

EFFECTES DE LA DINÀMICA SEDIMENTÀRIA, L'ACTIVITAT ANTRÒPICA I L'ASCENS DEL NIVELL DEL MAR A LA PLATJA DE SANT PERE PESCADOR

Marina Climent Casals

Grau en Ciències Ambientals

marinacc_12@hotmail.com

Tutor: Manel Zamorano Caceres

Empresa / Institució: Àrea de Geodinàmica Externa. Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona.

Vist-i-plau tutor:

Nom del tutor: Manel Zamorano Caceres

Empresa / institució: Àrea de Geodinàmica Externa. Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona.

Correu electrònic: manel.zamorano@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 24/05/2018

AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull donar les gràcies al meu tutor, el Manel. Moltes gràcies per la dedicació, els consells, l'orientació i els dubtes resolts. A l'àrea de Geodinàmica Externa del departament de Ciències Ambientals pel material cedit per a la realització dels perfils topogràfics i les granulometries. I a la meva mare per la companyia en els dies de mostreig a la platja de Sant Pere Pescador.

A les meves companyes de pis i als meus companys de la universitat per la paciència, el suport i els moments compartits durant tots aquets anys.

Per últim, vull donar les gràcies a la família i als bons amics per fer-me costat al llarg de tota la meva vida, per confiar en mi i compartir-ho tot.

- RESUM -

La platja de Sant Pere Pescador es troba a la comarca de l'Alt Empordà i és la unitat més llarga del golf de Roses. Igual que passa a la resta del litoral català és una franja del territori de la qual els humans n'extraiem un gran benefici. En aquesta platja dominen l'ús turístic, el recreatiu, les activitats nàutiques i les esportives.

En aquest treball final de grau es miren els efectes de la dinàmica sedimentaria, l'activitat antròpica i l'ascens del nivell del mar. Per fer-ho es determina l'estat actual de la platja mitjançant fotografies aèries i perfils topogràfics, les característiques del sediment mitjançant l'anàlisi granulomètric per tamisat, s'avalua la cobertura vegetal i l'estat del sistema dunar, s'estableix l'evolució de la línia de costa i el balanç sedimentari. També s'individualitzen les àrees de la platja amb característiques diferents entre el sector nord, el sector central i el sector sud.

S'observa com les àrees adjacents a la platja han estat antropitzades, pels conreus i els càmpings, i com les morfologies naturals són minoritàries. A més a més, la majoria de formes dunars estan en formació. Per altra banda, les característiques de la platja presenten un gradient del sector nord al sector sud a causa de: la incidència eòlica, l'aportació de sediments i la taxa evolutiva de la línia de costa. El sector central és una zona d'interfase.

Respecte a la dinàmica sedimentaria, aquesta s'ha vist modificada antròpicament per la construcció de l'embassament de Darnius-Boadella en la Muga i per la modificació dels meandres del riu Fluvià. A més a més, el balanç sedimentari és negatiu i el volum de sediments dels quals disposa la platja s'ha vist reduït, augmentant la seva vulnerabilitat de cara al futur. Tot i això, per ara, la vulnerabilitat del sistema dunar és mitjana baixa.

Pel que fa a la línia de costa, ha retrocedit en les últimes dècades però només el 13,21 % del retrocés que ha patit es deu a la pujada del nivell del mar. L'altre 86,79 % és causa de la deriva litoral i dinàmica sedimentaria modificada per l'activitat antròpica.

Per tant, l'activitat antròpica és la que genera majors efectes sobre la platja i ha modificat la dinàmica sedimentaria. En canvi, la pujada del nivell del mar, conseqüència del canvi climàtic produït pels humans, afecta en menor mesura a la platja.

- RESUMEN -

La playa de Sant Pere Pescador se encuentra en la comarca del Alt Empordà y es la unidad más larga del golfo de Roses. Igual que pasa al resto del litoral catalán es una franja del territorio de la cual los humanos extraemos un gran beneficio. En esta playa dominan el uso turístico, el recreativo, las actividades náuticas y las deportivas.

En este trabajo final de grado se miran los efectos de la dinámica sedimentaria, la actividad antrópica y el ascenso del nivel del mar. Para hacerlo se determina el estado actual de la playa mediante fotografías aéreas y perfiles topográficos, las características del sedimento mediante el análisis granulométrico por tamizado, se evalúa la cobertura vegetal y el estado del sistema dunar, se establece la evolución de la línea de costa y el balance sedimentario. También se individualizan las áreas de la playa con características diferentes entre el sector norte, el sector central y el sector sur.

Se observa como las áreas adyacentes en la playa han sido antropizadas, por los cultivos y los campings, y como las morfologías naturales son minoritarias. Además, la mayoría de formas dunares están en formación. Por otro lado, las características de la playa presentan un gradiente del sector norte al sector sur debido a: la incidencia eólica, la aportación de sedimentos y la tasa evolutiva de la línea de costa. El sector central es una zona de interfase.

Respecto a la dinámica sedimentaria, esta se ha visto modificada antrópicamente por la construcción del embalse de Darnius-Boadella en la Muga y por la modificación de los meandros del río Fluvià. Además, el balance sedimentario es negativo y el volumen de sedimentos de los cuales dispone la playa se ha visto reducido, aumentando su vulnerabilidad de cara al futuro. Pese a esto, por ahora, la vulnerabilidad del sistema dunar es mediana baja.

En cuanto a la línea de costa, ha retrocedido en las últimas décadas pero sólo el 13,21 % del retroceso que ha sufrido se debe a la subida del nivel del mar. El otro 86,79 % es causa de la deriva litoral y dinámica sedimentaria modificada por la actividad antrópica.

Por lo tanto, la actividad antrópica es la que genera mayores efectos sobre la playa y ha modificado la dinámica sedimentaria. En cambio, la subida del nivel del mar, consecuencia del cambio climático producido por los humanos, afecta en menor medida a la playa.

- SUMMARY -

The beach of Sant Pere Pescador is in the Alt Empordà region and is the longest unit in the Gulf of Roses. As it happens to the rest of the Catalan coast, it is a part of the territory from which humans extract a great benefit. In this beach dominates the tourist use, recreational, nautical activities, and sports.

This final degree project looks at the effects of sedimentary dynamics, anthropic activity and the rise in sea level. In order to do so, the current state of the beach is determined by aerial photographs and topographic profiles, the characteristics of the sediment by granulometric analysis by sieving, the vegetation cover and the state of the dune system are evaluated, the evolution of the coastline and the sedimentary balance. The areas of the beach with different characteristics are also individualized between the north sector, the central sector, and the south sector.

