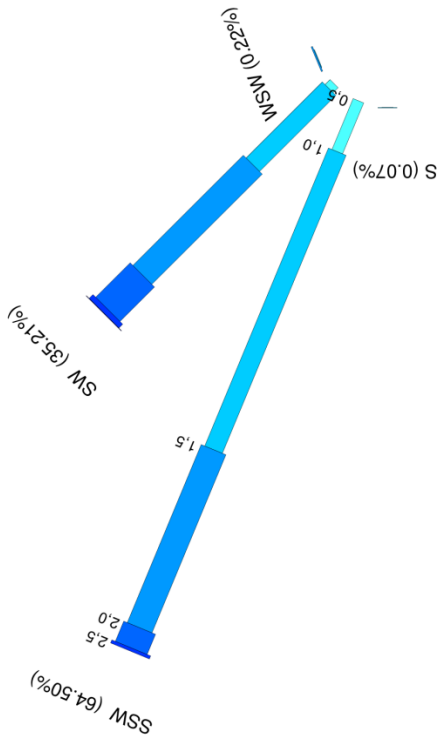


Figura 35- Rosa de oleaje propagado hasta la ubicación del Ológrafo

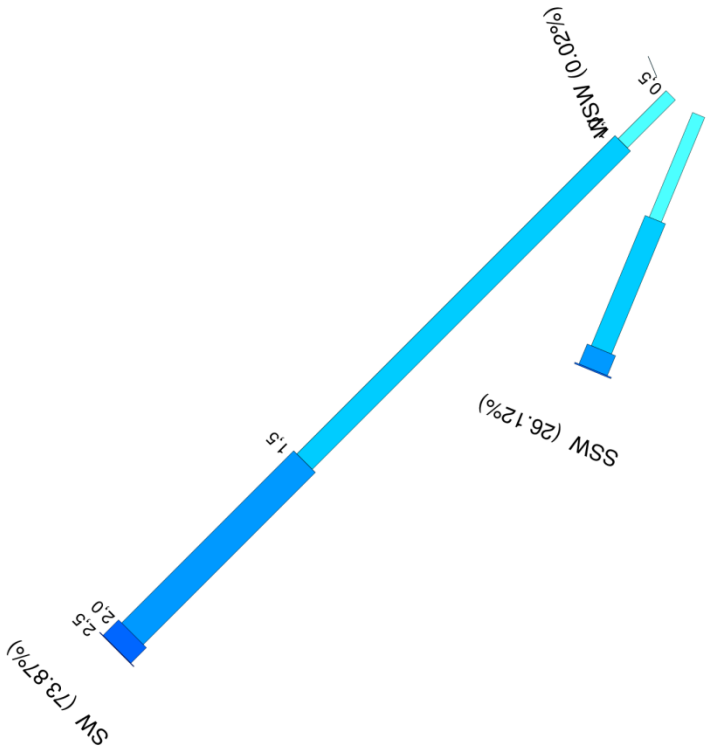


Figura 36: Rosa de oleaje propagado hasta la ubicación frente a Las Delicicas

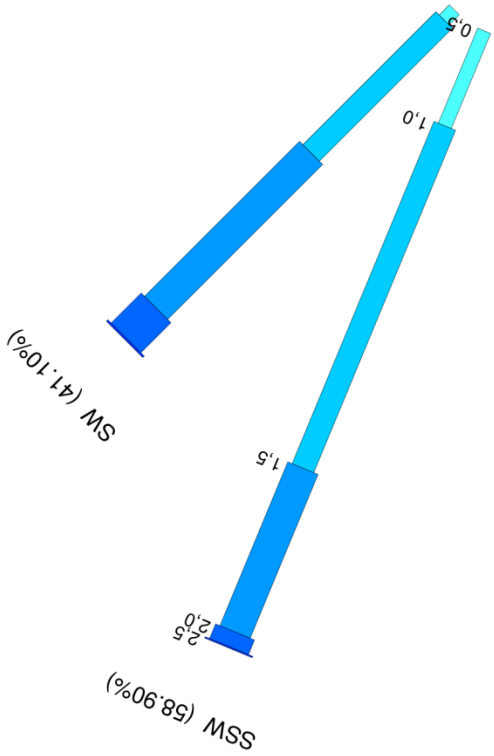


Figura 37: Rosa de oleaje propagado hasta la ubicación frente a Buenos Aires

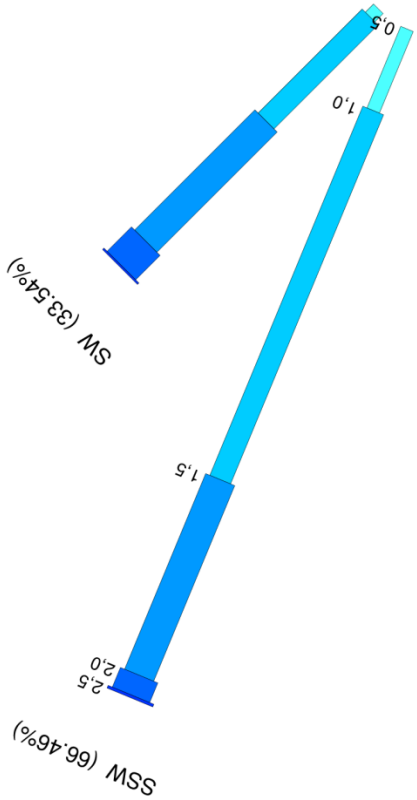


Figura 38: Rosa de oleaje propagado hasta la ubicación frente a Huanchaco

Tal y como se aprecia en dichas figuras, los oleajes que inciden en la zona costera se concentran en la práctica totalidad en dos sectores, SSW y SW, y en especial del SSW, que es el responsable de las elevadas tasas de transporte hacia el NW.

4 C – ESTUDIO DE DINÁMICA MARINA EN EL ENTORNO DE LOS BALNEARIOS

4.1 METODOLOGÍA

Tras el estudio de propagaciones desde aguas profundas hasta la costa, se procederá a resolver la hidrodinámica a partir de un modelo que permita caracterizar las corrientes debidas a la rotura del oleaje. Emplearemos el Sistema de Modelado Costero (SMC), que resolverá las propagaciones sobre mallas de detalle, la hidrodinámica y las tasas de transporte 2D-H.

Para ayudar a la validación numérica, de acuerdo con lo establecido en las bases integradas, se está realizado una campaña de toma de datos de oleajes y corrientes en el entorno de los balnearios, mediante ológrafo y correntómetro instalados expresamente en el marco de este contrato.

4.2 INSTALACIÓN DE APARATOS DE MEDICIÓN

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

Mareógrafo

Marca: VALEPORT

Modelo: TIDE MASTER

Figura 39: Mareógrafo digital

Descripción y características del sistema. Ha sido diseñado para proveer en presión datos de mareas tanto para largas como cortas campañas de hidrografía. Su bajo consumo y la selección del régimen de muestreo permiten más de un año de adquisición en autónomo. Además, está capacitado para incorporarle el paquete de telemetría vía radio que envía la señal para llevar a cabo operaciones en tiempo real. Es compatible con los software de hidrografía como Hypack.

Las características de la unidad de almacenamiento son las que a continuación se relacionan:

- Caja de la unidad bajo calidad IP67
- Control por pantalla
- Opción de Batería 4 “C”

- Memoria SD 512 MB
- Muestreo cada 8 Hz
- Registro de datos de altura, desviación estándar.
- Preprogramación de 5 estilos de muestreo, incluido modo de sondeo en continuo.

Por otro lado, en el caso de incluirle la telemetría vía radio, las especificaciones de su funcionamiento serían las siguientes:

- Frecuencia: UHF seleccionable entre 458.5 y 458.9
- Salida RS232 a 4800 baudios, 8,1, Ninguno.
- Alimentación externa de 12vDC tanto para receptor como transmisor.
- Caja de la unidad realizada en aluminio anodizado

Condiciones de instalación

La estación de medida seleccionada para la instalación del mareógrafo se establecerá mediante el traslado por métodos topográficos desde dos vértices conocidos y cercanos de la red costera de la zona, quedando de esta manera relacionada la cota de la carrera de marea con la altura de los vértices seleccionados.

La estación de medida que se seleccione para instalar el mareógrafo deberá presentar las siguientes características:

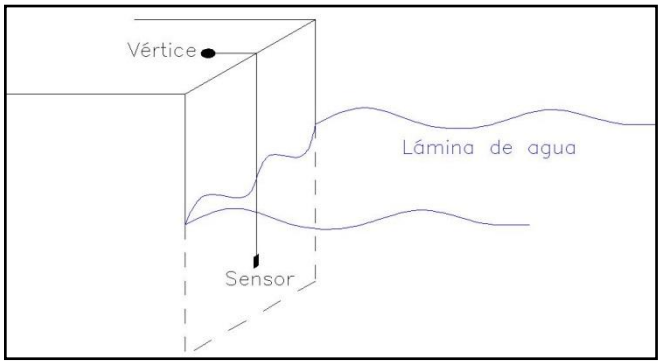
Contar con acceso directo y vertical a la lámina de agua. Ejemplo válido: un vértice en el cantil de un muelle.

Debe asegurarse que el sensor nunca se quedará en seco y que contara con una profundidad de resguardo suficiente que garantice el corrector funcionamiento del mareógrafo.

Debe instalarse sobre un elemento constructivo fijo, evitándose aquellos con movimientos y/u oscilaciones (ejemplo: pantalán flotante).

El mareógrafo deberá instalarse en una zona segura que evite la manipulación y/o sabotaje por parte de personal no autorizado.

A continuación se adjunta un esquema básico de la instalación propuesta para este equipo.



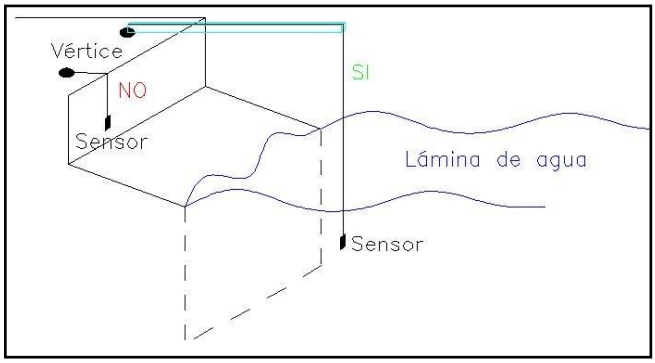


Figura 40: Arriba, esquema de la posición de un vértice con las características válidas para medir mareas. En el esquema inferior, se muestra un vértice sin acceso vertical al agua, pero que, ayudado de una barra de medidas conocidas, puede resultar válido.

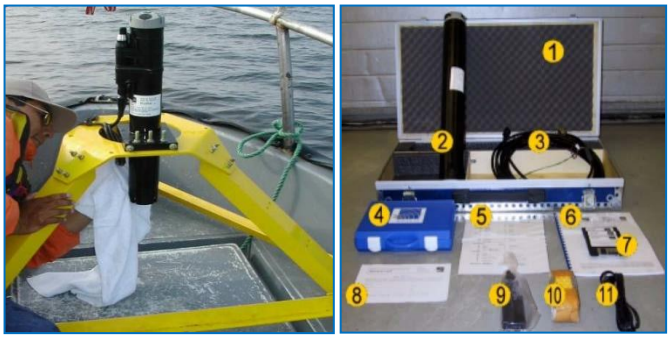
Por último, con objeto de filtrar todas las perturbaciones que el posible oleaje pudiese introducir en las medidas y mejorar la resolución en las estaciones y en la determinación de las componentes no lineales, si se considera necesario, se podrá reducir la frecuencia de grabación de los datos e integrar un mayor número de medidas en cada una de ellas.

Correntómetro y ológrafo

El correntómetro y ológrafo propuesto es un modelo de la marca Nortek, última generación, con multifunción, de tal modo que en un mismo equipo se disponen de dos sensores, uno para las corrientes y otro para el oleaje.

Marca: NORTEK

Modelo: AQUADOPP CURRENT PROFILER



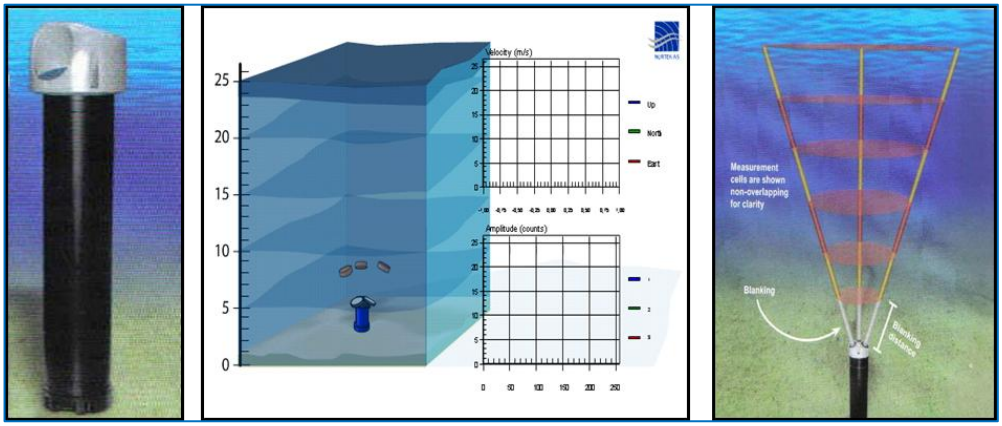


Figura 41: Correntómetro y ológrafo digital

Especificaciones técnicas del Correntómetro Doppler/Ológrafo Direccional

Este equipo mide la altura, periodo y dirección de las olas por el principio de presión y velocidades orbitales, es decir, las componentes de velocidades horizontales (método (PUV)). Asi mismo mide la velocidad y dirección de las corrientes a lo largo de toda la columna de agua, generando también resultados de perfil de corrientes.

Las especificaciones técnicas de este equipo pueden consultarse a continuación:

- Frecuencia Acústica: 600 KHz
- Rango Máximo de Perfilado: 30-40 metros (Profundidad de instalación)
- Rango de Velocidad: +/- 10 m/s
- Exactitud: 1% del valor medido +/- 0.5 cm/s
- Máxima tasa de muestreo: 1 Hz
- Sensores Adicionales: Temperatura, compás del tipo flux gate, presión (hidrostática)
- Comunicación: Serial RS232
- Alimentación: Por medio de paquetes de baterías (13.5 V DC-50 Wh) propias del fabricante.(alcalinas o recargables).
- Memoria interna: 89 MB.
- Software de Comunicación: AquaPro (sistema opertativo Windows 2000/XP)
- Para procesamiento de olas se usa el programa propio del fabricante QuickWave
- Accesorio de Sembrado: Soporte de acero inoxidable
- Material: Derlin y poliuretano plastico con tornillos de titanio

Por otro lado, para el fondeo de estos equipos se utilizará una estructura en forma de trípode que contará con los siguientes elementos:

- Trípode metálico de fierro angular de 2.5 pulg. con TRS (03) pesos adicionales para asegurar las patas.
- Tubo PVC de 10 pulgadas de diámetro, 1 pulgada de espesor y 4 m de longitud.
- Boyarín de señalización con luminaria de señalización.
- Maniobra de fondeo del boyarín:
- Cadena de acero de ½ pulgada 70 m.
- Cabo de nylon de ½ pulgada 40 m.
- Peso de anclaje de concreto de 200 Kg de forma piramidal.
- Ocho flotadores para ayudar a la flotabilidad del boyarín para compensar el peso de la cadena.
- Cabo de 10 m. que conecta el peso de anclaje del boyarín con el trípode con el equipo.
- Grillete giratorio boyarín – cadena, grillete cadena-peso de anclaje, grilletes peso de anclaje – trípode.

Figura 42: Trípode para el fondeo de equipos Correntómetro Doppler y Ológrafo Direccional

Condiciones de instalación para el correntómetro Doppler y ológrafo direccional

Con las condiciones de instalación que a continuación se detallan se pretende lograr que el instrumento sea fijado en el fondo marino de la manera más vertical posible (menos de 6° de ángulo). Para ello, se buscará un emplazamiento con pendiente nula o muy suave, ya que, como se ha hecho referencia anteriormente, el perfilador de corrientes tiene que estar colocado de manera perpendicular a la superficie del mar. En caso de no encontrar una zona con pendiente suave o nula se procederá a nivelar el aparato una vez colocado sobre el lecho marino.

Posteriormente se insertará el equipo en un tubo que se introducirá en el fondo marino apoyado en un trípode (ver figura anexa), para lo cual se contará con la participación de buzos profesionales que operaran siguiendo cuidadosamente las normas de seguridad y estudio de riesgos.