It is observed how the adjacent areas on the beach have been anthropized, for crops and campsites, and how natural morphologies are minority. In addition, most dune forms are under training. On the other hand, the characteristics of the beach have a gradient from the northern sector to the southern sector due to: the wind incidence, the contribution of sediments and the evolutionary rate of the coastline. The central sector is an interface zone.

Regarding the sedimentary dynamics, this has been modified anthropically by the construction of the Darnius-Boadella reservoir in the Muga and by the modification of the meanders of the Fluvià river. In addition, the sedimentary balance is negative and the volume of sediments available to the beach has been reduced, increasing its vulnerability for the future. In spite of this, for now, the vulnerability of the dunar system is medium-low.

As for the coastline, it has regressed in recent decades but only 13.21% of the decline it has suffered is due to the rise in sea level. The other 86.79% is the cause of coastal drift and sedimentary dynamics modified by anthropic activity.

Therefore, anthropic activity is the one that generates the greatest effects on the beach and has modified the sedimentary dynamics. On the other hand, the rise in sea level, that is the consequence of climate change produced by humans, affects the beach to a lesser extent.

ÍNDEX

Pàgina

1.- INTRODUCCIÓ	2
1.1.- ÀREA D'ESTUDI	2
2.- OBJECTIVES	4
3.- MATERIAL I MÈTODES	4
3.1.- ESTAT ACTUAL DE LA PLATJA.....	5
3.2.- ANÀLISI GRANULOMÈTRIC	5
3.3.- AVALUACIÓ DE L'ESTAT DE VULNERABILITAT DEL SISTEMA DUNAR	6
3.4.- EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE COSTA.....	6
3.5.- BALANÇ SEDIMENTARI.....	7
4.- RESULTATS.....	8
4.1.- ESTAT ACTUAL DE LA PLATJA.....	8
4.2.- CARACTERÍSTIQUES DEL SEDIMENT	12
4.3.- COBERTURA VEGETAL DEL SISTEMA DUNAR.....	14
4.4.- VULNERABILITAT DEL SISTEMA DUNAR	14
4.5.- EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE COSTA.....	16
4.6.- BALANÇ SEDIMENTARI.....	19
5.- DISCUSSIÓ	20
5.1.- ESTAT DE LA PLATJA	20
5.1.1.- SECTOR NORD	21
5.1.2.- SECTOR CENTRAL	21
5.1.3.- SECTOR SUD	22
5.2.- VULNERABILITAT DEL SISTEMA PLATJA-DUNA	23
5.3.- EVOLUCIÓ DE LA PLATJA.....	24
6.- CONCLUSIONS	26
7.- BIBLIOGRAFIA.....	27

1.- INTRODUCCIÓ

La costa ha estat des de sempre una franja de territori de la qual l'home ha extret un gran benefici, tant pels recursos naturals i valors paisatgístics com per ser una zona de generació d'una gran part d'activitats d'esbarjo com el turisme. Això a portat al fet que s'hi concentri bona part de la població mundial sense ser una excepció Catalunya (CIIRC, 2010).

El litoral català és un motor de l'economia de sol i de platja que ha patit un procés d'urbanització en la seva línia de costa per tal d'explotar aquests recursos. Aquest procés ha estat en detriment dels ecosistemes costaners amb el sacrifici d'espais naturals de rellevància, com ara les zones humides, les platges i les cales, i els sistemes platja-duna, espais del pivotatge d'aquesta nova economia litoral, i alhora espais força fràgils i dinàmics, on qualsevol alteració pot conduir a la seva ràpida degradació i/o desaparició (Brown i McLachlan, 1990).

A l'explotació turística, les activitats antròpiques i les dinàmiques sedimentaria, cal sumar-li el canvi climàtic i la pujada del nivell del mar (Instituto Español de Oceanografía, 2007) que s'espera que faci retrocedir el límit de la línia de costa. De manera que, aquestes dinàmiques canviants tinguin efectes sobre l'estat de les platges.

1.1.- ÀREA D'ESTUDI

La platja (Figura 1) estudiada pertany al municipi de Sant Pere Pescador i es troba en la comarca de l'Alt Empordà, a Catalunya. Està compresa entre la gola del Fluvià, al nord, i el Rec de Riu Vell (antiga desembocadura del Fluvià) arriba fins a la punta de Sant Martí, més al sud.

És la unitat més llarga del sistema del golf de Roses, el qual no presenta confinament als seus extrems per l'antropització de les sortides fluvi-torrencials (Roig i Munar, 2008). Tot i això, el Rec Vell, a la seva sortida a la mar, presenta fort encaixament en meandres relativament poc actius. El contacte entre les formes dunars i els meandres han estat trencats per la construcció de càmpings, fet que interromp qualsevol procés de corredor ecològic entre litoral i zones internes, a diferència d'altres zones més degradades. Per tant, en la platja de Sant Pere Pescador hi ha un dinamisme entre l'entorn l'urbà, a causa dels càmpings, i el natural, degut a la mateixa platja.



Figura 1.- Localització de la platja, en taronja, sobre el mapa topogràfic de la zona.
Font: ICGC, 2016. Modificada.

Per altra banda, pel que fa als usos, dominen l'ús turístic i el recreatiu, sense deixar de costat les activitats nàutiques i esportives com el kit surf, la vela o els passejos a cavall per la línia de costa. El grau d'ocupació de la platja és mitja i no consta que hi hagi cap sistema de gestió/certificació, tampoc de port ni de zona d'ancoratge. Però sí que hi ha un pla d'usos d'aquesta amb diverses concessions: dutxes i papereres, quiosc-bar, lloguer d'hamaques i para-sols, lloguer d'embarcacions de vela, material de surf, patins o caiac de mar, espai de pràctica d'esports nàutics i escola de vela municipal. Respecte les infraestructures, no presenta il·luminació artificial ni pàrquings (excepte els que són dels càmpings) però sí camins d'accés. Hi ha serveis sanitaris, de neteja i de salvament i socorrisme. Per altra banda hi ha certs conflictes d'ús entre els pescadors de la platja i les activitats de surf. Així com hi ha afectacions relacionades amb l'atermenament del domini públic en el riu.