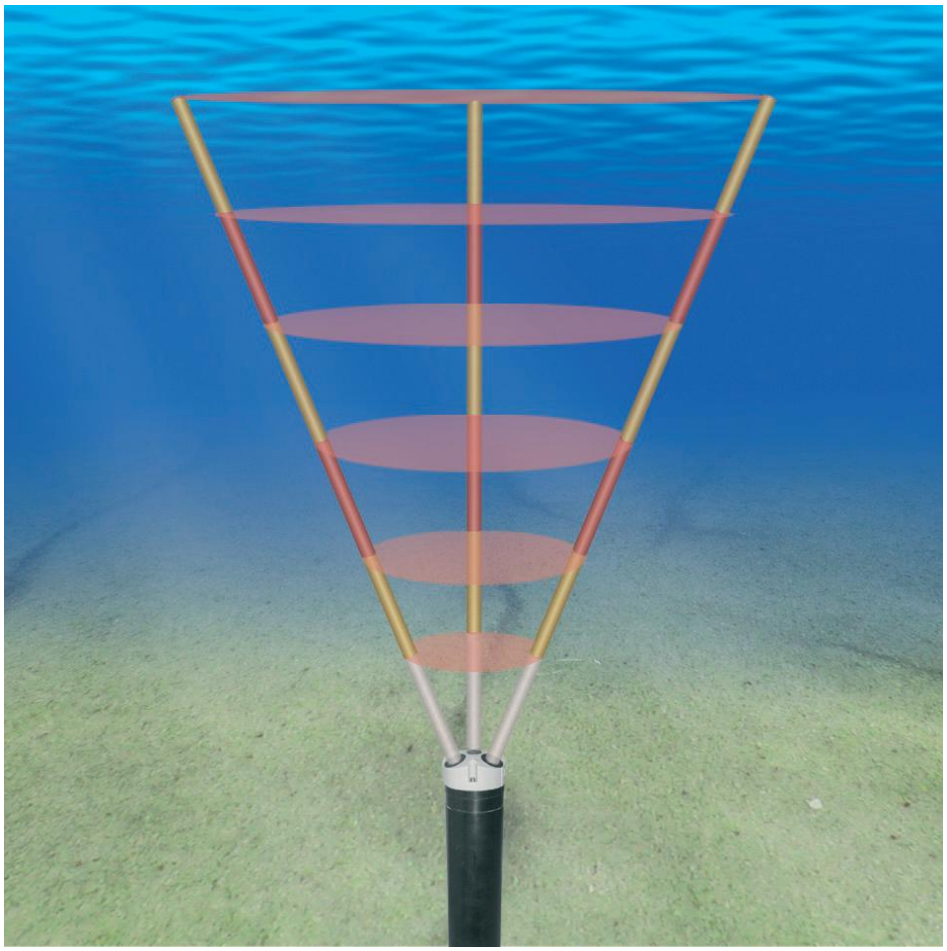
Figura 43: detalle del trípode que será utilizado para el fondeo

Figura 44: Operaciones previas de instalación**.**

Para la instalación de estos equipos se seguirán una serie de pasos que son detallados a continuación, cumpliéndose estas prescripciones de forma exhaustiva para evitar que errores de medidas:

- Verificación del funcionamiento del equipo, confirmando el sonido de la transmisión de señal cada 10 minutos durante 1 minuto.
- Verificación del ajuste y estanqueidad del equipo.
- Colocación de vaselina con pimienta sobre los sensores del equipo.
- Verificación del trípode y los pesos para asegurarlo al fondo marino.
- Verificación del boyarín de señalización, cabo y cadena de anclaje y el peso de anclaje en aprox. 10 m. de profundidad.
- Verificación de la instalación del trípode.
- Verificación de la instalación del equipo en el trípode.
- Verificación de la operación del sistema antes de retirarse del punto de la instalación.
    - El sistema de anclaje del boyarín de referencia debe quedar asegurado al peso de anclaje ubicado aprox. A 10 m. de la posición del trípode con el equipo.
    - La longitud del arreglo de amarre entre la boya y el peso de anclaje no debe ser mayor de 5 metros, de manera que no alcance al trípode en el movimiento de borneo de la boya.
    - Determinación de la posición del trípode y del boyarín, con GPS. (Al menos 3 posiciones de 5 minutos cada una)
    - El equipo quedara instalado por aprox. 40 días.

Para recuperar el equipo a fin de realizar las operaciones de mantenimiento y adquisición de datos se seguirá el protocolo que se establece seguidamente:



- Ubicación de la boya de señalización.
- Repaso del procedimiento de recuperación del equipo.
- Los buzos bajan por la línea del boyarín.
- Inspección de la ubicación del equipo en el trípode.
- Extracción del equipo, retirando los pernos de sujeción.
- Verificación del funcionamiento del equipo, confirmando el sonido de la transmisión de señal cada 10 minutos durante 1 minuto.
- Recuperación de la información, cambio de batería, revisión del equipo, reprogramación para el siguiente periodo de mediciones.
- Mantenimiento del equipo.

Figura 45: Buzos en operación de instalación

Una vez realizadas las operaciones de mantenimiento y adquisición de los datos oportunos, se volverá a reinstalar el equipo para que continúe con el siguiente periodo de medición. Para ello, se seguirá la relación de actuaciones que se adjuntan a continuación:

- Ubicación de la boya de señalización.
- Repaso del procedimiento de instalación del equipo.
- Verificación del funcionamiento del equipo, confirmando el sonido de la transmisión de señal cada 10 minutos durante 1 minuto.
- Reinstalación en el trípode, para el siguiente periodo de mediciones.
- Los buzos bajan por la línea del boyarín.
- Inspección de la ubicación del trípode.
- Instalación del equipo, asegurando los pernos de sujeción.
- El equipo quedara instalado por aprox. 40 días.
- Verificación de la posición del trípode y del boyarín, con GPS. (Al menos 3 posiciones de 5 minutos cada una).

4.2.2 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los aparatos de medición fueron instalados el 14 de marzo, con la aprobación previa del Supervisor del estudio designado por el MTC. En los Anexos IV al VI se incluyen las especificaciones técnicas de los equipos, fotografías de los mismos y los resultados obtenidos hasta la fecha.

Mareografo	Olografo-Correntimetro
WGS84 UTM 17S	WGS84 UTM 17S

E 722.285,95 N 9.089.940,53	E 716.271 N 9.085,762

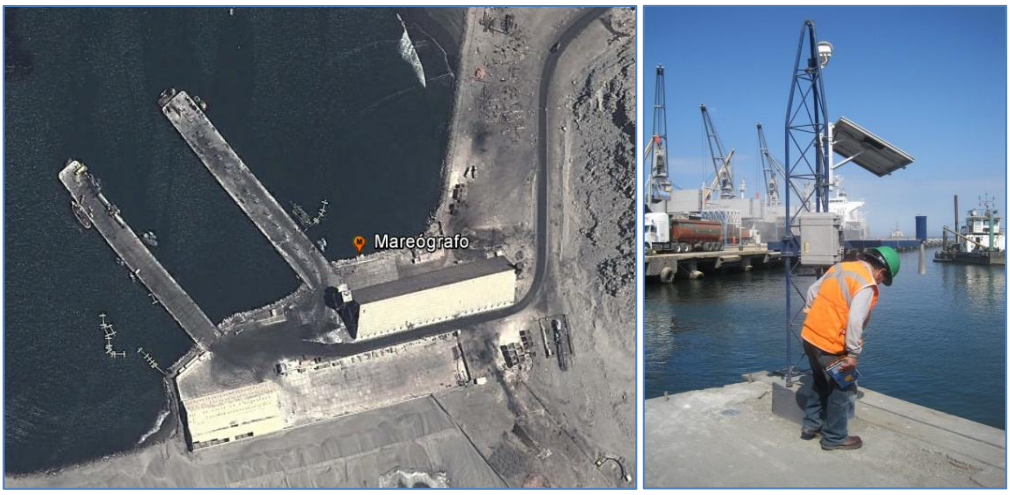


Figura 46: Localización del mareógrafo de la DHN instalado en el Puerto de Salaverry**.**

En cuanto a la ubicación e instalación del correntómetro/ológrafo, se ha ubicado en la prolongación del molo retentor del Puerto de Salaverry a la cota de 20 metros de profundidad. En una zona que la pendiente sea nula o muy suave, con el fin de que el perfilador de corrientes está lo más perpendicular a la superficie del mar.

El trípode para el fondeo de estos equipos es voluminoso, así como el tubo en donde está ubicado el equipo (4 metros), por ello el que sea a los 20 metros de profundidad. Además es una profundidad a la cual pueden instalarlo los buzos con toda seguridad.

Figura 47: Localización del correntómetro y ológrafo en la prolongación del molo retentor del Puerto de Salaverry.

4.3 SIMULACIONES NUMÉRICAS DE DETALLE

Una vez caracterizado el oleaje en aguas profundas, y propagado hasta aguas intermedias, se procede a continuación a la aproximación del oleaje hasta la costa, para conocer en detalle el oleaje local.

Para ello se empleará el Sistema de Modelado Costero (SMC) que integra el modelado de las propagaciones hasta la zona de rotura, las corrientes generadas en la zona de rompientes y las tasas de transporte inducidas en un plano 2D-H.

Dado que en las condiciones locales el efecto del viento es despreciable, tan sólo se analizarán las propagaciones de los oleajes más representativos des de profundidades intermedias hasta la costa.

4.3.1 ESTUDIO DE PROPAGACIONES

Para el estudio de propagaciones se ha empleado el modelo OLUCA-SP, integrado dentro del SMC. El OLUCA, es un modelo parabólico de propagación del oleaje espectral, el cual considera los fenómenos de asomeramiento, difracción, refracción, disipación de energía por rotura de oleaje y fricción por fondo, y reflexión lateral de forma interna.

En la Figura 48 se muestra el dominio computacional utilizado en las propagaciones, mientras que las mallas computacionales utilizadas en cada uno de los 6 tramos en los que se ha dividido la zona de estudio se muestran en la Figura 49.

Para todos los sectores se han utilizado mallas orientadas a la dirección SSE aproximadamente, con unas dimensiones de 9 Km x 9 Km y celdas cuadradas de 15 x 15 m, lo que implica 601 nodos en dirección X y 601 en dirección Y.

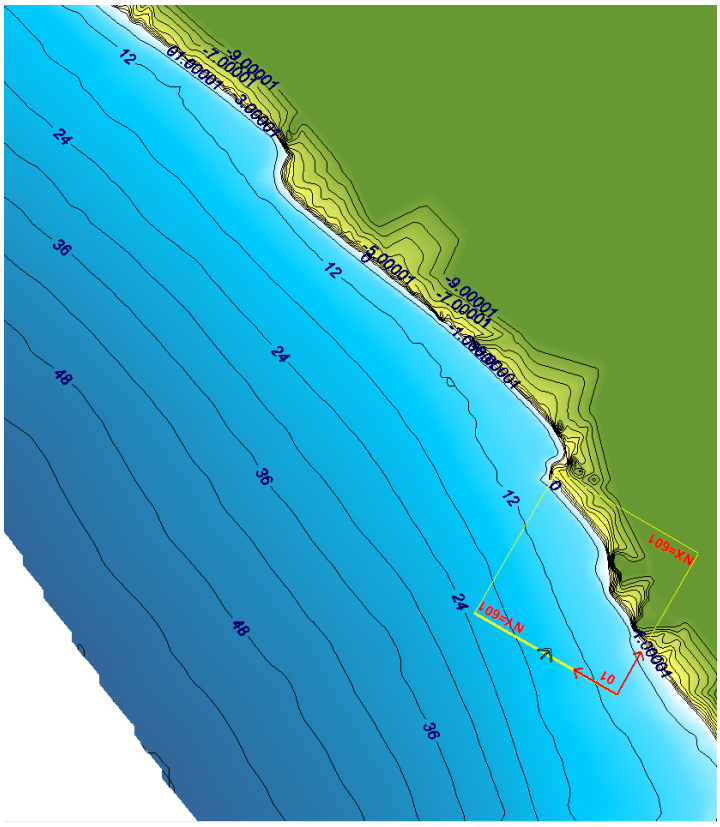


Figura 48: Dominio computacional y batimetría

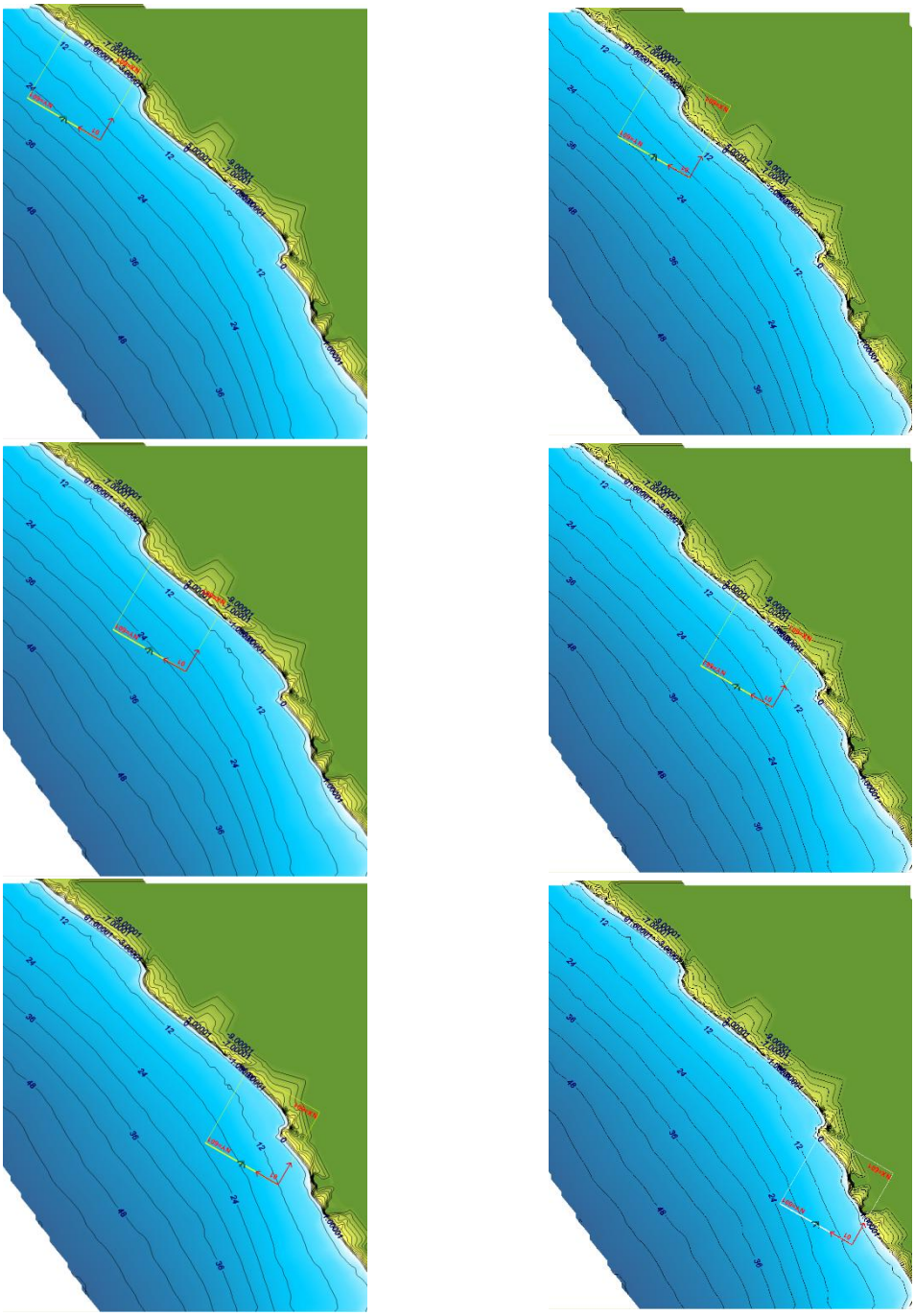


Figura 49: Mallas de detalle (6 tramos)

Todos los resultados de las propagaciones de detalle en la situación actual se incluyen en el Anejo II de Salidas gráficas de propagaciones de detalle, de donde puede extraerse como principal valoración que el comportamiento de los oleajes propagados es similar en los 6 tramos analizados. Los oleajes de mayor período experimentan una mayor refracción, por lo que su dirección tiende más rápidamente hacia la perpendicular de las curvas batimétricas, y su rotura se produce a mayor distancia de la costa que los oleajes con períodos menores

4.3.2 CORRIENTES INDUCIDAS POR ROTURA DEL OLEAJE

Para el análisis de las corrientes se han realizado las simulaciones numéricas pertinentes, a partir de los datos de las propagaciones, sobre las mismas mallas de resolución y para cada uno de los oleajes propagados. Dichas simulaciones se han llevado a cabo por medio del modelo COPLA-SP, incluido en el SMC, a partir de las cuales se determina el patrón hidrodinámico para cada una de las condiciones de oleajes tipo analizados.

En el Anejo III de Salidas gráficas de corrientes, se muestra la distribución de las corrientes para cada tipo de oleaje analizado, donde se observa, tal y como se esperaba, que los oleajes más energéticos generen intensidades de corrientes máximas; aunque la diferencia en las intensidades máximas son muy pequeñas entre los oleajes de 13 y de 18 s.

La zona donde se producen mayores intensidades de corrientes es en el Tramo 2, donde está construido el puerto. En esta zona se llegan a superar los 100 cm/s para el oleaje SW con Tp de 18 s. En los Tramos 1 y 3 las intensidades máximas casi alcanzan los 50 cm/s y en el resto de tramos no se llega a velocidades de 40 cm/s.

En general, para cada zona, las intensidades máximas simuladas son similares en los 6 sectores analizados.

En la Tabla 17 se muestran los valores máximos de las corrientes en los 6 tramos y para todos los oleajes simulados.

Sector	Hs, m	Tp, s	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
SW	1.0	8	0.21	0.20	0.10	0.10	0.18	0.12
	2.5	13	0.42	0.70	0.38	0.12	0.34	0.16
	4.0	18	0.48	1.10	0.44	0.15	0.38	0.16
SSW	1.0	8	0.19	0.15	0.13	0.10	0.16	0.16
	2.5	13	0.42	0.60	0.40	0.20	0.34	0.22
	4.0	18	0.48	0.90	0.48	0.23	0.36	0.22
S	1.0	8	0.18	0.15	0.15	0.14	0.16	0.19
	2.5	13	0.40	0.38	0.42	0.28	0.32	0.27
	4.0	18	0.48	0.55	0.48	0.32	0.34	0.27

Tabla 17: Valores máximos de corrientes (m/s)

En el Tramo 1, el patrón de corrientes de cada sector es similar para todos los períodos simulados. Como es lógico, cuanto mayor es el período mayor es la intensidad de la corriente. A lo largo de toda la costa incluida en este tramo, las corrientes cerca de la cota 0 van en dirección N. Cerca del cabo situado aproximadamente en el centro se aprecian celdas de recirculación.

En el Tramo 2 es donde se producen las mayores intensidades de corrientes, sobre todo para los oleajes procedentes del SW, que superan los 100 cm/s. Los mayores valores se dan en el entorno del puerto. A diferencia del Tramo 1, en esta zona todos los oleajes procedentes del SW producen corrientes hacia el S. Los oleajes SSW y SW producen campos de corrientes uniformes y paralelos a la costa en dirección N.

Las intensidades máximas simuladas en el Tramo 3 son muy parecidas a las del Tramo 1, aunque en los oleajes procedentes del sector SW se producen celdas de recirculación, de forma que en diferentes zonas de la costa las corrientes van hacia el N y en otras hacia el S. En los oleajes del SSW y del S el transporte es uniforme hacia el N en todo el tramo.

En los Tramos 4 y 6 es donde las intensidades máximas de corriente son menores, aunque son bastante uniformes en todo el tramo, de forma que no se observa ninguna zona donde existan intensidades sensiblemente mayores que en el resto.

El Tramo 5 es el que presenta un comportamiento en el campo de corrientes con más variaciones, debido al cambio de orientación en la zona central de la costa en esta zona (Huanchaco). Justo en esta parte es donde se observan las mayores corrientes. Los oleajes S y SSW producen corrientes hacia el N, mientras que los oleajes del SW producen celdas de circulación de grandes dimensiones.

4.3.3 CÁLCULO DE LAS TASAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Las simulaciones de las tasas de transporte 2D-H, se han realizado con el modelo EROS. En el Anejo IV de Salidas gráficas de transporte de sedimentos se resumen el total de los resultados en los 6 tramos y para todos los oleajes. De dichos resultados puede extraerse las tasas potenciales longitudinales y las tasas medias anuales, en una o varias secciones perpendiculares a la costa, mediante la media ponderada de todos los oleajes simulados en función de su frecuencia de presentación.

De los resultados de las simulaciones con el modelo EROS de las tasas de transporte de sedimentos en planta se han extraído las tasas potenciales longitudinales en varias secciones perpendiculares a la costa. En la siguiente figura se muestra la posición de las 7 alineaciones que se han utilizado para realizar este cálculo. Se han denominado T1 a T7 desde el sur hacia el norte.

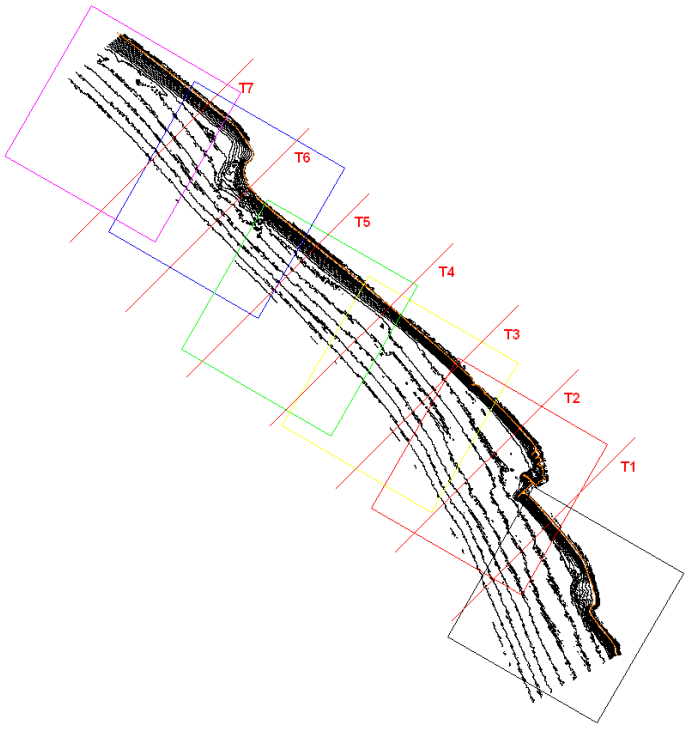


Figura 50. Ubicación de las secciones de control (T1 a T7)

A partir de los resultados para cada oleaje en dichas secciones ubicadas a lo largo del tramo de estudio (ver Figura 50), se puede extraer la distribución longitudinal del transporte de sedimentos de cada uno de los oleajes simulados.

En las siguientes figuras se muestra la distribución longitudinal del transporte de sedimentos para los 9 oleajes simulados en cada una de las alineaciones de control. Cada una de éstas se ha definido según la orientación que se muestra en la figura anterior. El punto inicial de cada perfil se ha situado a unos 50 m de la línea de costa, en la playa seca, mientras que el punto final se ha fijado donde el perfil llega hasta la batimétrica 10 m. Debido a las variaciones en la batimetría, la longitud de los perfiles es bastante diferente. Por ejemplo, el perfil T1 tiene 1400 m y el perfil T5 tiene 600 m. Los transportes con signo negativo son los que van hacia el norte, mientras que los que tienen signo positivo van hacia el sur. Los transportes están expresados en m^3 por hora.

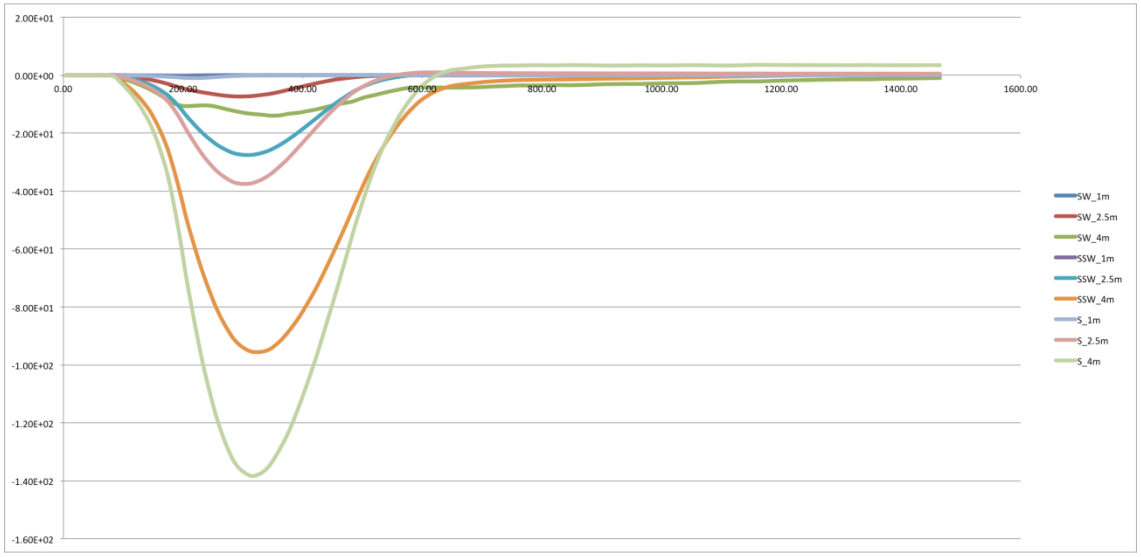


Figura 51. Tasas de transporte en la sección de control T1

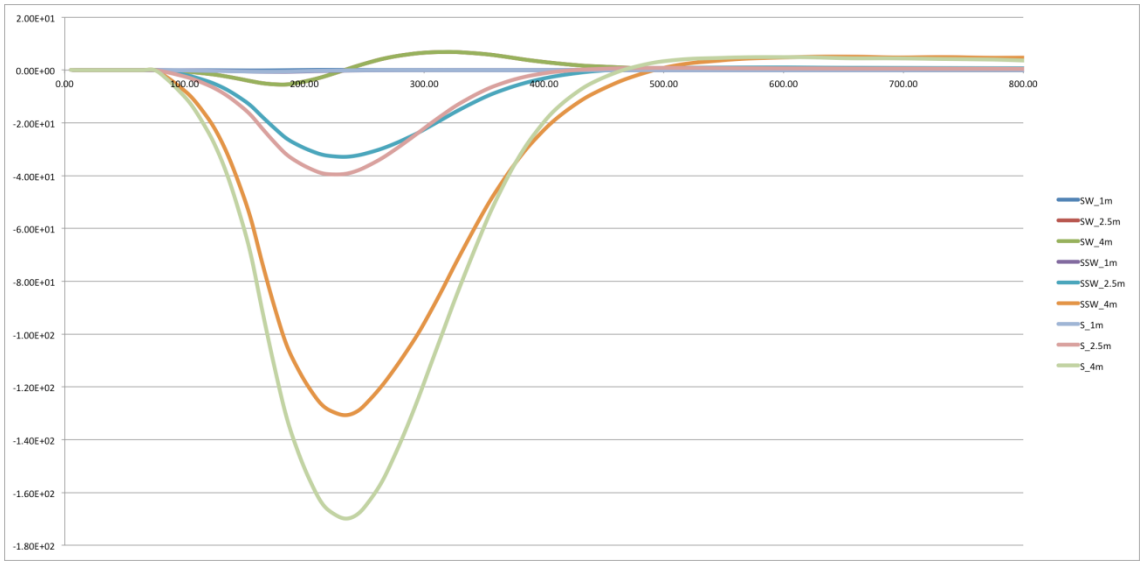


Figura 52. Tasas de transporte en la sección de control T2

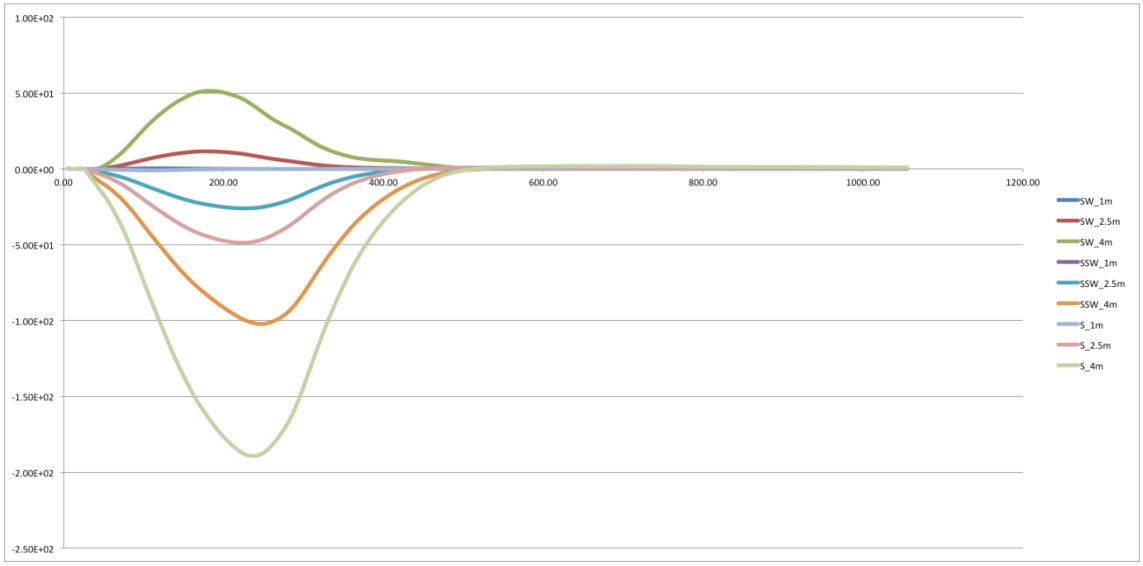


Figura 53. Tasas de transporte en la sección de control T3

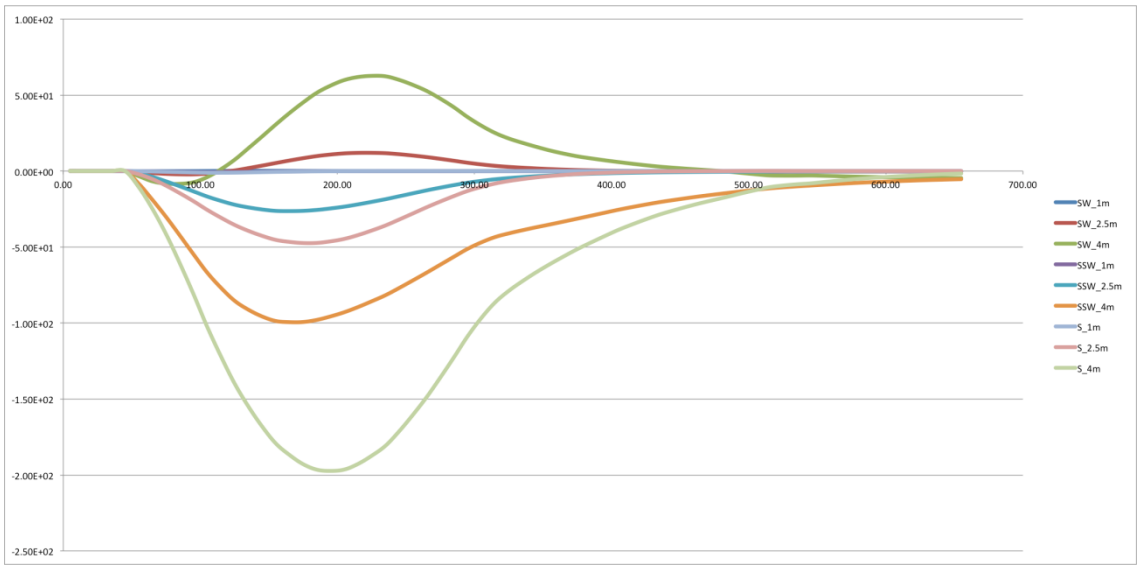


Figura 54. Tasas de transporte en la sección de control T4

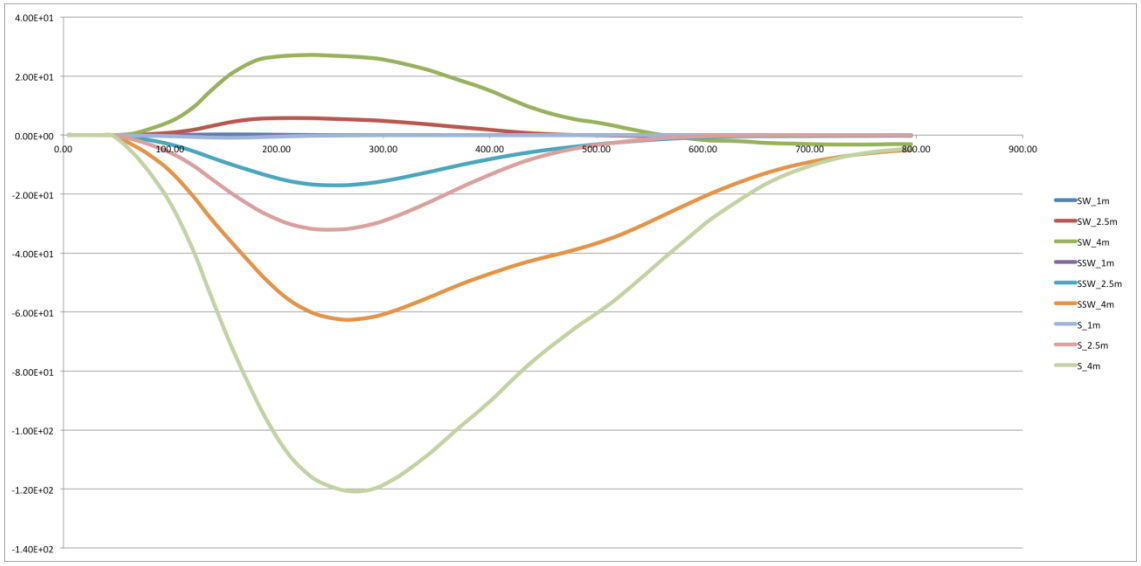


Figura 55. Tasas de transporte en la sección de control T5

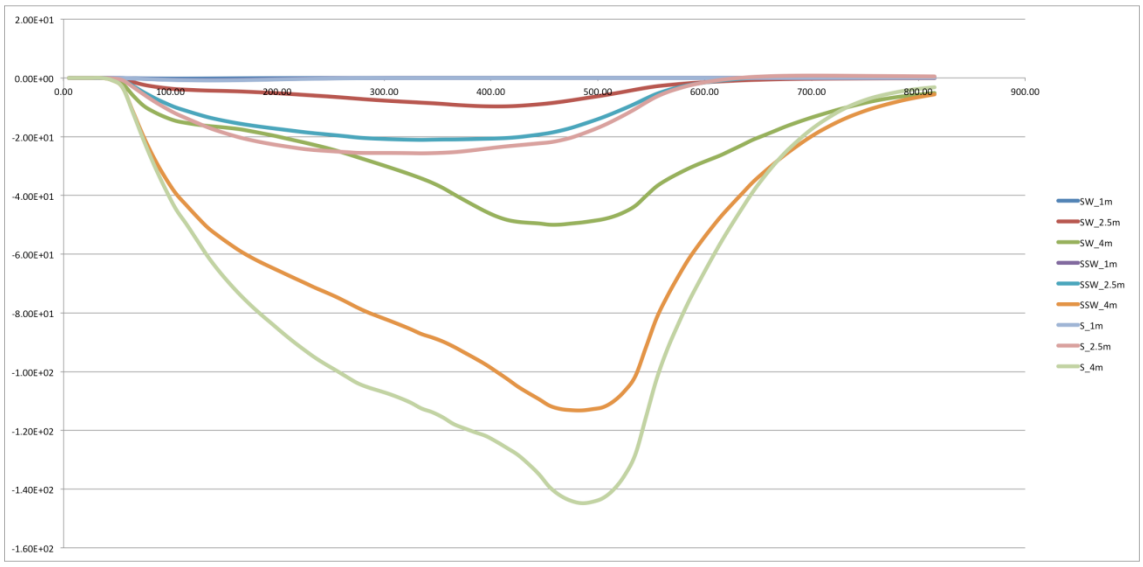


Figura 56. Tasas de transporte en la sección de control T6

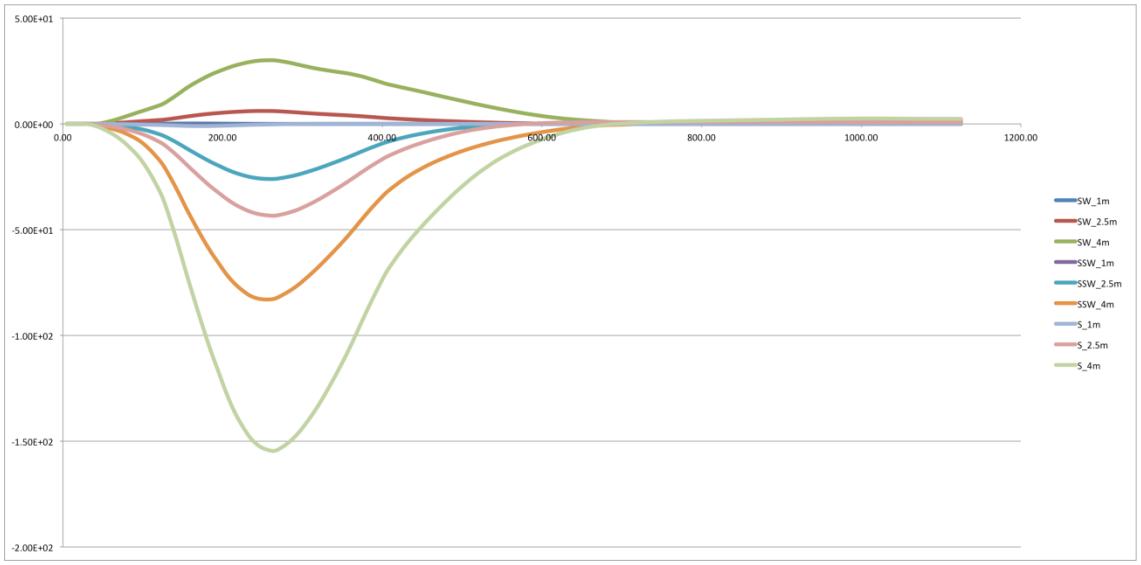


Figura 57. Tasas de transporte en la sección de control T7

En general, en todos los perfiles de control, los transportes de la mayoría de los oleajes simulados van hacia el norte (signo negativo), a excepción de la mayoría de los oleajes procedentes del SW. También se puede apreciar que a medida que aumenta el período y la altura de ola de los oleajes simulados, el transporte asociado aumenta muy rápidamente. Así, los oleajes de 1 m de Hs generan poco transporte de sedimentos.