Relatiu als aspectes mediambientals, la platja forma part a la massa d'aigua costanera de Sant Pere Pescador – Fluvià segons l'ACA i presenta figures de protecció com són: la d'espai natural de protecció especial (ENPE), la Xarxa Natura 2000 (ES0000019) i el Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà. Respecte els habitats terrestres presents hi ha els següents: 15a, 15c, 15d, 16a, 16b, 24c, 38c, 53a, 82a1, 82b, 82c, 83b, 86a, 87a i 87b. Com a habitat d'interès comunitari hi ha el 1240, així com zones humides catalogades. La zona està inclosa en el PDU SC (U, UD, C1, C2, CPEIN) però no està inclosa en l'Inunecat (CIIRC, 2010).

També cal considerar que, geològicament, la platja es troba a la plana deltaica de Roses (Figura 2), la qual és una fosa tectònica neògena, reblida per sediments al·luvials i col·luvials. Corresponent aquests sediments a les aportacions dels rius Fluvià, Muga i Ter en règim de funcionament meandriforme i alts cabdals amb aportació d'abundant sediment de gra fi d'origen terrigen. Per tant, la zona plana de l'Alt Empordà està formada principalment pels dipòsits fluvials i deltaics dels rius que han desenvolupat un paper molt important en la gènesi, la distribució i l'evolució de les platges i les dunes. En la zona litoral, als materials sedimentaris que formen el sistema platja-duna, cal sumar-hi la incorporació de bioclastos marins. La platja en concret està formada per arenes de gra mitjà i fi amb alguns materials litoclàstics arrodonits (Sanjaume i Gracia, 2011).

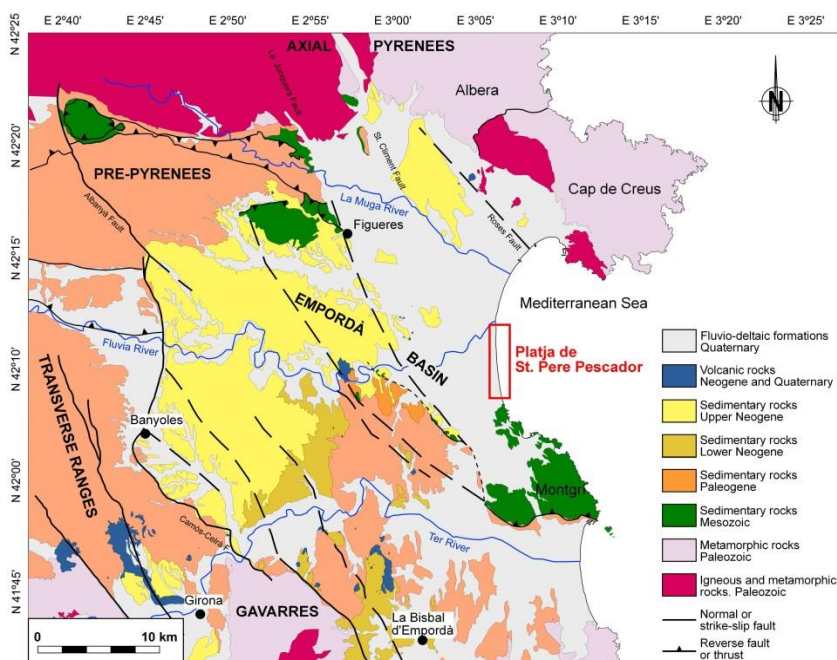


Figura 2.- Mapa geològic de la plana deltaica de Roses.
Font: Mas-Pla et al., 2016. Modificada.

Finalment, les dunes de la platja de Sant Pere Pescador es troben paral·leles a la línia de costa i sense confinament en el seu extrem nord. El conjunt del sistema platja-duna es troba amb una orientació N-NO S-SE que coincideix pràcticament amb la direcció dels vents de tramuntana, els quals no han estat interferits per pantalles urbanístiques, seguint d'aquesta manera la dinàmica de transport de sorra al llarg de la línia de costa donant lloc a un camp de dunes transversal que migren cap al sud. Per tant, es tracta d'un tram amb fort desplaçament de materials arenosos en direcció S-SE, produint camps de morfologies dunars de forma ondulada, amb cretes i depressions transversals a la línia de costa. Aquesta platja consta d'un dels dos sistemes dunar actius que hi ha a l'Empordà, sent aquest el més actiu.

En el 2008 es van diferenciar tres unitats morfològiques en la platja (Roig i Munar, 2008). Això es va fer per visualitzar quins comportaments havia experimentat el sistema dunar en relació als processos d'artificialització a peu de platja i les gestions realitzades a la platja i a les zones interdunars. Aquestes unitats morfològiques són les següents:

1. Sistema platja-duna de Sant Pere Pescador: Sector al nord de la platja on es troba el desenvolupament dels majors trens de dunes mòbils en la platja alta.
2. El sistema platja-duna de la Cagarra o Martinet: Tractat com a tram central, i a l'hora diferencial, ja que representa la interfase entre dos sectors amb estats de conservació de diferent regressió.
3. El sistema platja-duna de Les Dunes: Sector sud i força desestructurat amb processos accelerats de desaparició del conjunt del sistema per motius de caràcter urbà en el 2008.

2.- OBJECTIVES

The main objective of this work is to diagnose the conservation state of the Sant Pere Pescador beach and predict its future evolution. The specific objectives are the following:

- Evaluate the current morphology of the beach, identifying areas with different characteristics.
- Determine the granulometric changes of the sediment by sieving analysis.
- Evaluate the vulnerability of the dunar system.
- Establish the evolution of the beach from aerial photographs of different years, to predict future evolution and understand the causes of that.
- Calculate the progradation/retreat rates of the different sectors of the beach and the volumes gained or losses of sediment.
- Relate the evolution of the beach with the sedimentary dynamics, the anthropic activity and the rise of sea level.

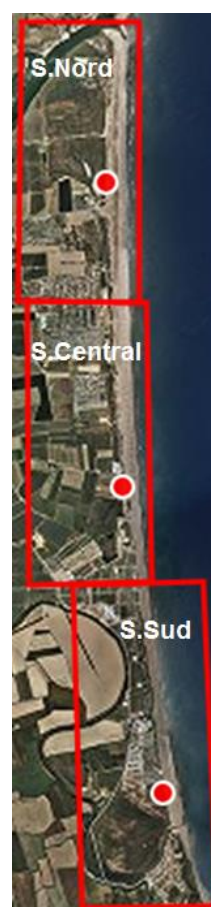


Figura 3.- Sectors i punts de mostreig.
Font: ICGC, 2016.
Modificada.

3.- MATERIAL I MÈTODES

Aquest treball s'ha realitzat seguint criteris de sostenibilitat i ètica, respectant l'entorn estudiat i intentant malmetre el mínim el sistema dunar i la seva cobertura vegetal.