En estos perfiles se puede apreciar la distribución longitudinal del transporte a lo largo de la línea de control debido a los efectos 2D-H del campo de velocidades y transportes, ya que han sido obtenidas a partir de las simulaciones numéricas. En cualquier caso, estas tasas representan los valores potenciales máximos que pueden producirse. Por ello, es recomendable que estos valores teóricos de transporte potencial se calibren analizando la evolución real de la playa en los últimos años, y sobre todo tras realizarse actuaciones de relevancia.

En todos los oleajes se observa que cerca de la costa el transporte es muy pequeño, va aumentando progresivamente hasta una distancia de unos 150 a 250 m, dependiendo de las características del oleaje y de la batimetría, y posteriormente disminuye hasta prácticamente desaparecer antes de llegar al final del perfil de control. Ésta es otra información importante, que puede deducirse de los resultados: la profundidad a partir de la cual se anulan o se minimizan las tasas de transporte, o lo que es lo mismo, la profundidad crítica o de cierre.

Las secciones analizadas se inician en playa seca (primeros 50 m con tasas nulas) y terminan a 10 m de calado, y atendiendo a que las tasas de transporte prácticamente se anulan antes de llegar al final del perfil de control, implica que la profundidad crítica se encuentra cerca de los 8 m de calado.

Integrando los valores de las distribuciones de transportes de cada oleaje se puede obtener el transporte total asociado a cada uno de ellos. En la

Perfil	SW			SSW			S		
	1 m	2.5 m	4 m	1 m	2.5 m	4 m	1 m	2.5 m	4 m
T1	-1	-156	-696	-8	-634	-2759	-11	-769	-3342

T2	1	100	577	-6	-471	-1926	-5	-559	-2673
T3	3	212	1052	-5	-523	-2256	-10	-971	-4203
T4	1	147	896	-6	-473	-2478	-9	-799	-4471
T5	2	132	759	-6	-456	-2415	-10	-805	-4369
T6	-2	-336	-2016	-10	-817	-4701	-12	-996	-5814
T7	2	165	968	-7	-553	-1997	-12	-951	-3887

Tabla 18, se resumen los valores obtenidos de las tasas de transporte.

Perfil	SW			SSW			S		
	1 m	2.5 m	4 m	1 m	2.5 m	4 m	1 m	2.5 m	4 m
T1	-1	-156	-696	-8	-634	-2759	-11	-769	-3342
T2	1	100	577	-6	-471	-1926	-5	-559	-2673
T3	3	212	1052	-5	-523	-2256	-10	-971	-4203
T4	1	147	896	-6	-473	-2478	-9	-799	-4471
T5	2	132	759	-6	-456	-2415	-10	-805	-4369
T6	-2	-336	-2016	-10	-817	-4701	-12	-996	-5814
T7	2	165	968	-7	-553	-1997	-12	-951	-3887

Tabla 18. Tasas de transporte en m^3/hora asociadas a los oleajes simulados (positivo hacia el S)

A partir de los resultados numéricos de la tabla anterior se pueden cuantificar las afirmaciones realizadas previamente. Se puede ver que los oleajes de 1 m producen transportes de entre 1 y 10 m^3/hora, mientras que los oleajes más energéticos generan transportes mucho mayores.

Los oleajes procedentes del SW generan transportes netos hacia el S en todas las secciones de control, excepto en las T1 y T6, pero su magnitud es considerablemente inferior a la de los otros oleajes. Los transportes asociados a los oleajes de 2,5 m están entre 100 y 350 m^3 por hora, mientras que los asociados a oleajes de 4 m llegan hasta los 2000 m^3.

Como es lógico, los transportes debidos a los oleajes del S son los que producen mayores transportes hacia el N, debido a que estos oleajes llegan con mayor incidencia a la zona de rotura y ponen más volumen de sedimento en suspensión. Por ejemplo, los oleajes de 2.5 m

casi llegan a generar transportes de 1000 m^3 por hora hacia el norte y los de 4 m superan los 5000 m^3.

En cuanto a la comparación entre secciones, se puede apreciar que la T2, situada al norte del puerto, es la que tiene menores tasas de transporte asociadas (unos 3000 m^3 por hora para los oleajes más energéticos) y que la T6 es la que tiene mayores tasas de transporte longitudinal (más de 5000 m^3 por hora para los oleajes más energéticos). El resto de secciones tienen valores similares entre ellas (alrededor de 4000 m^3 por hora para los oleajes más energéticos).

4.4 FLUJO MEDIO Y PROFUNDIDAD DE CIERRE

De cara a analizar la dinámica litoral a lo largo del Borde Costero, es importante caracterizar a pie de playa las condiciones climatológicas que determinan el estado modal de las mismas, en base que reciben.

La determinación del flujo energético medio puede obtenerse a partir del conjunto global de datos de oleaje propagados, a partir de la relación $H^2 \cdot T$, y componiendo el total de oleajes en función de su frecuencia de presentación. Dicho valor debería ser muy parecido al de la dirección morfológica la cual puede obtenerse de manera sencilla a partir de los mismos datos y de las tasas de transporte asociadas (ver apartado siguiente).

En este apartado se definirá para distintos puntos de control de cada playa el valor de la dirección morfológica y el flujo medio de energía incidente, lo cual nos proporcionará una información acerca del estado de equilibrio en planta que deberían adoptar las playas de acuerdo al oleaje incidente.

A partir de las tablas de propagaciones se obtendrá el registro de datos de oleaje transformado en cada nodo de control, definiéndose por un lado los valores de $H^2 \cdot T$, y por otro, algunos parámetros morfológicos como valores medios o la altura de ola superada 12h al año (Hs_{12}).

Un parámetro importante se refiere a la denominada “profundidad de cierre” o límite del perfil de equilibrio. Esta profundidad está relacionada con el transporte de sedimentos y se aplica a la posición mar adentro en la cual las variaciones verticales del perfil a lo largo del tiempo son tan reducidas que no son distinguibles de los errores de medida. Nótese que se admite que pueda existir movimiento de arena más allá de la profundidad de cierre, pero en magnitud despreciable, o en todo caso, no debido al transporte generado por la rotura del oleaje. Birkemeier (1985) utilizando datos de medidas de perfiles de playa obtuvo una expresión para la profundidad de cierre, h*:

$$h_* = 1.75 H_{s12} - 57.9 \left(\frac{H_{s12}^2}{g T_s^2} \right)$$

Hs12 = altura de ola significante a una profundidad h excedida doce horas al año

Ts = periodo de pico

Atendiendo a los valores locales del oleaje en la las cuatro zonas locales (ubicación del ológrafo frente al molo retenedor, Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco), se obtienen los valores morfodinámicos que se muestran en la Tabla 19.

Zona	**Hs_m (m)**	Tm (s)	Hs_{12} (m)	**H_* (m)**	**Flujo Medio (º)**
Molo retenedor	1.48	12.39	3.11	5.28	210.4

Zona	Hs_m (m)	Tm (s)	Hs_{12} (m)	H_* (m)	Flujo Medio (º)
Las Delicias	1.29	12.39	2.71	4.62	215.6
Buenos Aires	1.40	12.39	2.92	4.97	211.8
Huanchaco	1.42	12.39	3.02	5.13	210.6

Tabla 19: Relación de parámetros medios

4.5 CÁLCULO DEL TRANSPORTE Y DIRECCIÓN MORFOLÓGICA

Una de las informaciones importantes que puede obtenerse sobre la línea de orilla a partir de los datos del oleaje propagados hasta la línea de rotura, consiste en la dirección morfológica. Se denomina dirección morfológica a aquella dirección a la que tiende a orientarse la playa en función del flujo energético medio incidente.

Para obtener el valor de la dirección morfológica se determinará las tasas de transporte en función de la orientación de la línea de costa, hasta encontrar aquella que supone una tasa neta nula. Para calcular de forma sencilla las tasas de transporte se utilizará la formulación del CERC, incluida en el *Coastal Engineering Manual*.

La expresión del CERC, una vez adaptada para aplicarla a los datos disponibles, es la siguiente:

$$Q = a \cdot Hs_b^{\,2} \sqrt{Hs_b}\, sen\left(2\alpha'_b\right)$$

donde el subíndice *b* indica que los parámetros correspondientes deben ser tomados en condiciones de rompientes, y $\alpha'_b = \alpha_b - \alpha_r$ (ángulo de oleaje en rompientes y orientación de las batimétricas en la zona de rompientes, respectivamente), siendo:

$$a = \frac{K\sqrt{\frac{g}{\gamma}}}{32\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)(1-p)}$$

La evaluación del conjunto de oleajes que inciden en la zona de estudio, permite discernir el conjunto de datos que generan transporte hacia uno u otro sentido por separado, determinando así los transportes brutos y el neto (derivado de la diferencia entre ambos). De esta manera, el transporte queda determinado una vez fijados α_b y α_r, obtenidos a su vez, mediante propagación de oleaje la primera, y de la observación de la batimetría cerca de la línea de costa la segunda.

Tras aplicar los cálculos anteriores a los datos locales en las cuatro zonas analizadas, se obtienen los siguientes parámetros morfodinámicos (Tabla 20).

Zona	α_r (º)	Flujo (º)	Dir Morf (º)	Dir Costa (º)
Molo retenedor	235.1	210.4	222.3	230.4

Zona	α_r (º)	Flujo (º)	Dir Morf (º)	Dir Costa (º)
Las Delicias	224.0	215.6	219.6	222.3
Buenos Aires	216.8	211.8	214.0	219.0
Huanchaco*	268.1	210.6	244.0	256.6

Tabla 20: Relación de parámetros morfodinámicos

**La zona de Huanchaco es muy variable y se analizará en detalle*

Los resultados de las tasas de transporte (tanto brutos, como el neto resultante) se indican en la Figura 31 para el análisis en la zona frente al molo retenedor. Atendiendo a los valores de la tabla anterior, se observa como la orientación de la costa actual no coincide con la dirección morfológica, por lo que indica que existirá una tasa neta no nula, en este caso hacia el NW.

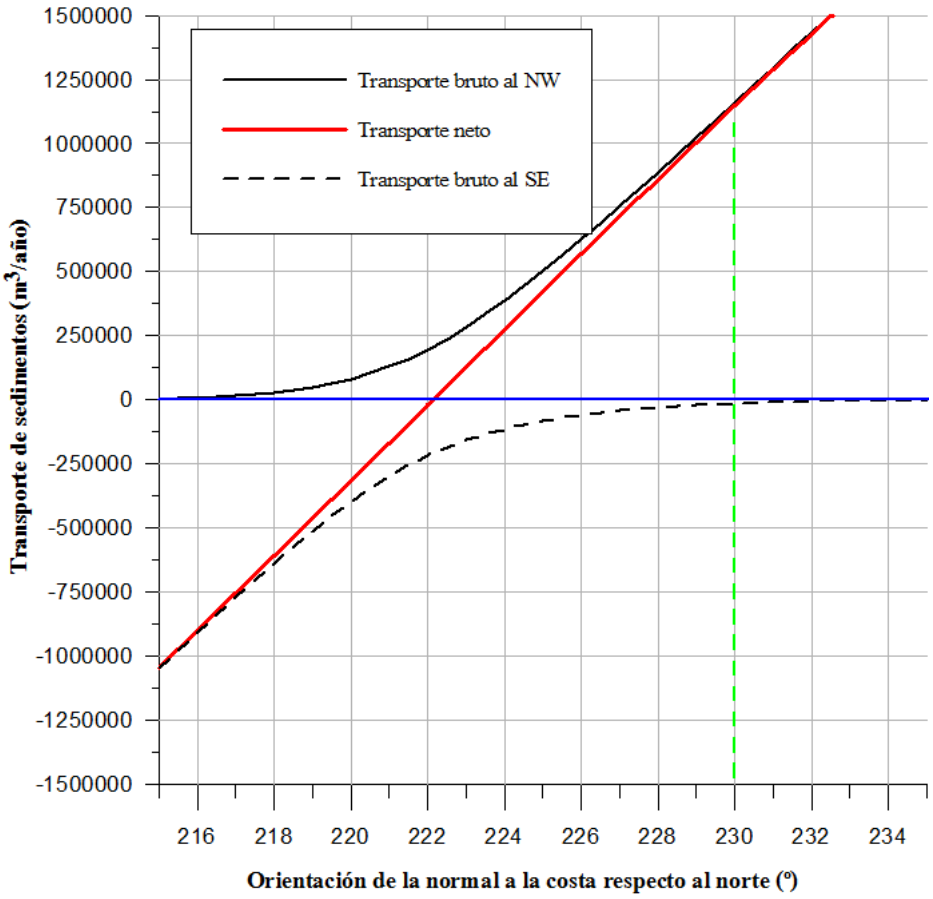


Figura 58: Tasas de transporte de sedimentos frente al Molo retenedor

Atendiendo a estos valores de la gráfica anterior y a la configuración actual de la costa, se aprecia como ésta presenta una orientación propicia para que se produzcan unas tasas elevadas de transporte hacia el NW, lo que implica unas tasas netas en esa dirección, pero con unas tasas brutas de aproximadamente 1.200.000 m^3/año. Cabe destacar que la formulación del CERC ofrece los valores potenciales máximos de transporte, ya que la formulación ha sido obtenida para playas rectilíneas e uniformes con batimétricas paralelas y pendiente constante, cosa que sucede en este caso, y por ello las tasas reales que se calculan en la zona se aproximan al valor obtenido mediante al formulación del CERC.

Repitiendo el mismo análisis para el resto de zonas más al norte, se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 59 para la zona de Las Delicias, en la Figura 60 para la zona de Buenos Aires, y en la Figura 61 para la zona de Huanchaco.

Según estos resultados en la zona de Las Delicicas las tasas de transporte netas, según la orientación actual de la costa se reducen a 350.000 m^3, para aumentar posteriormente en la zona de Buenos Aires a 715.000 m^3, y seguir aumentando hasta Huanchaco llegando de nuevo a 1.035.000 m^3 y reducirse de nuevo en la zona de Huanchaco tras el cambio de orientación de la costa y la batimetría. De hecho la particularidad de la costa en Huanchaco requiere un análisis más detallado, puesto que las hipótesis de la formulación del CERC, costa rectilínea y batimétricas paralelas, se pierde tanto por la configuración de la costa como de las batimétricas.

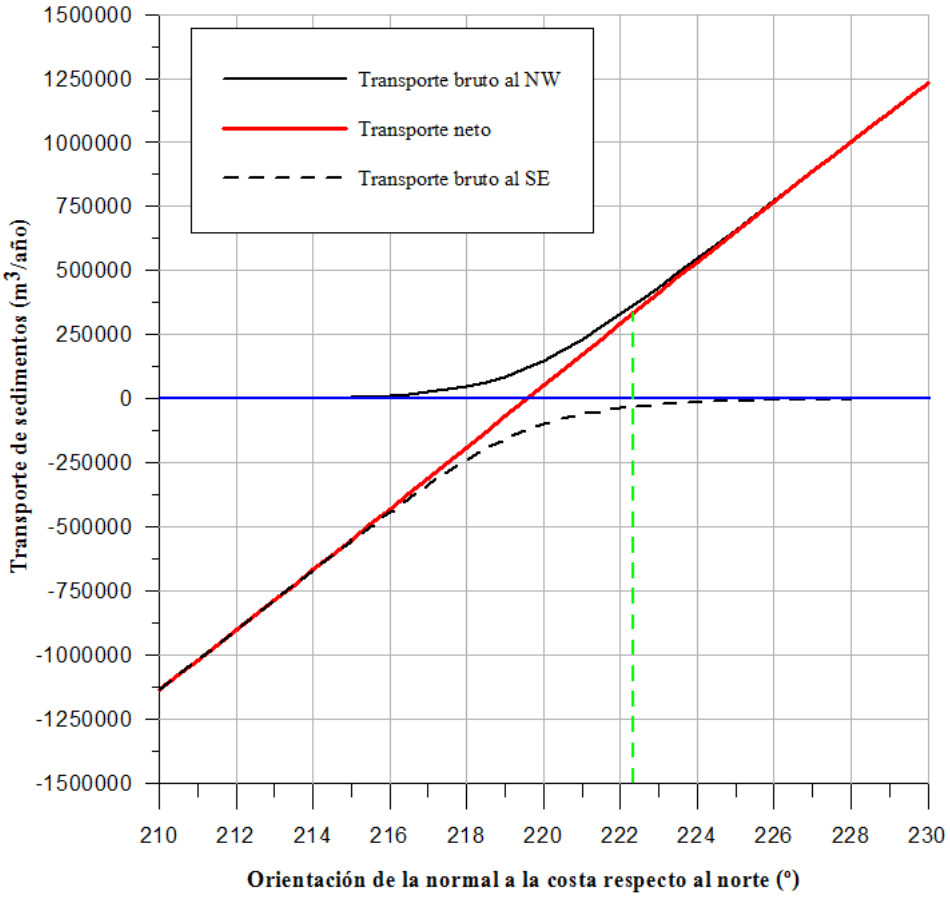


Figura 59: Tasas de transporte de sedimentos frente a Las Delicias

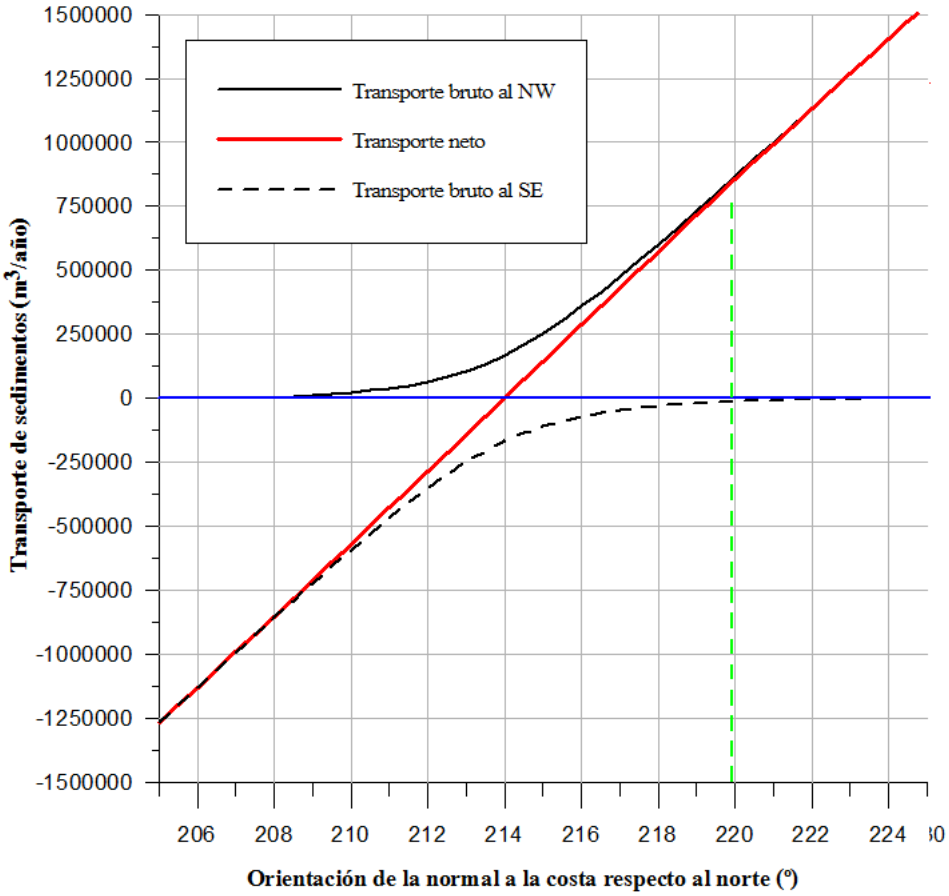


Figura 60: Tasas de transporte de sedimentos frente a Buenos Aires

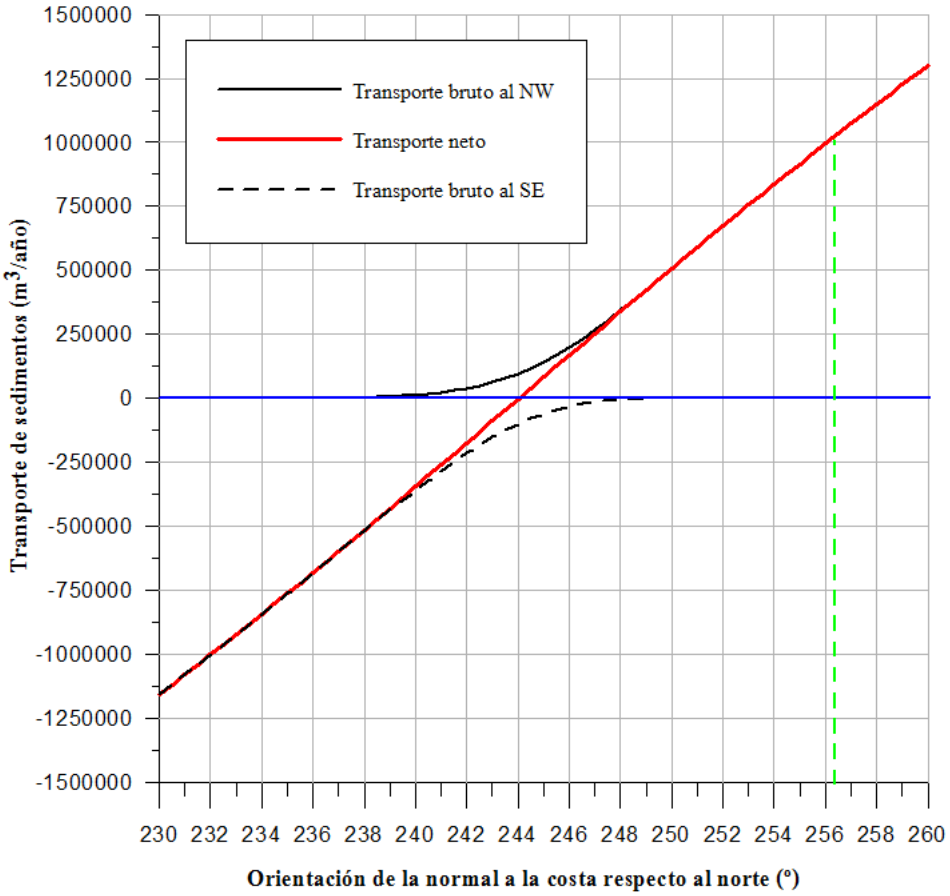


Figura 61: Tasas de transporte de sedimentos frente a Huanchaco

4.6 PERFIL BIPARABÓLICO DE EQUILIBRIO

La respuesta de un perfil de playa a la acción de las dinámicas actuantes se produce en escalas de tiempo de corta duración (horas en el caso de erosión por un temporal, semanas-meses en el caso de acumulación), que pueden ser consideradas como instantáneas dentro de un estudio a largo plazo y casi-instantáneas en un análisis a medio plazo.

Consecuentemente, dentro de un estudio a largo plazo el aspecto más relevante de un perfil de playa es su perfil de equilibrio, que puede ser definido como el perfil final que se produce en una playa con un tamaño de grano concreto expuesta a unas condiciones de oleaje constantes. Es importante señalar que el perfil de equilibrio no pretende explicar los mecanismos o procesos de transporte en un perfil de playa, sino solamente su forma final.

Diversos autores han propuesto formulaciones empíricas al objeto de representar el perfil de equilibrio de una playa, de todas ellas la más comúnmente utilizada es la propuesta, inicialmente, por Bruun (1954) y posteriormente por Dean (1977). Esta forma de perfil, conocida como perfil parabólico, adopta la expresión:

$$h = Ax^{2/3}$$

h = profundidad del agua; *x* = distancia desde la costa; *A* = parámetro de forma

El parámetro de forma, *A*, fue ajustado por Dean (1987) en función de la velocidad de caída del grano, ω (m/s).

$$A = k\omega^{0.44}$$

k = 0.51

De acuerdo con el modelo teórico de perfil de equilibrio propuesto por Dean, el perfil de equilibrio solo es válido dentro de la zona de rotura del oleaje. Quiere esto decir, que la extensión del citado perfil varía a lo largo del tiempo en función del oleaje existente.

La expresión del perfil de equilibrio propuesta lleva implícita una serie de hipótesis que, si bien pueden ser aceptables a nivel de prediseño, no son adecuadas en niveles superiores de diseño. Entre estas hipótesis tenemos que el perfil es un perfil completo de arena desde el origen hasta la profundidad de cierre, que todo el flujo de energía de oleaje que incide sobre el perfil es disipado por rotura, no existiendo ninguna otra afección externa (reflexión, refracción, etc), y que el nivel del mar es constante, esto es, no hay marea.

Recientemente diversos autores han puesto de manifiesto que los perfiles de playa quedan mejor representados si su descripción se realiza por medio de dos perfiles diferenciados (Inman et al, 1993; González, 1995; Bernabeu 1999; Medina et al., 2000; Gómez-Pina, 2000). El primero abarcaría desde la línea de costa de pleamar hasta la profundidad de rotura del oleaje en bajamar, denominándose perfil de rotura, mientras que el segundo se extendería desde dicha profundidad de rotura hasta la profundidad de corte, denominándose perfil de asomeramiento.

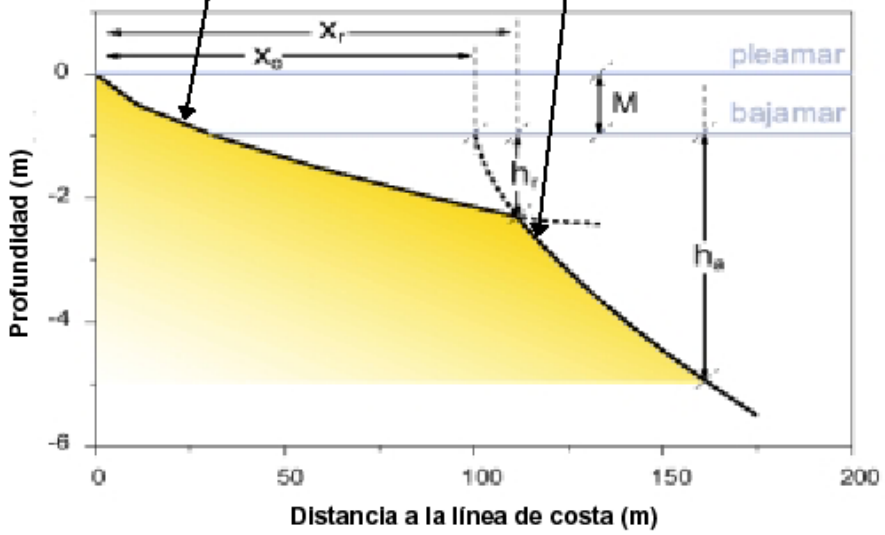
Este tipo de representación del perfil permite una “más adecuada” caracterización de los diferentes procesos que conforman los perfiles de playa (rotura-asomeramiento) y, por tanto, cabe esperar de ellos una mejora sustancial en los ajustes de perfiles reales.

Más aún, la caracterización de los procesos en la definición del perfil permite la incorporación de las modificaciones descritas en los apartados anteriores (reflexión, refracción...), e incluso la existencia de marea, de un modo más coherente. Por el contrario, si se desea utilizar este tipo de formulaciones para pronosticar “a priori” la forma de un perfil, es necesario dar valores a un número de parámetros muy superior al del caso mono-parabólico.

Las formulaciones a utilizar para ambos perfiles, así como los valores de los parámetros de ajustes se detallan en el cuadro siguiente (Figura 62).

El perfil de equilibrio compuesto puede representarse por medio de dos perfiles parabólicos, uno con origen en la cota de pleamar, denominado perfil de rotura, y otro, denominado perfil de asomeramiento, con el origen en la cota de bajamar y desplazado en vertical, de tal forma, que su intersección con el perfil de rotura coincide con la profundidad donde el oleaje rompe (Bernabéu, 1999):

$$x = \left(\frac{h}{A_R}\right)^{3/2} + \frac{B}{A_R^{3/2}} h^3 \qquad X = x - x_0 = \left(\frac{h-M}{C}\right)^{3/2} + \frac{D}{C^{3/2}}(h-M)^3$$



Donde:

x = distancia a la línea de costa (la línea de costa coincide con el origen del perfil de rotura)
x_0= distancia del origen del perfil de rotura al origen del perfil de asomeramiento
x_r= distancia de la línea de costa al punto de rotura del oleaje
h = profundidad
h_r= profundidad de rotura (respecto a la bajamar) ≈ 1.1 H
h_a= profundidad final del perfil de asomeramiento (respecto a la bajamar) ≈ 3 H
A_R= parámetro de forma del perfil de rotura (asociado a la disipación por rotura)
B = parámetro de forma del perfil de rotura (asociado a la reflexión)
C = parámetro de forma del perfil de asomeramiento (asociado a la disipación por fricción)
D = parámetro de forma del perfil de asomeramiento (asociado a la reflexión)
M = carrera de marea modal
H = altura de ola significante media mensual a la profundidad h_a, en bajamar

$$x_0 = \left(\frac{h_r + M}{A_R}\right)^{3/2} - \left(\frac{h_r}{C}\right)^{3/2} + \frac{B}{A_R^{3/2}}(h_r + M)^3 - \frac{D}{C^{3/2}} h_r^3$$

$$x_r = \left(\frac{h_r + M}{A_R}\right)^{3/2} + \frac{B}{A_R^{3/2}}(h_r + M)^3$$

Figura 62: Perfil teórico biparabólico de equilibrio

De la caracterización granulométrica de la zona, puede extraerse un valor promedio de D_{50} cercano a 0.2 mm, a partir de donde se ha determinado el perfil de equilibrio (ver Figura 63),

con una profundidad de cierre de unos de 5 m. Dicho perfil permite a nivel de prediseño ubicar el pie de playa que conforma una playa.

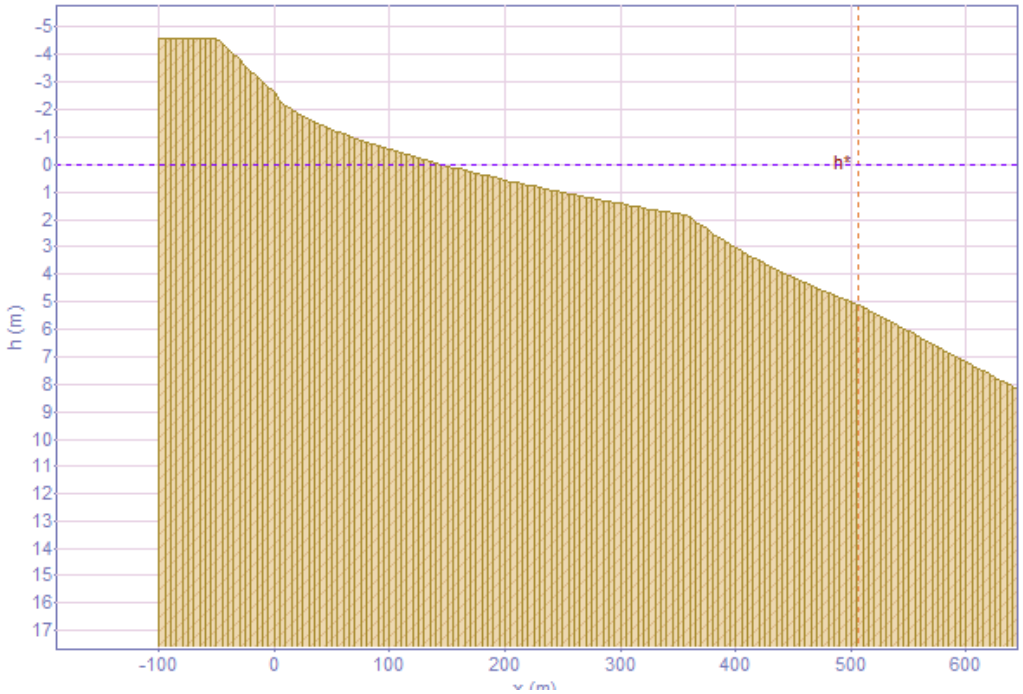


Figura 63: Perfil biparabólico de equilibrio según D_{50} = 0.2 mm

El análisis de los perfiles a lo largo de todo el tramo de costa, indican unas pendientes variables, que oscilan entre valores del 1.3% hasta valores superiores al 3%. En el perfil de equilibrio teórico el valor promedio de la pendiente es de 1.5%, que se asemeja a las zonas fuera de singularidades, entiendo dichas zonas como los tramos que no han sufrido fuertes erosiones, ni presentan una alineación quebrada de la línea de costa.

Se han analizado las pendientes a lo largo de 21 perfiles (ver Figura 64 a Figura 66), de tal forma que se pueda identificar qué ha sucedido en el tramo del perfil sumergido. En la mayoría de los perfiles sin singularidades (perfiles 1, 2, 3, 8, 9, 10 y 19) las pendientes del talud sumergido de la zona activa son muy parecidas y cercanas a 1.7%, y se extienden desde el perfil emergido hasta una profundidad de entre 6m y 9 m.

En las zonas en las que la costa presenta un quiebro (perfiles 4, 5, 6, 7, 20 y 21), los valores aumentan hasta unas pendientes del 2.2%, lo que indica una mayor dinámica longitudinal, lo cual tiene sentido puesto que la costa cambia bruscamente de orientación hacia el norte, con un flujo incidente de oleaje del SW, lo que incrementa claramente las tasas de transporte.

Sin duda, el tramo más singular se sitúa en la zona central, entre Las Delicias y Buenos Aires (perfiles 11 a 18). En dicho tramo abierto sería de esperar que en un estado de equilibrio, las pendientes fueran similares al resto de zonas abiertas y por lo tanto con pendientes inferiores al 2%. Sin embargo, las pendientes en dichos tramos aumentan claramente situándose por encima del 2.5% y llegando incluso en Víctor Larco a ser de 3.03%. Obviamente, este hecho denota fuertes erosiones a lo largo de dicho tramo.