Per assolir els objectius d'aquest estudi, s'han aplicat diferents mètodes de treball de camp, de gabinet i de laboratori que es detallen a continuació.

3.1.- ESTAT ACTUAL DE LA PLATJA

Per a la descripció s'ha tingut en compte els tres sectors individualitzats fa 10 anys (Roig i Munar, 2008). El sector nord (de 0 a 2200 m), sector central (de 2200 a 4400 m) i sector sud (de 4400 a 6911 m).

Per determinar les característiques morfològiques de la platja, en primer lloc, s'ha cartografiat, des de la línia de costa fins a 800 metres terra endins, a partir de mapes topogràfics i ortofotos disponibles de l'any 2017 a l'aplicació VISSIR v3.26 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Un cop cartografiada la zona s'han perfilat les cartografies amb l'aplicació InstaMaps també de l'ICGC. Finalment s'han extret les cartografies en forma de mapa amb el programa ArcGis. En segon lloc, a partir dels mateixos mapes topogràfics i ortofotos s'han calculat els paràmetres que determinen les característiques bàsiques de la platja: longitud, amplada, orientació mitjana i superfície (CIIRC, 2010). Utilitzant les eines de l'aplicació VISSIR v3.26 de ICGC. Per altra banda, l'altura de la berma i el pendent d'estran s'han determinat a partir de mesures realitzades *in situ* a la platja.

També s'han elaborat tres perfils topogràfics per a determinar les característiques geomorfològiques en secció transversal de la platja en els punts de mostreig. Un perfil en cadascun dels tres sectors determinats anteriorment.

Per a establir les cotes altimètriques s'ha utilitzat un nivell làser de precisió (0,3mm/m), cinta mètrica, metre de fusta extensible, dispositiu receptor GPS i brúixola amb clinòmetre. El procediment (Figura 4) s'ha repetit fins recórrer perpendicularment tot el perfil de la platja. Les dades obtingudes s'han tractat amb el programa Excel.

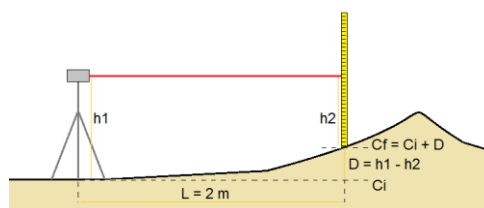


Figura 4.- Representació del procediment per realitzar el perfil topogràfic.

3.2.- ANÀLISI GRANULOMÈTRIC

Amb l'objectiu de determinar les característiques del sediment s'ha realitzat una anàlisi granulomètrica, de la sorra de la platja alta i de les dunes davanteres, de cadascun dels sectors. S'ha seguit la norma UNE-EN 932-2:1999.

El material necessari que s'ha utilitzat per a l'anàlisi granulomètric ha estat el següent: sis bosses de plàstic, un retolador permanent, una pala, espàtules, una estufa de dessecació, safates metàl·liques, una balança digital, tamisadora i tamisos de diferents llums de pas (2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm i 0,063 mm).

Sobre la línia on s'ha realitzat el perfil topogràfic de cada sector s'han pres dues mostres de sorra, una de la platja alta i una altra de la duna davantera. En total, sis mostres de sorra recollides de forma superficial. Al laboratori, s'han assecat les mostres en l'estufa durant 24 h a 60°C i s'han utilitzat 600 g de sorra per a cada punt. S'han apilat els tamisos a la tamisadora situant el de major llum de pas dalt de tot i progressivament cap avall els de menor llum de pas. S'ha tamisat cadascuna de les mostres per separat, amb vibració i intervals de valor 1, durant 2 minuts. Un cop fet això, s'ha pesat la mostra que ha quedat retinguda en cada tamís. Finalment, s'han tractat els resultats amb el programa Excel.

3.3.- AVALUACIÓ DE L'ESTAT DE VULNERABILITAT DEL SISTEMA DUNAR

En cadascun dels tres sectors determinats anteriorment s'ha avaluat l'estat de les dunes segons l'índex de vulnerabilitat de Garcia Mora et al., 2001, utilitzat també el Manual de restauració de dunes costeres (Ley et al., 2007). L'índex de vulnerabilitat fes refereix a la capacitat de resposta del sistema dunar davant del conjunt de variables biològiques i ambientals. En ell es consideren els diversos processos que interactuen i determinen l'evolució de la costa. Per això, per al seu càlcul s'utilitzen 54 variables descriptives del sistema dunar. Aquestes s'agrupen en funció del tipus de procés en el qual s'integren: geomorfo-sedimentari (IGD), incidència marina (IIM), incidència eòlica (IIE), cobertura vegetal (ICV), i pressió d'ús (IPU). El valor de 0 a 4 s'assigna en funció d'un valor físic quantitatiu de la variable, de manera que el valor 0 correspon la condició òptima i el 4 a la condició més desfavorable.

Per tal, de poder valorar l'índex de cobertura vegetal (ICV) s'ha hagut de classificar la vegetació del sistema dunar en tres tipologies: I, II i III (Ley et al., 2007). La vegetació tipus I denota alta estabilitat del sistema dunar. Es caracteritza per plantes anuals, amb fulles mèsiques, biomassa subterrània de poc gruix i altura de la biomassa aèria igual o inferior a 15 cm. La vegetació tipus II permet fixar sorra però no afavoreix el creixement d'estructures dunars. Es caracteritza per plantes anuals o perennes, de fulles dures, suculentes o pubescents, i biomassa subterrània gruixuda i ramificada. La vegetació tipus III afavoreix el creixement i desenvolupament d'estructures d'acumulació, es a dir, el creixement de les dunes.

A partir de les llistes de control (Ley et al., 2007), s'obtenen uns valors parcials de la vulnerabilitat que corresponen a cada grup de variables en cada sector. L'índex de vulnerabilitat parcial (IV_p) es calcula com a fracció entre el sumatori dels valors assignats (V_i) i el sumatori dels valors màxims possibles de cada grup de variables (V_{pmax}). L'índex de vulnerabilitat (IV) es calcula com s'especifica a la fórmula pertinent.

$$IV_p = \frac{\sum V_i}{\sum V_{pmax}} \quad IV = \frac{IV_{IGD} + IV_{IIM} + IV_{IIE} + IV_{ICV} + IV_{IPU}}{5}$$

El valor dels índex de vulnerabilitat varien entre 0 i 1, representant el 0 la menor capacitat d'impactes, per tant l'estat òptim, i el valor 1 la major capacitat d'impacte, per tant pitjor estat i major vulnerabilitat.