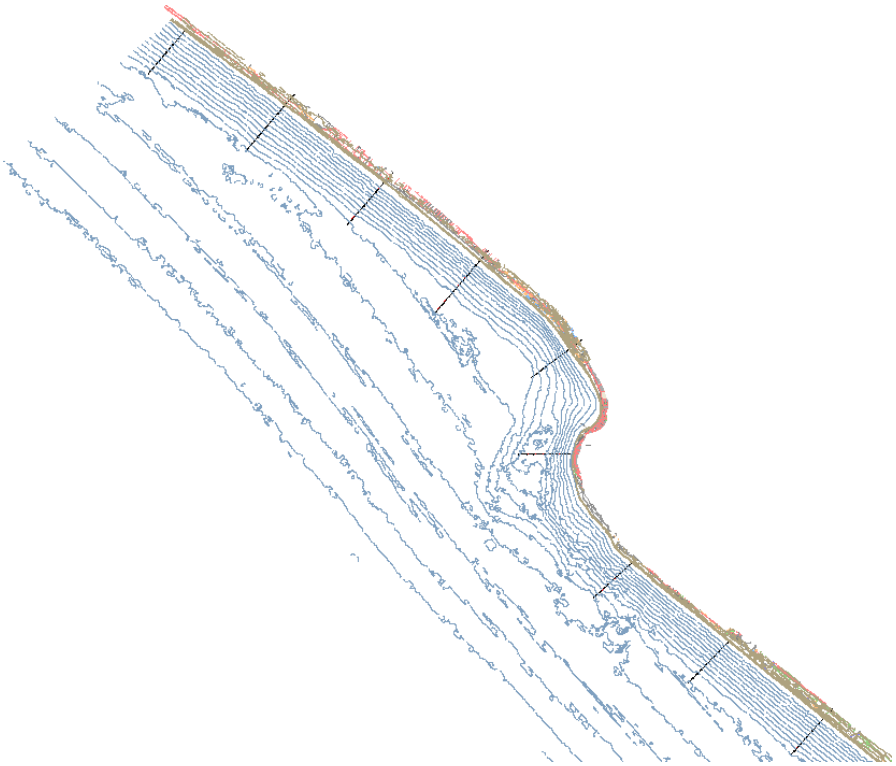


Figura 64: Perfiles analizados 1 a 9 (de norte a sur)

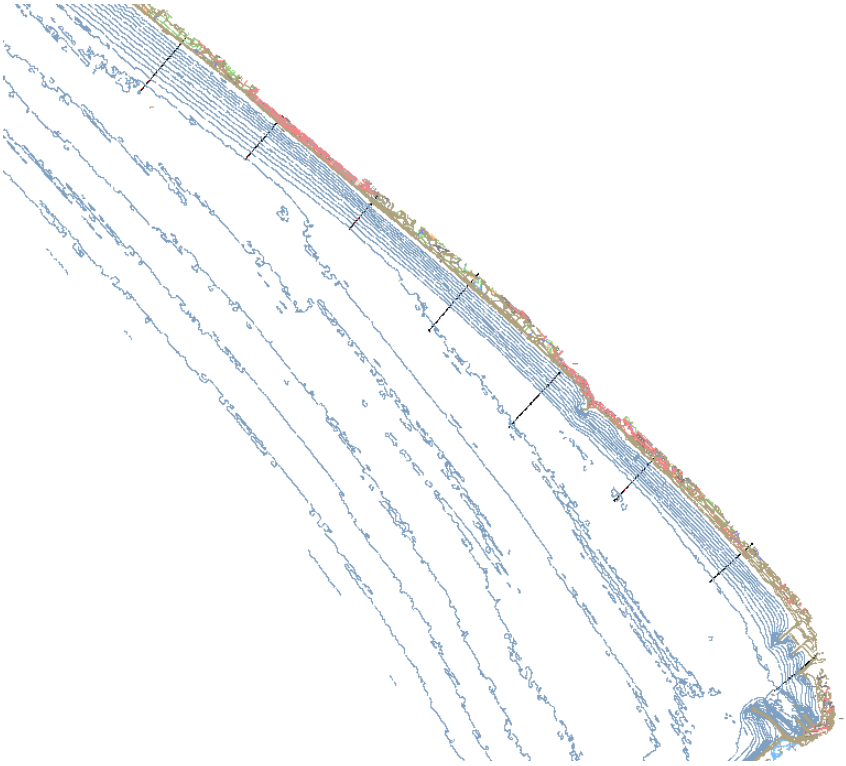


Figura 65: Perfiles analizados 10 a 17 (de norte a sur)

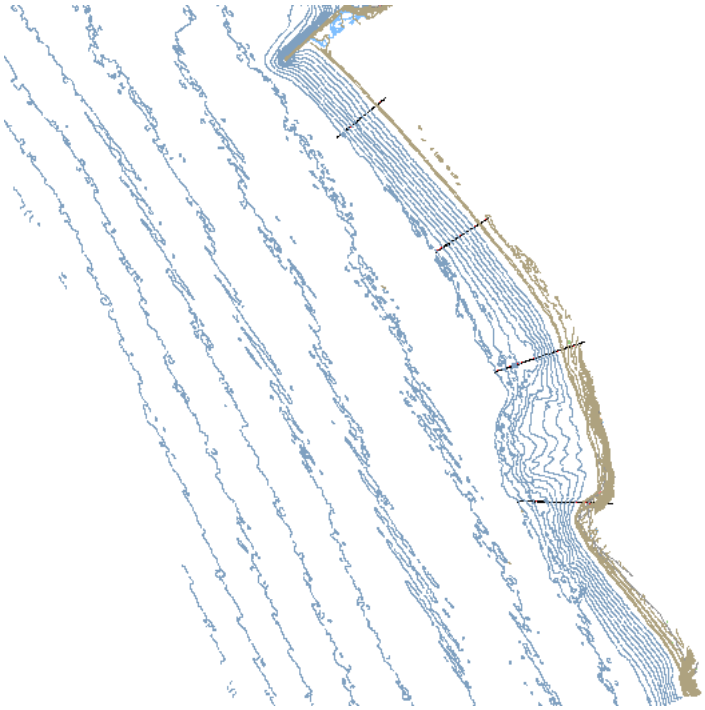


Figura 66: Perfiles analizados 18 a 21 (de norte a sur)

Fijándonos en el tramo erosionado de Las Delicias a Buenos Aires, es importante mencionar que la erosión no sólo es evidente en la zona costera o en el retroceso de la línea de costa, sino que las pendientes del perfil sumergido se han incrementado notablemente, por lo que gran parte del material perdido, se ha perdido en el perfil, que en un tramo de unos 13 km, se estima que puede llegar a ser de unos 15 millones de m^3, tan sólo por incremento de la pendiente (sin tener en cuenta el retroceso).

A todo esto cabe destacar, que no es de extrañar que los perfiles con mayores pendientes se encuentren en el tramo central frente al Balneario de Buenos Aires, puesto que la presencia del escollerado longitudinal genera reflexiones que incrementan las capacidades energéticas del oleaje y por lo tanto generan mayores erosiones, que al no poder extraer el material haciendo retroceder la costa, se extrae del perfil sumergido, generando una aceleración de los procesos que se retroalimentan.

4.7 PLANTA DE EQUILIBRIO

En el presente apartado se analizará la forma en planta de las playas para una posible situación futura, en la que se construyan obras de contención, que encajen o sostengan las playas, ya sean diques exentos, espigones, etc.

El diseño de la forma en planta de equilibrio queda bien representado en base a la formulación de Tan & Chiew (1994), como mejora a la de Hsu & Evans (1989) para playas encajadas (ver Figura 67).

La ecuación de dicha forma en planta viene definida por la siguiente parábola:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

donde C_0, C_1 y C_2 son coeficientes que vienen tabulados en función del resto de parámetros.

Dicha formulación depende principalmente del oleaje incidente en el punto de difracción, y en especial del flujo energético medio. Del análisis local de las propagaciones, se obtiene el flujo medio incidente en los puntos de difracción del morro de los diques o espigones, a partir de donde "cuelgan" las playas adyacentes en estado futuro.

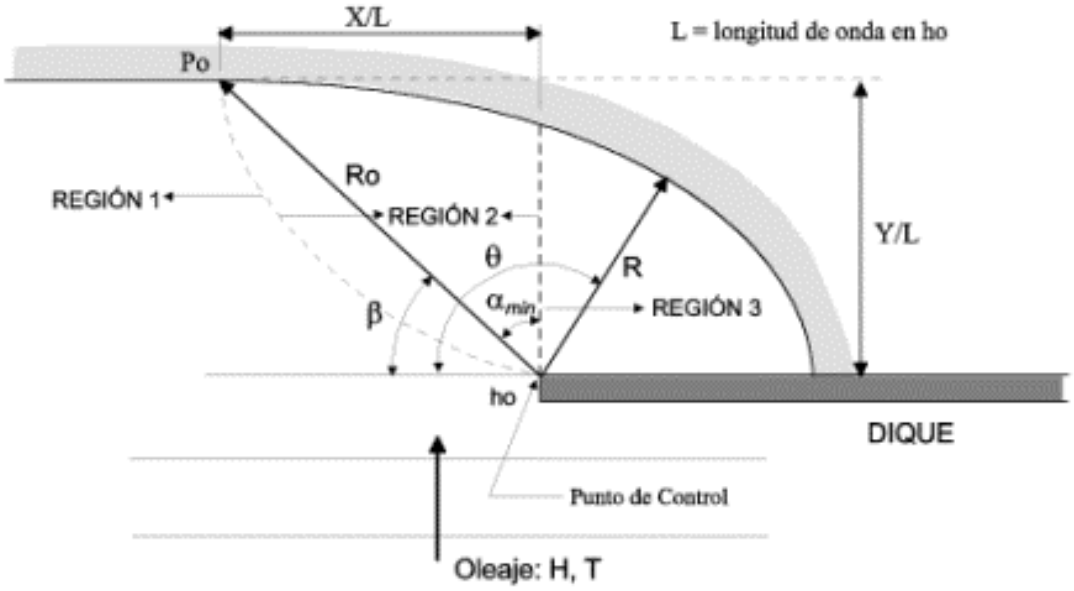


Figura 67: Parábola de equilibrio según Tan & Chiew (1994)

4.8 CONCLUSIONES

Los valores que se han obtenido coinciden con los Estudios previos revisados, sobre todo en la zona del molo retenedor, que es el punto más estudiado a lo largo de los últimos años.

Se puede concluir del análisis de la evolución de las tasas de transporte a lo largo del litoral, que en el Puerto de Salaverry, una barrera total al paso de sedimentos retendría más de 1 millón de m3 anuales. Dado que eso ya ha sucedido en el pasado con la construcción del molo retenedor y este en la actualidad se encuentra prácticamente colmatado, gran parte de esas tasas están sobrepasando el molo, lo cual genera graves problemas de aterramiento en la zona del canal de acceso.

Por otro lado, tras el puerto, al reducirse las tasas hasta Las Delicias, la zona en sombra genera un área de acumulación, que en la actualidad discurre a medias profundidades sin que dicho material se aprecie en la zona de las playas. Tras superar Las Delicias y hasta Buenos Aires, las tasas de transporte longitudinal aumentan claramente de nuevo, lo que genera un gradiente negativo, que se traduce en graves erosiones en la línea de costa en dicho tramo.

De Buenos Aires a Huanchaco, las tasas de transporte siguen aumentando, aunque a un ritmo menor, por lo que dicho tramo resulta nuevamente deficitario.

Dada la gran extensión que implica todo el tramo costero, las erosiones que se van generando se trasladan de sur a norte a lo largo del tiempo, y en la actualidad se puede decir que ya han alcanzado la zona de Huanchaco.

En frente del Balneario de Huanchaco las condiciones son totalmente variables, dado que el quiebro que presenta la línea de costa y el perfil batimétrico generan una serie de gradientes que se hacen máximos negativos en la zona inicial, para generar una zona de sombra tras el cambio de orientación de la costa. Sin embargo, el déficit sedimentario que se viene arrastrando desde el sur, parece que no favorece la estabilidad de las playas en todo el frente del Balneario de Huanchaco.

Por otro, el análisis de la evolución de línea de costa muestra como los quiebros que presenta la línea de costa en toda la unidad fisiográfica, y Huanchaco es uno de ellos, la erosión es mucho menor que en los tramos donde la línea de costa es rectilínea e uniforme.

Ello se puede deber solamente a dos efectos, o bien, el material que compone el saliente es no erosionable, o bien, existe un aporte de sedimentos extra en los extremos de dichos salientes. Tras la revisión de los puntos singularidades, y salvo algún saliente rocoso o peñón, se llega a la conclusión de que tanto al sur del Puerto de Salaverry como en Huanchaco, las quebradas existentes, tienen que representar o han representado en el pasado un fuente de sedimentos provenientes de las erosiones de los terrenos de la cuenca baja, que han generado un línea de costa sustentada en esos puntos y por lo tanto, menos sensible a las erosiones.

El hecho de que le río Moche no presente las mismas características se debe a que toda la cuenca baja está urbanizada, edificada o los terrenos están siendo utilizados como campos de cultivo, por lo que la erosión de dichos terrenos es nula o muy reducida, y por lo tanto el río Moche ya dejó de ser una fuente de aporte sedimentario desde hace tiempo.

En la Figura 68 se aprecia claramente como toda la cuenca baja del río Moche se encuentra urbanizada o bien el bajo un intensivo uso agrario del suelo, mientras que al sur y al norte, los terrenos libres de uso representan una clara extensión de terreno erosionable que a través de quebradas desembocan justo en las zonas donde la línea de costa presenta alguna singularidad.

Por último, es importante mencionar que las fuertes erosiones generadas por el déficit de material sedimentado al sur del Puerto de Salaverry, no sólo se aprecian en el retroceso de la línea de costa, sino que son evidentes y claras en el perfil sumergido, sobretodo en el tramo que recorre la costa desde el Balneario de Las Delicias hasta el Balneario de Buenos Aires, estimando una pérdida de material sumergido por el incremento de la pendiente del talud de hasta 15 millones de m^3.

Las pendientes más pronunciadas se observan frente a Víctor Larco, justo en la zona donde existe el enrocado longitudinal, construido para evitar el retroceso de la línea de costa. Sin embargo, el análisis detallado muestra como las reflexiones que generan este tipo de obras de defensa incrementan la energía incidente, generando mayores erosiones, en este caso sobre el perfil sumergido, que a la vez incrementan la capacidad energética del oleaje puesto que se reduce el efecto disipativo que ejercen las playas con una pendiente más suave, lo cual desemboca en una aceleración de los procesos erosivos.

Por desgracia, en la actualidad ya se ha constatado este hecho, puesto que las bravezas más duras inciden con mayor energía sobre las obras de protección, hasta el punto de que ya se ha producido el colapso en algunos tramos del enrocado.

A la vista de estas conclusiones, cualquier solución planteada, deberá tener muy en cuenta la retirada de los enrocados a lo largo del frente costero, a la vez que se trate de recuperar en la medida de lo posible el perfil sumergido de playa, con la finalidad de recuperar el efecto disipativo de las pendientes más suaves.

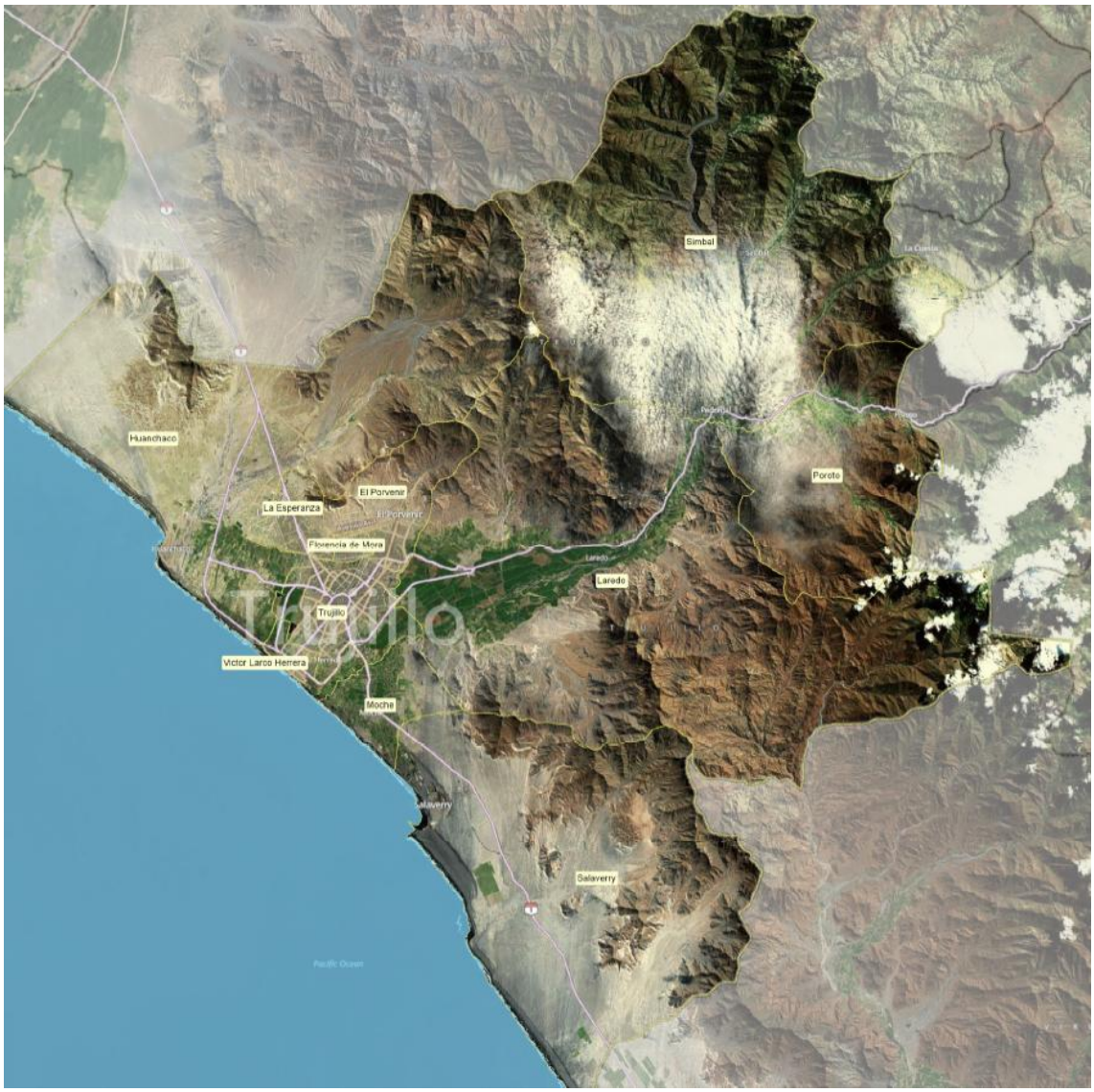


Figura 68: Distrito de Trujillo, urbanización de cuencas, uso agrario y fuentes de sedimentos

5 E – VALIDACIÓN DE LA MODELIZACIÓN NUMERICA

5.1 METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Para la validación de la modelización numérica realizada en los apartados anteriores se lleva a cabo a través de los datos de corrientes y oleajes procedentes de los datos recogidos por los aparatos de medición instalados en la zona de estudio. Del mismo modo que se validarán los datos de oleaje, se hará lo mismo con los datos de las corrientes, a partir de una campaña de medidas de corrientes litorales, mediante la instalación de un Correntómetro Doppler que obtendrá información de corrientes en tres niveles de profundidad (superficial, intermedio y de fondo) que se deberá instalar a una profundidad mínima de siete metros.

Los aparatos de medición fueron instalados el 14 de marzo, con la aprobación previa del Supervisor del estudio designado por el MTC. En los Anexos IV al VI se incluyen las

especificaciones técnicas de los equipos, fotografías de los mismos y los resultados obtenidos hasta la fecha.