3.4.- EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE COSTA

Per tal d'establir l'evolució de la platja referent a la línia de costa al llarg dels anys, en primer lloc, per tal d'obtenir les dades a tractar, s'ha resseguit el límit entre el mar i la platja en els anys 1945, 1956, 1986/1987, 1997, 2006 i 2017. Això s'ha realitzat a partir d'ortofotos disponibles a l'aplicació VISSIR v3.26 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) a escala 1:5.000. També s'han extret les cartografies en forma de mapa amb el programa ArcGis.

La intenció inicial era tractar les línies de costa cada 10 anys exactes des del 1945 fins a l'actualitat. Per falta d'ortofotos no ha estat així i s'ha hagut de fer amb la informació disponible. De tal manera que per aconseguir la línia de costa dels anys 80, de tota la platja de Sant Pere Pescador, s'ha hagut d'unir la informació d'ortofotos dels anys 1986 i 1987.

Respecte a la precisió de les dades, hi ha dues possibles fonts d'error segons (CIIRC, 2010). La primera es refereix a la resolució de la foto, però tenint en compte que s'ha

treballat amb ortofotos de l'ICGC a escala 1:5.000 s'assumeix que l'error inherent és d'1 m, i que a mesura que augmenta l'escala també ho fa l'error. La segona font d'error aniria associada a la mateixa definició de la línia de costa. Ara bé, s'assumeix que la indeterminació horitzontal en la línia de costa és d'uns 2,5 m.

Un cop resseguida la línia de costa dels diferents anys, s'ha definit una línia de control paral·lela a l'orientació de la línia de costa, que ha estat la línia resultant de mesurar la longitud mitjana de la platja. Cada 200 metres s'ha calculat, amb l'aplicació InstaMaps, i representat la distància a la qual es troba la línia de costa de cada any respecte a la línia de control. Amb el mètode LR utilitzant la mitjana de les posicions de la línia de costa per cada any i fent una regressió lineal per mínims quadrats, amb el programa Excel, s'ha obtingut l'equació que dona la taxa evolutiva de la línia de costa al llarg dels anys. Aquest mateix procediment s'ha repetit pels tres sectors de la platja.

3.5.- BALANÇ SEDIMENTARI

S'ha determinat a partir de la hipòtesi més habitual utilitzada en els models d'evolució costera lineal. Aquesta hipòtesi assumeix que els canvis en la línia de costa han estat fruit de l'existència d'un gradient de transport longitudinal de sediments al llarg de la costa. Aquesta hipòtesi en la platja de Sant Pere Pescador té la seva lògica per dos motius principals: la desembocadura del Fluvià al nord de la platja i la deriva litoral, de nord a sud.

En el model utilitzat per els Aspectes metodològics de l'estat de la zona costanera a Catalunya (CIIRC, 2010) es suposa que el desplaçament experimentat per la línia de costa (ΔX), o taxa evolutiva, és igual al desplaçament horitzontal del de platja paral·lel a si mateix, de manera que mantindria la forma constant i, conseqüentment, l'increment del volum experimentat pel perfil (ΔV). D'aquesta manera, el balanç sedimentari s'obté del resultat de la següent fórmula.

$$\Delta V = \Delta X \cdot \Delta L \cdot (d_c + B)$$

En aquest cas, els valors utilitzats de la profunditat activa o profunditat de tancament ($d_c = 8,89$ m) i de l'altura de la berma ($B = 1,55$ m) han estat extrets de la fitxa descriptiva de la platja de Sant Pere Pescador (CIIRC, 2010). S'assumeix que els valors d'aquestes variables no han canviat des del 2010. El valor de la longitud (ΔL) fa referència a la longitud del tram estudiat. Per tant, aplicant la fórmula del balanç sedimentari, s'obté l'increment de volum experimental pel perfil (ΔV) per al total de la platja, i també per a cadascun dels sectors en funció de la seva taxa evolutiva particular.

4.- RESULTATS

4.1.- ESTAT ACTUAL DE LA PLATJA

La cartografia resultant (Figura 5), feta a partir de mapes topogràfics i ortofotos del 2017 disponibles a l'aplicació VISSIR v3.26 de ICGC, es troba en la pàgina 9. Està subdividida en tres mapes, un per cadascun dels tres sectors. En ella es poden apreciar els diferents elements morfològics que ocupen la platja 800 m endins des de la línia de costa.

El sector nord, respecte a les dunes presenta dunes davanteres en tota la seva extensió i a diferència de sector central té dunes semi estabilitzades. També en té algunes de tipus transversal. Cal també considerar el menor grau d'infraestructures construïdes tocant a la platja. El sector central és el que té més dunes de tipus transversal i igual que en els altres sectors presenta dunes davanteres en tota la seva extensió. No té dunes semi estabilitzades, ni estabilitzades. Bona part de la zona posterior a les dunes davanteres ha estat antropitzada amb camps de cultiu i càmpings. El sector sud té dunes transversals, davanteres, semi estabilitzades i estabilitzades. Però no hi ha un cordó dunar paral·lel complet. Abans de la desembocadura presenta unes poques dunes transversals i dunes davanteres en tota l'extensió del sector. Després de la desembocadura és on es troben les dunes semi estabilitzades i estabilitzades. Pràcticament tota la zona posterior a les dunes davanteres ha estat antropitzada afavorint la desestructuració del sistema dunar.

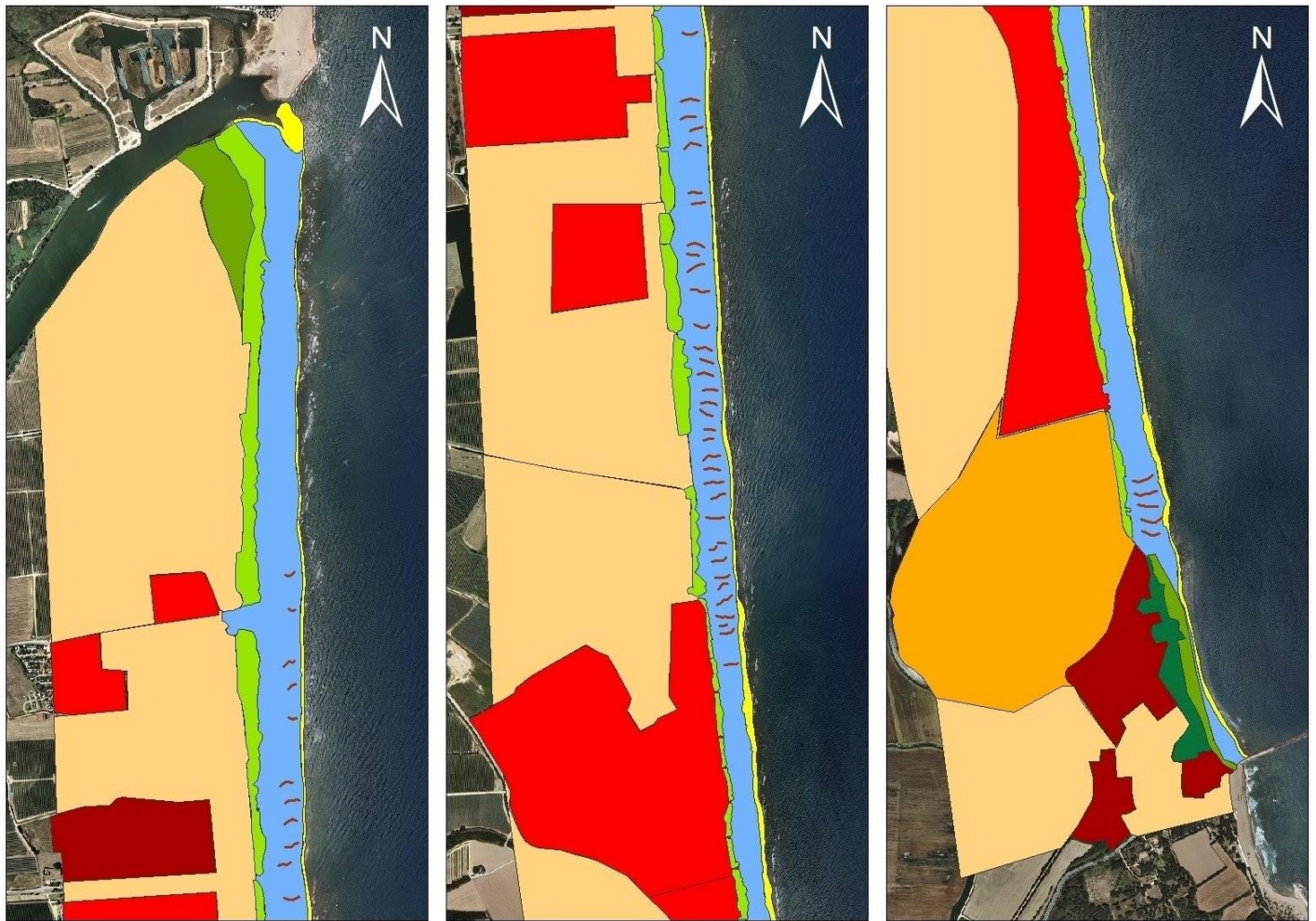
Per altra banda, en la taula 1, es mostra la superfície que ocupen aquestes mateixes morfologies en el total de la platja. S'aprecia com de tota la superfície de 5.022.247 m², el 72,54 % dels metres quadrats són ocupats per la zona antropitzada, urbanitzada i de càmping. En aquest espai hi ha dualitats entre els càmpings, els camps de cultiu, per exemple de colza, i els arbres fruiters, com els pomers; així com alguns petits reductes de vegetació característica de les zones humides, els prats i els herbassars.

Només el 27,46 % del territori, està ocupat per morfologies naturals, i gairebé un 30% d'aquest correspon a l'àrea ocupada pels sediments al·luvials lligats als meandres del Riu Vell. En relació a la superfície ocupada per diferents formes dunars dominen amb un 65,50 % les dunes davanteres, seguides de les dunes semi estabilitzades amb un 23,19 % i finalment de les estabilitzades amb un 11,31 %. S'aprecia doncs, com la majoria de morfologies dunars estan en formació.

Taula 1.- Superfície (m²) ocupada per cada morfologia.

	Superfície (m²)
Platja baixa	82.271
Platja alta	615.448
Dunes davanteres	176.370
Dunes semi estabilitzades	62.446
Dunes estabilitzades	30.447
Zona antropitzada, urbanitzada i càmpings	3.642.925
Sediments al·luvials	412.340

ELEMENTS MORFOLÒGICS DE LA PLATJA DE SANT PERE PESCADOR













Sector Nord

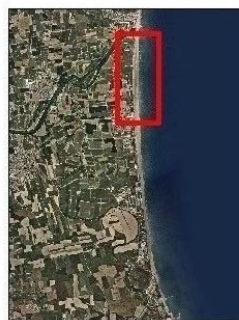
Sector Central

Sector Sud

0 0,125 0,25 0,5 km

Llegenda

-  Dunes transversals
-  Dunes davanteres
-  Dunes semi estabilitzades
-  Dunes estabilitzades
-  Platja baixa
-  Platja alta
-  Zona antropitzada
-  Zona urbanitzada
-  Zona de càmpings
-  Sediments al·luvials



Sector Nord



Sector Central



Sector Sud

Figura 5.- Cartografia dels elements morfològics de la platja de Sant Pere Pescador.

En la taula 2 i 3, es mostren els resultats dels paràmetres que determinen les característiques bàsiques de la platja. La longitud és de gairebé 7 km, el 88,21 % la superfície ocupada pel total de la platja correspon a la platja alta i només l'11,79 % a la platja baixa. En relació, a l'amplada de la platja alta és pot apreciar com és mínima amb 2 m a l'extrem sud, un cop passada la sortida del Riu Vell al mar, i màxima en el sector nord amb 126 m. De mitjana, presenta una amplada de 87 m, i una orientació de 173,61°.

L'alçada mitjana de la berma és de 0,40 m. Com més al sud de la platja, major és l'alçada d'aquesta. En els tres sectors l'alçada mínima de la berma està per sota del nivell del mar. En relació al pendent d'estrans, amb la mitjana dels pendents dels tres sectors, s'obté que és de 3,95°. Com més al sud de la platja, menor és el pendent d'estrans.

Taula 2.- Dimensions de la platja

Longitud (m)	Mitjana	6.911
Superfície (m²)	Platja baixa	82.271
	Platja alta	615.448
	Total	697.720
Amplada (m) (Platja alta)	Mínima	2
	Màxima	126
	Mitjana	87
Orientació mitjana de la platja (°)	N-NO S-SE	173,61

Taula 3.- Alçada de berma (m) i pendent d'estrans (°) de la platja.