Mareografo	**Olografo-Correntimetro**
WGS84 UTM 17S E 722.285,95 N 9.089.940,53	WGS84 UTM 17S E 716.271 N 9.085,762

5.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN CAMPO

Se adjuntan los resultados preliminares obtenidos con los datos registrados durante los dos primeros meses de mediciones:

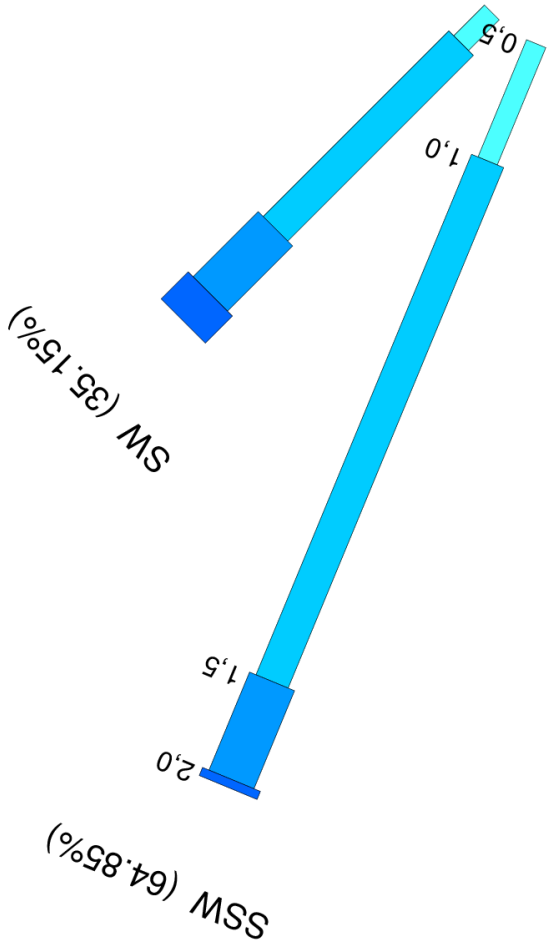


Figura 69: Datos medidos (marzo y abril)

5.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE CALIBRADO

Se ha realizado la propagación de los datos de los meses de marzo y abril existentes en el registro histórico, obteniendo el siguiente resultado:

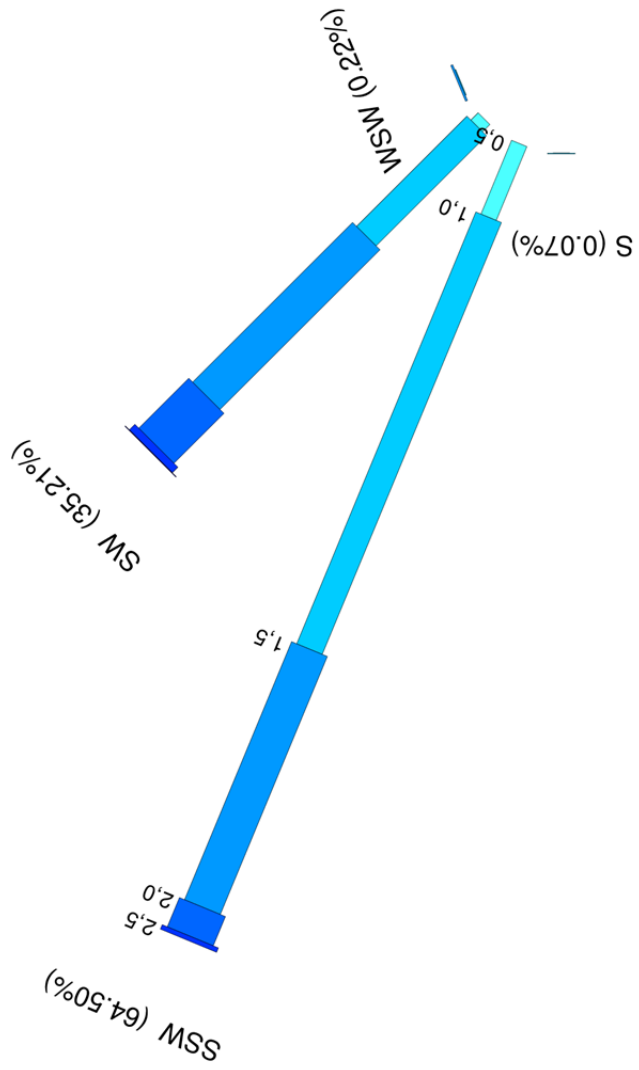


Figura 70: Datos propagados (marzo y abril)

En las figuras anteriores se comparan los datos medidos durante los meses de marzo y abril de 2014 con los datos del registro histórico sólo de los meses marzo y abril, propagados hasta la ubicación el Ológrafo.

Para realizar un calibrado de datos sería necesario disponer del registro de aguas profundas contemporáneo con los datos medidos, cosa que no será posible. Sin embargo la gran similitud entre los datos medidos y los datos propagados dan crédito y validez a los datos locales obtenidos mediante las propagaciones exteriores.

Atendiendo a los regímenes medio escalares según los datos medidos (Figura 71) y los datos propagados (Figura 72), se observa como los valores medidos tienden a dar valores algo

inferiores, cosa que se aprecia claramente en el gráfico Q-Q' que iguala los valores de las alturas de ola asociados a diferentes probabilidades de excedencia (Figura 73). Sin embargo debe considerarse que los datos medidos tienen un registro demasiado corto para ser representativos, y por lo tanto es lógico que el régimen marcado por esos datos sea menos energético. Cuando se tenga un registro más largo de datos de medida se realizará un nuevo calibrado bajo el supuesto de que los dos regímenes se asemejen mucho más.

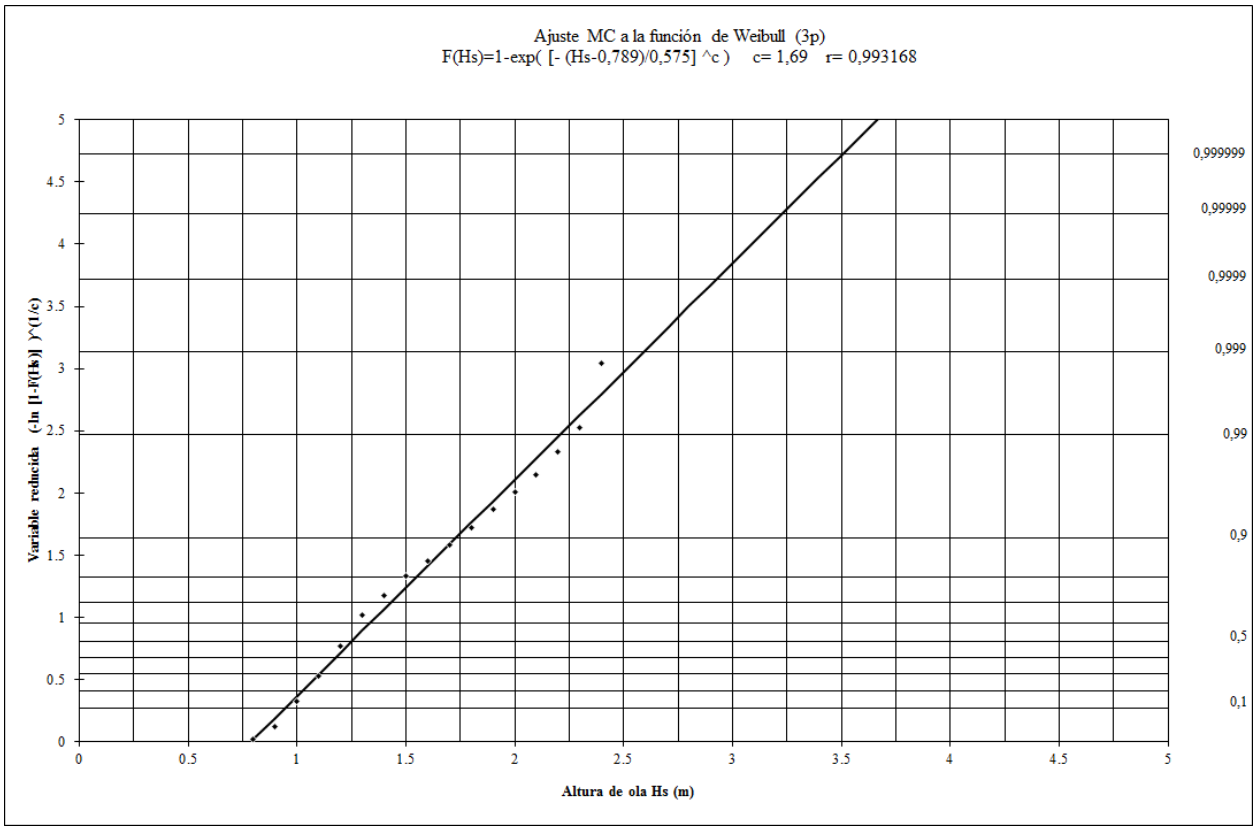


Figura 71: Régimen medio escalar de los datos medidos

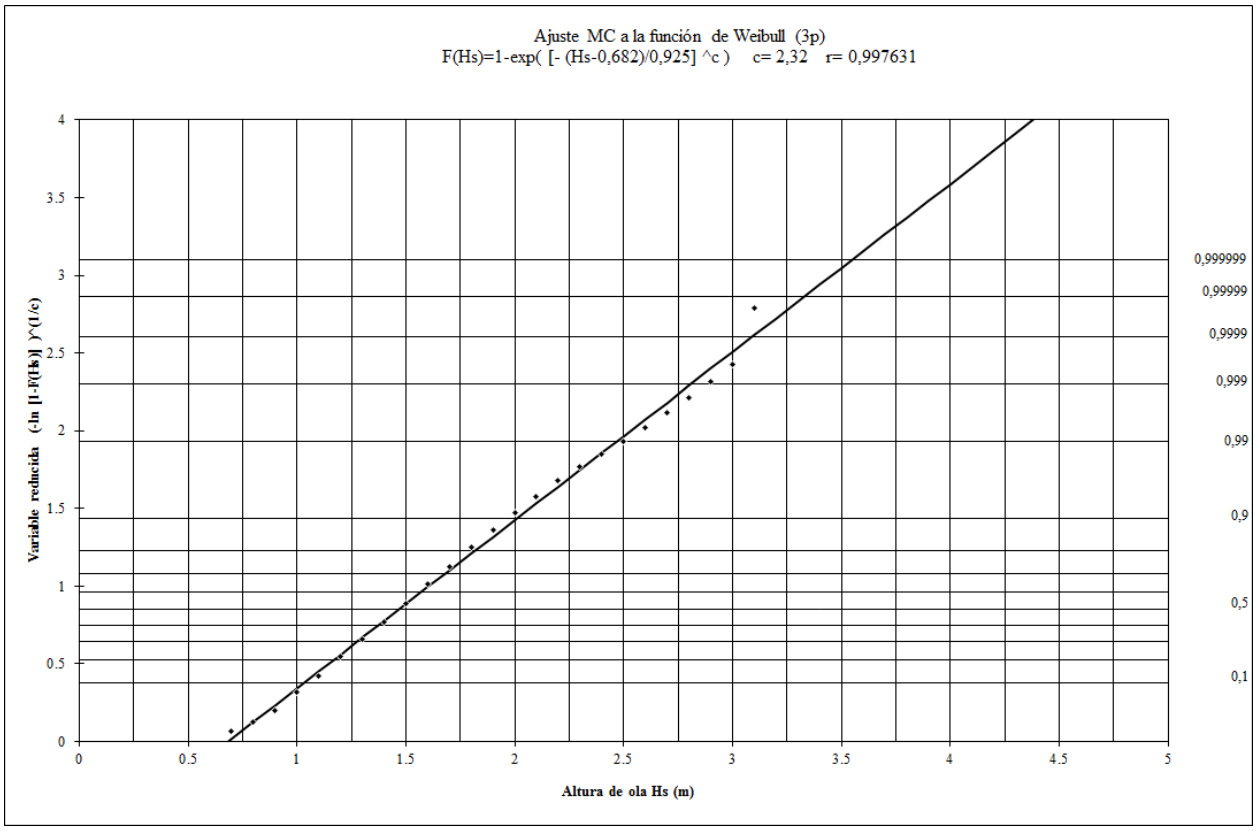


Figura 72: Régimen medio escalar de los datos propagados

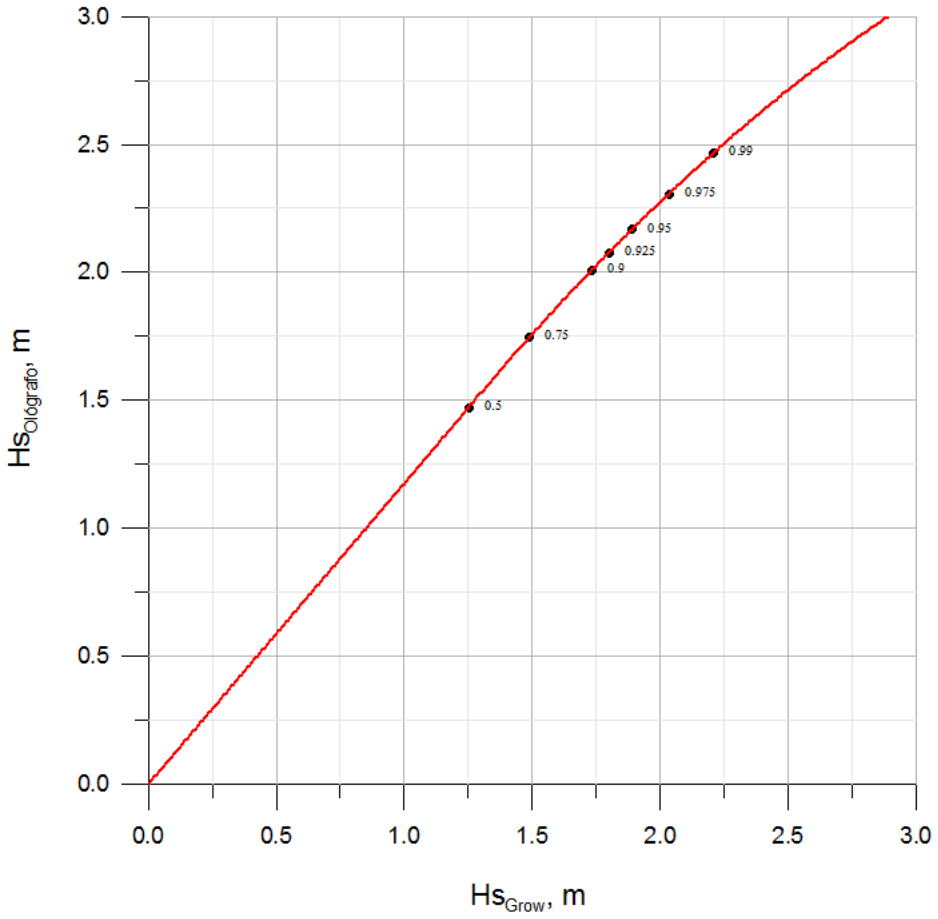


Figura 73: Gráfico Q-Q' sobre el régimen medio de datos medidos y propagados

6 F – CONCLUSIONES

En el presente Informe se han analizado los siguientes apartados:

a) Geomorfología
b) Clima marítimo en aguas profundas
c) Propagaciones de oleaje
d) Análisis de las condiciones locales de oleaje
e) Dinámica marina
f) Calibrado de las simulaciones numéricas

De todo ello cabe destacar las siguientes conclusiones:

La plataforma continental presenta en la superficie una unidad superior de sedimentos finos laminados, seguidos por otra secuencia de sedimentos en la que se intercalan fangos terrígenos con fangos diatomáceos y capas de arena y limos; sigue una tercera unidad de

fangos diatomáceos laminados y finalmente la unidad más profunda consistente de arenas, arena limosa y limo arenoso.

Se ha detectado que en los quiebros que presenta la línea de costa en toda la unidad fisiográfica, y Huanchaco es uno de ellos, las posibles erosiones son mucho menores que en los tramos donde la línea de costa es rectilínea e uniforme.

Esto sucede en algún caso porque existe un saliente rocoso o peñón, pero en otros, como podría ser Huanchaco, porque tienen que representar o han representado en el pasado una fuente de sedimentos provenientes de las erosiones de los terrenos de la cuenca baja, que han generado una línea de costa sustentada menos sensible a las erosiones, tras la consolidación de los materiales arrojados al mar.

El hecho de que le río Moche no presente las mismas características se debe a que toda la cuenca baja está urbanizada, edificada o los terrenos están siendo utilizados como campos de cultivo, por lo que la erosión de dichos terrenos es nula o muy reducida, y por lo tanto el río Moche ya dejó de ser una fuente de aporte sedimentario desde hace tiempo.

Esto implica que en la zona de Huanchaco el urbanismo creciente, así como la presión sobre los usos del suelo puede generar un déficit extra de sedimentos, y que la quebrada situada justo al sur dejará de aportar tanto material como hasta ahora.

Se han empleado los datos de oleaje y viento de la base de datos hindcast GROW 78051. Los oleajes con mayor frecuencia de presentación son por un lado el SSW (con un 55%) y por otro el S (con un 38%). Por lo tanto, los datos se concentran alrededor de unas pocas direcciones. El sector que tiene mayores alturas de ola asociadas es el SSE, a pesar de tener una frecuencia de presentación muy baja. El viento presenta algo más de dispersión que el oleaje, pero no demasiada y prácticamente la totalidad de los vientos provienen del segundo sector, y en especial del SSE.

Los oleajes a considerar en las propagaciones desde aguas profundas hasta la costa deben ser los comprendidos entre el SSE y el WSW. La acción del viento se considerará todas las condiciones de oleaje con un viento del SSE, y por un lado, y un viento del S, por otro.

Para el estudio de propagaciones desde aguas profundas se ha empleado el modelo SWAN (*Simulating WAves Nearshore*), desarrollado por la Universidad de Delft. La malla exterior tiene unas dimensiones de 130 km en el eje X, y de 86 km en la dirección perpendicular, con celdas cuadradas de 200 x 200 m (520 nodos en dirección X y 344 en dirección Y).

Los valores locales del oleaje, se han definido por medio de la obtención de los parámetros de transformación del oleaje (coeficiente de propagación Kp y dirección media propagada), en cuatro puntos de control: Molo retenedor y ubicación del ológrafo, Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco.

Los oleajes que inciden en la zona costera se concentran en la práctica totalidad en dos sectores, SSW y SW, y en especial del SSW, que es el responsable de las elevadas tasas de transporte hacia el NW.

De cara a analizar la dinámica litoral a lo largo del Borde Costero, es importante la incidencia del flujo energético y la profundidad de cierre. Por otro lado, una de las informaciones importantes que puede obtenerse sobre la línea de orilla, consiste en la dirección morfológica, que se determina variando la orientación de la línea de costa, hasta encontrar aquella que supone una tasa neta nula. Para calcular de forma sencilla las tasas de transporte se utilizará la formulación del CERC, incluida en el *Coastal Engineering Manual.*

De la caracterización granulométrica de la zona, puede extraerse un valor promedio de D_{50} cercano a 0.2 mm, a partir de donde se ha determinado el perfil de equilibrio.

Los valores de las tasas de transporte que se han obtenido del análisis local coinciden con los Estudios previos revisados, sobre todo en la zona del molo retenedor, que es el punto más estudiado a lo largo de los últimos años.

Se puede concluir del análisis de la evolución de las tasas de transporte a lo largo del litoral, que en el Puerto de Salaverry, una barrera total al paso de sedimentos retendría más de 1 millón de m^3 anuales. Dado que eso ya ha sucedido en el pasado con la construcción del molo retenedor y este en la actualidad se encuentra prácticamente colmatado, gran parte de esas tasas están sobrepasando el molo, lo cual genera graves problemas de aterramiento en la zona del canal de acceso.

Por otro lado, tras el puerto, al reducirse las tasas hasta Las Delicias, la zona en sombra genera un área de acumulación, que en la actualidad discurre a medias profundidades sin que dicho material se aprecia en la zona de las playas. Tras superar Las Delicias y hasta Buenos Aires, las tasas de transporte longitudinal aumentan claramente de nuevo, lo que genera un gradiente negativo, que se traduce en graves erosiones en la línea de costa en dicho tramo.

De Buenos Aires a Huanchaco, las tasas de transporte siguen aumentando, aunque a un ritmo menor, por lo que dicho tramo resulta nuevamente deficitario. Las erosiones que se van generando se trasladan de sur a norte a lo largo del tiempo, y en la actualidad se puede decir que ya han alcanzado la zona de Huanchaco.

En frente del Balneario de Huanchaco las condiciones son totalmente variables, pero en general, el déficit sedimentario que se viene arrastrando desde el sur, parece que no favorece a la estabilidad de las playas.

El análisis de los perfiles actuales de la playa sumergida a lo largo de todo el tramo de estudio, han mostrado que las fuertes erosiones generadas por el déficit de material sedimentado al sur del Puerto de Salaverry, no sólo se aprecian en el retroceso de la línea de costa, sino que son evidentes y claras en el perfil sumergido, sobretodo en el tramo que recorre la costa desde el Balneario de Las Delicias hasta el Balneario de Buenos Aires, estimando una pérdida de material sumergido por el incremento de la pendiente del talud de hasta 15 millones de m^3.

Las pendientes más pronunciadas se observan frente a Víctor Larco, en la zona donde existe el enrocado longitudinal, ya que las reflexiones que se generan incrementan la energía incidente, generando mayores erosiones, puesto que se reduce el efecto disipativo que ejercen las playas con una pendiente más suave. Con todo, lo que se consigue es frenar la erosión de la línea de costa, al menos temporalmente, pero se aceleran los procesos erosivos, por lo que no representa en ningún caso una solución sostenible.

A tenor de que ya se ha producido el colapso en algunos tramos del enrocado, cualquier solución planteada, deberá tener muy en cuenta la retirada de este tipo de obras de defensa, a la vez que se trate de recuperar en la medida de lo posible el perfil sumergido de playa, con la finalidad de recuperar el efecto disipativo de las pendientes más suaves.

Por último, para la validación del modelado numérico se han analizado los datos de oleaje procedentes de las mediciones de los equipos instalados en la zona de estudio. Para realizar un calibrado de datos sería necesario disponer del registro de aguas profundas contemporáneo con los datos medidos, cosa que no será posible. Sin embargo la gran similitud entre los datos medidos y los datos propagados dan crédito y validez a los datos locales obtenidos mediante las propagaciones exteriores.

De dicha validación, cabe decir que los valores medidos tienden a dar valores algo inferiores a los propagados. Sin embargo debe considerarse que los datos medidos tienen un registro demasiado corto para ser representativos, y por lo tanto es lógico que el régimen marcado por esos datos sea menos energético. Cuando se tenga un registro más largo de datos de medida se realizará un nuevo calibrado bajo el supuesto de que los dos regímenes se asemejen mucho más.

ANEXO I

SALIDAS GRÁFICAS DE PROPAGACIONES EXTERIORES

ANEXO II

SALIDAS GRÁFICAS DE PROPAGACIONES DE DETALLE

ANEXO III

SALIDAS GRAFICAS DE CORRIENTES

ANEXO IV

SALIDAS GRAFICAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

ANEXO V

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

VALEPORT

TideMaster

TideMaster has been designed to provide an accurate, versatile and easily deployed tide gauge for use in short or long term survey operations. Optional control/display panel, Bluetooth, SD card memory and optional weather sensor provide unrivalled functionality. Low power consumption and user selectable sampling regime allow for up to a year of autonomous operation, whilst optional telemetry packages extend the capabilities for real time operations. TideMaster is compatible with a wide range of hydrographic software and tools.

Pressure Transducer

Type:	Vented strain gauge, with stainless steel mounting bracket.
Range:	Standard 10dBar (approx 10m), with 20m cable. Other ranges and lengths available.
Accuracy:	±0.1% Full Scale.
Calibration:	Held within logging unit.
Dimensions:	18mm diameter x 80mm.

Weather Sensor Options

Windsonic Ultrasonic Anemometer

Wind Speed:	0-60m/s
Wind Direction:	0-359°
Calibration:	Held within sensor.
Dimensions:	142mm x 160mm.

MetPak II ™ Weather Station

Wind Speed:	0-60m/s
Wind Direction:	0-359°
Air Temperature:	-35°C to +70°C
Relative Humidity:	0 – 100% RH
Barometric Press:	600 – 1100hPa/mbar
Dew Point:	As per temperature range
Calibration:	Held within sensor.
Dimensions:	142mm x 274mm.

Logging Unit

Housing:	Injection moulded housing rated to IP67, with injection moulded mounting bracket.
Display:	Optional control/display (128x64 OLED) panel for system configuration and data display.
Power:	4 "C" cells within separate sealed compartment. Tool-less battery change. Alkaline cells provide power for up to a year of autonomous sampling
Memory:	512 MB SD card memory allowing for effectively unlimited data storage.
Sampling:	Raw data sampled at 8Hz, mean and standard deviation of burst samples is logged. 5 pre-programmed burst modes + custom sampling mode. Continuous Sampling Mode (1Hz)
Switching:	Power switch on unit.
Resolution:	Data logged to 1mm resolution.
Comms:	Integral Bluetooth for short range wireless communication RS232/RS485 for cabled communication
Dimensions:	Housing 52 mm x 144.5 mm x 197 mm. Bracket 35 mm x 210 mm x 159 mm. Mounted 61.5mm x 210 mm x 197 mm
Weight:	1.1 kg (approx) including batteries.

Radio Telemetry

Frequency:	Selectable frequency UHF synthesized radio transceiver, operating in UK licence exempt band (458.5 - 458.9 MHz).
Power output:	Supplied as nominal 100mW peak output.
RS232 output:	4800 baud, 8,1,N.
Aerials	
Transmitter:	¼ wave 'rubber duck' (standard, ~2km). 3dB omni-directional (option, ~10km)
Receiver:	3dB omni-directional.
Power input	
Transmitter:	External 12vDC supply.
Current:	0.04mA sleep, 120mA receive, 410mA transmit.
Receiver:	External 12vDC input
Current:	120mA receive, 410mA transmit.
Transmitter Physical	
Materials:	IP67 Black anodised aluminium box.
Size:	200mm x 200mm x 70mm.
Connectors:	To antenna, TideMaster & external power supply.
Receiver Physical	
Materials:	Desktop style anodised aluminium box.
Size:	200mm x 180mm x 70mm.
Connectors:	To antenna, 12vDC input & RS232 output.

GSM/GPRS/Bluetooth Telemetry

Please contact Valeport to discuss GSM/GPRS/Bluetooth telemetry requirements.

Software

System is supplied with TideMaster Express Windows based PC software, for instrument setup, data extraction and display. Tidemaster Express is licence free.

Ordering

0741001	TideMaster portable water level recorder. c/w wall mounting bracket and electronics/logger (**with display**) in rugged injection moulded housing with batteries. Supplied with Windows based TideMaster Express software and operating manual. (*Transducer option below required*)
0741002	TideMaster portable water level recorder c/w wall mounting bracket, electronics/logger (**without display**) in rugged injection moulded housing with batteries. Supplied with Windows based TideMaster Express software and operating manual. (*Transducer option below required*)
0741PT1D20	1 bar transducer c/w 20m cable and connector.

Datasheet Reference: TideMaster version 2A, Feb 2011

As part of our policy of continuing development, we reserve the right to alter at any time, without notice, all specifications, designs, prices and conditions of supply of all equipment

Valeport Limited, St. Peter's Quay Totnes, Devon, TQ9 5EW UK
t. +44 (0)1803 869292 f. +44 (0)1803 869293 e. sales@valeport.co.uk w. www.valeport.co.uk

Aquadopp® Profiler

A small and light current profiler for coastal measurements

Longer range with 400kHz!

The Aquadopp® profiler measures the current profile in water using acoustic Doppler technology. It is designed for stationary applications and can be deployed on the bottom, on a mooring rig, on a buoy or on any other fixed structure. It is a complete instrument and includes all the parts required for a self contained deployment with data stored to an internal data logger. Typical applications include coastal studies, online monitoring and scientific studies in rivers, lakes, and channels.

The Aquadopp® profiler uses three acoustic beams slanted at 25° to accurately measure the current profile in a user selectable number of cells. The internal tilt and compass sensors tell the current direction and the high-resolution pressure sensor gives the depth—and the tidal elevation if the system is fixed mounted. The standard 9 MB recorder and internal alkaline batteries are typically sufficient for a 2–4 month deployment.

Deployment times can be increased or sampling schemes intensified by expanding to 161 MB memory and external batteries.

Practical Use

One quick glance at the Aquadopp profiler tells you that it is a small and practical current profiler that is simple to deploy. It gives you the full current profile and it comes standard with all the trimmings such as a internal recorder, compass, tilt, pressure, temperature, software, cable, etc.

Go one step further into the system and you will find a host of new features:

- ✓Small blanking distances give you data close to the instrument
- ✓Small cell sizes even in high flows
- ✓Compass and tilt that automatically senses up or down orientation (use the profiler either way)
- ✓Adjustable power output reduces battery consumption in shallow water
- ✓All plastic and titanium parts, from 2.4kg in air
- ✓Flexible transducer design—order special heads at low additional cost
- ✓Powerful AquaPro Win32® software for trouble free deployment planning, recording, data retrieval, and ASCII conversion
- ✓Online data communication via radio modem
- ✓Collect directional wave data at 1Hz or 2Hz in between current profiles
- ✓Inquire for deep water versions

Wave Directional Data

The Aquadopp can be configured to collect 1Hz or 2Hz wave data (p,U,V) interleaved with the mean current profile. The 1Hz or 2Hz data allow you to calculate the wave height, period, and direction, either using Nortek add-on wave software or your own algorithms. The instrument is best suited for wave measurements in areas with long waves (Tp>4–5s). For other areas or for long-term online measurements, we suggest looking at the AWAC as an alternative.

Third Generation Current Profiler

Nortek is proud to be the first company that introduced a third generation current profiler. The first generation was the original ADCP, a bulky and expensive, but revolutionary instrument first introduced in 1982. The second generation profilers were introduced in 1994, which reduced the size,weight, and price by about 50%. The Aquadopp profiler, introduced in 2002, repeats the feat—a 50% reduction in size,weight, and price while producing the best performance, versatility and functionality yet.

NORTEK AS

www.nortek.no

Specifications

Water velocity measurement

Acoustic frequency	0.4MHz	0.6MHz	1.0MHz	2.0MHz
*Maximum profiling range**	60–90m	30–40m	12–20m	4–10m
Cell size	2–8m	1–4m	0.3–4m	0.1–2m
Minimum blanking	1m	0.50m	0.20m	0.05m
Maximum # cells	128			
Velocity Range	±10m/s (call for extended range)			
Accuracy	1% of measured value ±0.5cm/s			
Max. Sampling rate	1Hz			
Velocity uncertainty	Consult software program			

*) The Aquadopp profiler measures the current profile in a user specified number of cells from the instrument out to a maximum range that depends on the acoustic scattering conditions. The lower range should be expected with clear water and small cells and the higher range with large cells and acoustically turbid water.

Echo intensity

Sampling	Same as velocity
Resolution	0.45dB
Dynamic range	90dB

Transducer

Frequency	0.4MHz	0.6MHz	1.0MHz	2.0MHz
Number of beams	3	3	3	3
Beam width	3.7°	3.0°	3.4°	1.7°

Standard sensors

Temperature	Thermistor embedded
Range	–4°C to 30°C
Accuracy/resolution	0.1°C/0.01°C
Time response	10 min
Compass	Flux gate with liquid tilt
Maximum tilt	30°
Accuracy/resolution	2°/0.1°
Tilt	Liquid level
Accuracy/resolution	0.2°/0.1°
Up or down	Automatic detect
Pressure	Piezoresistive
Range	0–100m (standard)
Accuracy/resolution	0.25%/0.005% of full scale

Analog inputs

Number of channels	2
Voltage supply	Battery voltage. Hardware can be modified to provide 5V or 12V
Voltage input	0–5V
Resolution	16 bit A/D

Serial data communication

I/O	RS232, RS422. Software supports most commercially available USB–RS232 converters
Baud rate	300–115200 (user setting)

Internal recording

Capacity	9MB, expandable to 33, 89, or 161MB
Data record	32 bytes + 9×Ncells
Mode	Stop when full (default) or wrap mode

Software "AquaPro"

Operating system	Windows®2000, Windows®XP
Functions	Deployment planning, data retrieval, ASCII conversion, online data collection, and graphical display

Power

DC Input	9–16VDC
Max average consumption at 1Hz	0.2–1.5W
Sleep consumption	0.0013W
Transmit power	0.3–20W, 4 adjustable levels

Internal batteries

Type/capacity	18 AA Alkaline cells/50Wh
New battery voltage	13.5VDC
Duration (10-minute avg)	80 days for 2MHz, 0.5m cells
Duration (10-minute avg)	50 days for 1MHz, 1.0m cells

Exact battery consumption and velocity uncertainty are complex functions of the deployment configuration. Please consult the AquaPro software for more exact predictions.

Materials

Standard	Delrin and polyurethane plastics with titanium screws
Intermediate and deep-water models	Titanium and Delrin plastics

Connectors

Bulkhead (Impulse)	MCBH-8-FS
Cable	PMCIL-8-MP on 10-m polyurethane cable

Environmental

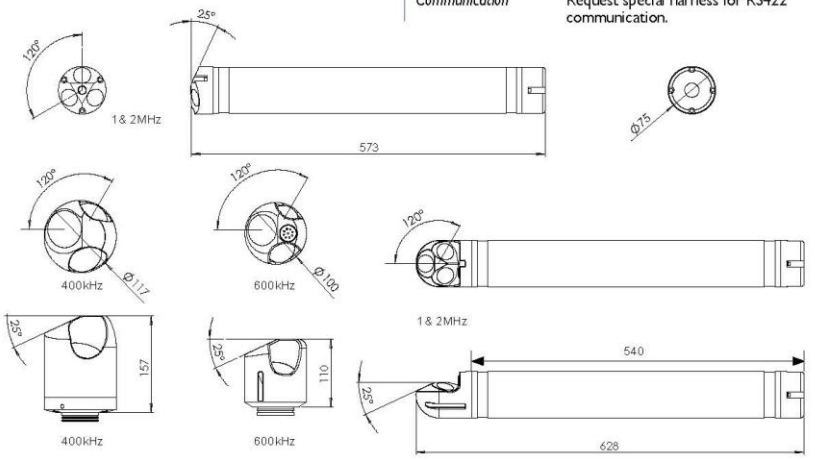
Operating temperature	–5°C to 35°C
Storage temperature	–20°C to 45°C
Shock and vibration	IEC 721–3–2
Shallow water rating	300m

Dimensions

Weight in air	2.4kg/2.6kg (0.6MHz)/3.7kg (0.4MHz) with alkaline batteries
Length	550mm
Diameter	75mm

Options

Batteries	Lithium, Li-Io rechargeable
External batteries	540Wh or 1200Wh
Bulkhead connectors	Titanium instead of bronze
Transducer head	Right angle head for 1 or 2MHz. Inquire for special configurations
Deep water systems	Inquire for 2000- & 6000-m versions
Communication	Request special harness for RS422 communication.



06.2006

www.nortek.no

NORTEK AS
Vangkroken 2
NO-1351 Rud
Norway
Tel: +47/ 6717 4500
Fax: +47/ 6713 6770
E-mail: inquiry@nortek.no

青岛诺泰克测量设备有限公司
地址：中国青岛香港西路65号
汇融广场1302
邮编：266071
Tel: 0532-85017570, 85017270
Fax: 0532-85017570
E-mail: inquiry@nortek.com.cn

NortekUK
Mildmay House, High St.
Hartley Wintney
Hants. RG27 8NY
Tel: +44- 1428 751 953
Fax: +44- 1428 751 533
E-mail: inquiry@nortekuk.co.uk

NortekUSA
222 Severn Avenue
Suite 17, Building 7
Annapolis, MD 21403
Tel: +1 (410) 295-3733
Fax: +1 (410) 295-2918
E-mail: inquiry@nortekusa.com
www.nortekusa.com

ANEXO VI

REGISTRO DE RESULTADOS DE LOS EQUIPOS

ANEXO VII

REPORTAJE FOTOGRÁFICO

Mareografo instalado en el puerto de Salaverry

Instalación del ológrafo-correntimetro