		S. N.	S. C.	S. S.	Mitjana
Alçada de berma (m)	Mín.	-0,26	-0,07	-0,48	-0,27
	Màx.	0,05	0,34	0,00	0,13
	Δh	0,31	0,41	0,48	0,40
P. d'estrans (°)		4,44	3,97	3,44	3,95

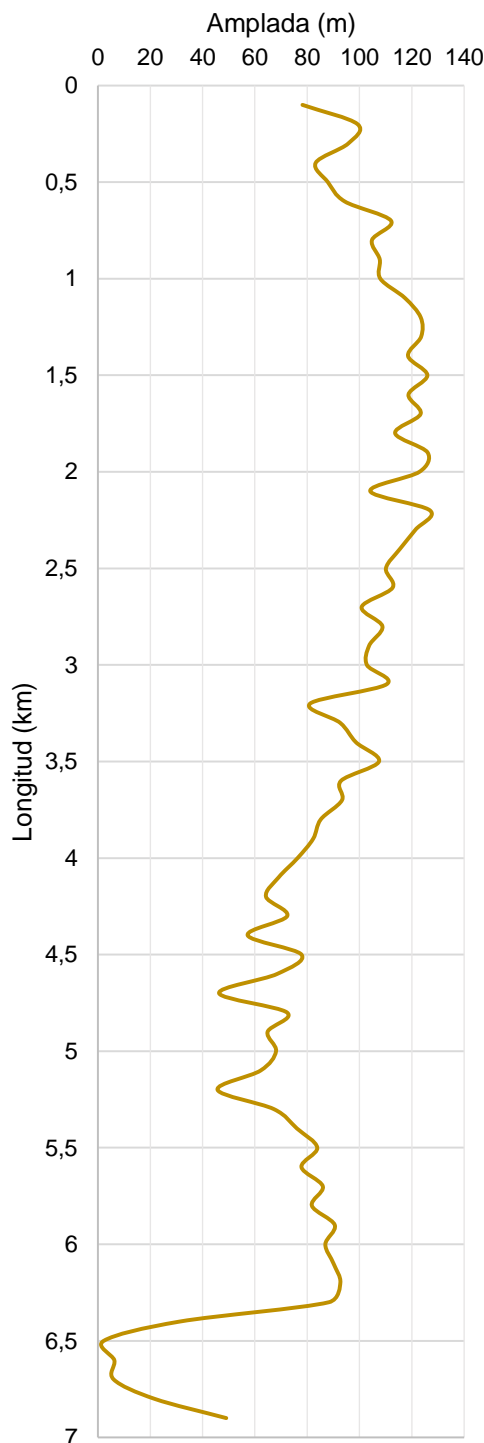


Figura 6.- Amplada (m) de la platja, de nord a sud, segons la longitud (km).

En la figura 6, en forma de gràfic, hi ha representades de nord a sud les amplades de la platja alta de Sant Pere Pescador en el total de la seva longitud. Si es pren la longitud inicial (0 km) com el nord de la platja, fàcilment s'aprecia com és en aquest sector nord on les amplades són majors i com aquestes presenten una tendència negativa a mesura que s'avança cap al sud. De manera que les amplades del sector central són intermèdies i finalment les del sector sud són les més baixes, sobretot després de la sortida del Riu Vell al mar.

Per altra banda, les característiques geomorfològiques actuals, en secció transversal, de la platja de Sant Pere Pescador es troben de manera gràfica a continuació. En funció de

l'alçada (m) i la distància horitzontal (m), en la figura 7, hi ha representats els perfils topogràfics de la platja en el sector nord, el sector central i el sector sud.

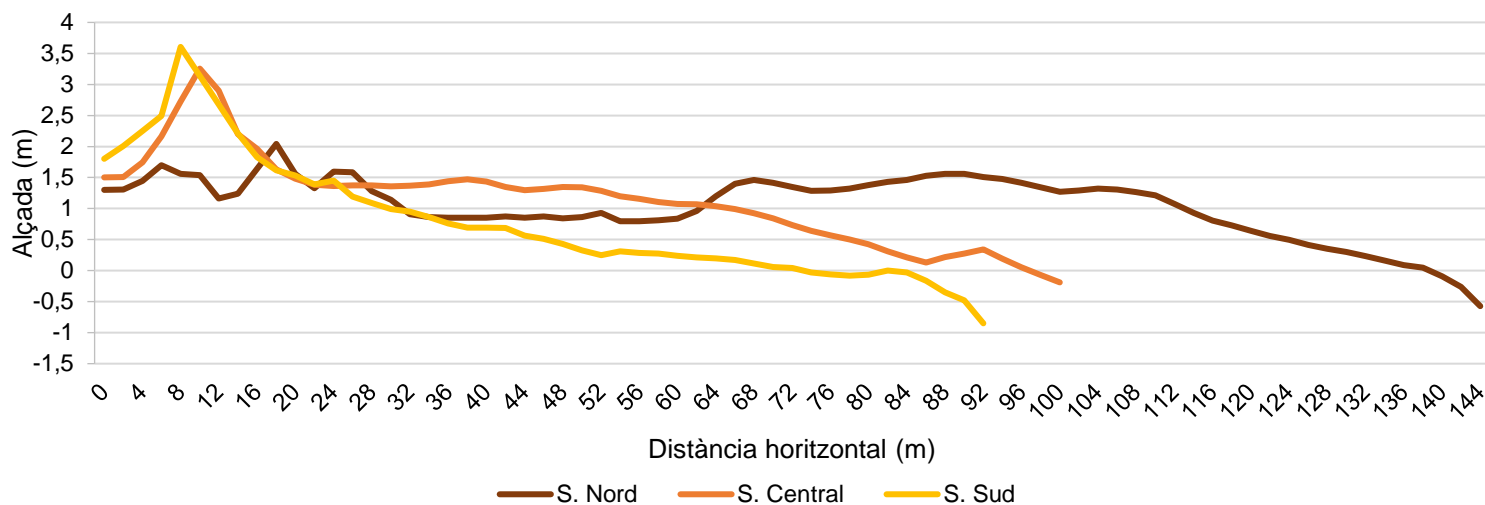


Figura 7.- Perfils topogràfics de la platja.

El perfil topogràfic del sector nord, presenta una orientació de 75° respecte al nord i comença en les coordenades geogràfiques UTM X: 509036,95 Y: 4670956,23. El màxim d'alçada és igual a 2,04 m i es troba en la distància horitzontal de 18 m, coincidint amb el pic màxim de la duna davantera travessada pel perfil. El mínim d'alçada està 0,57 m per sota del nivell del mar al final del perfil. Fins a la distància horitzontal de 140 m, just en el tram on es troba la berma, el perfil no està per sota del nivell del mar. La berma va des de la distància horitzontal de 138 m fins a la de 142 m amb un desnivell de 0,31 m. Es tracta del perfil més llarg arribant als 144 m des del punt d'inici fins a l'aigua del mar.

El perfil topogràfic del sector central, presenta una orientació de 77° respecte al nord i comença en les coordenades geogràfiques UTM X: 509167,77 Y: 4668599,04. El màxim d'alçada és igual a 3,25 m i es troba en la distància horitzontal de 10 m, coincidint amb el pic màxim de la duna davantera travessada pel perfil. El mínim d'alçada està 0,19 m per sota del nivell del mar al final del perfil. Fins a la distància horitzontal de 98 m, coincidint en el tram on es troba la berma, el perfil no està per sota del nivell del mar. La berma va des de la distància horitzontal de 92 m fins a la de 98 m amb un desnivell de 0,41 m. La llargada del perfil és intermèdia arribant als 100 m des del punt d'inici fins a l'aigua del mar.

El perfil topogràfic del sector sud, presenta una orientació de 72° respecte al nord i comença en les coordenades geogràfiques UTM X: 509485,46 Y: 4666213,97. El màxim d'alçada és igual a 3,61 m i es troba en la distància horitzontal de 8 m, coincidint amb el pic màxim de la duna davantera travessada pel perfil. El mínim d'alçada està 0,85 m per sota del nivell del mar al final del perfil. En la distància horitzontal de 74 m el perfil ja està per sota del nivell del mar, sense coincidir en el tram on es troba la berma. La berma va des de la distància horitzontal de 82 m fins a la de 90 m amb un desnivell de 0,35 m. Es tracta del perfil més curt i mesura 92 m des del punt d'inici fins a l'aigua del mar.

A grans trets, es pot apreciar, en el diagrama que agrupa els perfils topogràfics dels tres sectors, que la llargada d'aquests disminueix de nord a sud. De la mateixa manera que el que presenta un pic més alt, un major recorregut per sota el nivell del mar i un major desnivell en la berma és també el perfil del sector sud. Per contra, el que té un pic més baix i un menor desnivell en la berma és el perfil del sector nord. Per altra banda, el perfil que presenta un menor recorregut per sota del nivell del mar és el central.

4.2.- CARACTERÍSTIQUES DEL SEDIMENT

Les característiques del sediment, de la platja de Sant Pere Pescador es troben de manera gràfica a continuació. La sorra retinguda (g) per cada llum dels tamisos (mm) en cadascun dels sectors de la platja estan representats a continuació. En la figura 8 hi ha la sorra retinguda (g) referents a la platja alta i en la figura 9 hi ha la referent a les dunes davanteres.

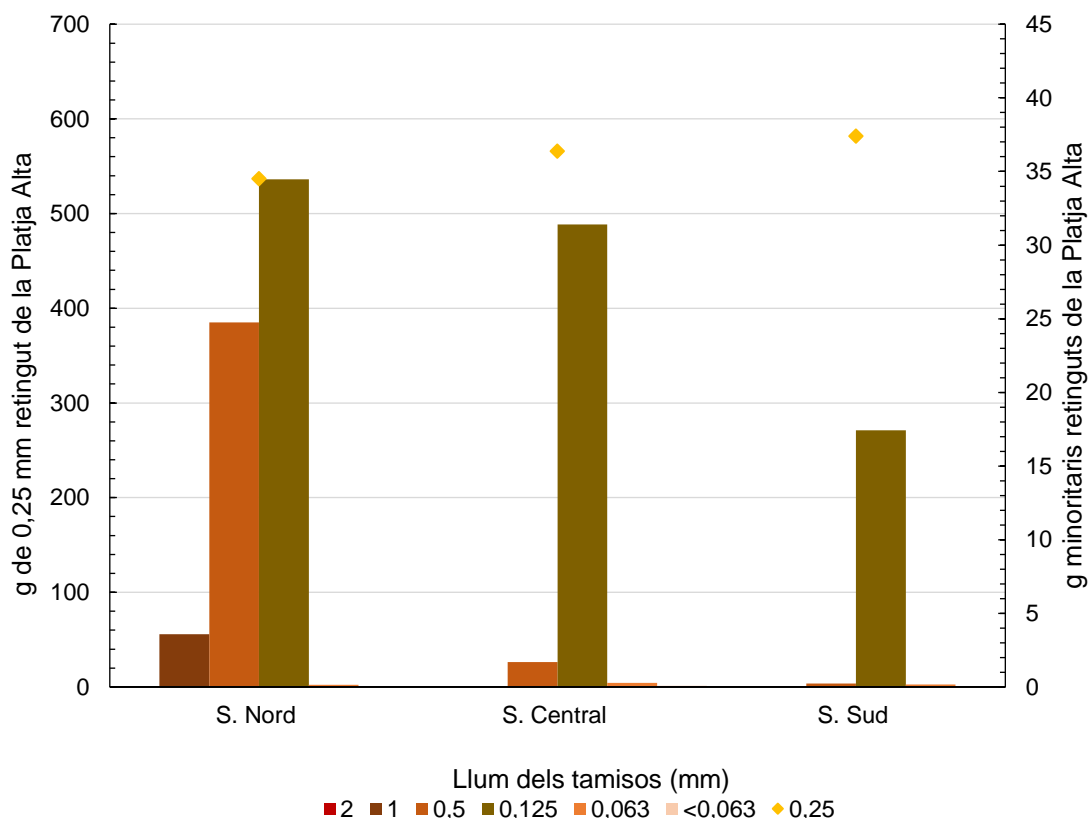


Figura 8.- Diagrama de la sorra retinguda (g) en cada llum dels tamisos (mm) en els diferents sectors de la platja alta.

Com es veu en la figura 8 en tots els sectors de la platja alta, constituïda per sediments del grup arenites, pràcticament més del 90 % de la sorra és sorra mitjana (0,25 mm). Tot i això, cal fixar-se amb les diferències entre sectors. En el sector nord és en el que hi ha menys sorra mitjana amb un 89,5 % i en el sector sud en el que més amb un 97 %. En el sector central hi ha un 94,4 % de sorra de mitjana.

Per contra, s'aprecia un descens dels percentatges minoritaris retinguts en les llums dels tamisos des del sector nord cap al sector sud de la platja. La mida de 2 mm és inapreciable en el sector nord i inexistente en els altres sectors. La mida d'1 mm en el sector nord representa el 0,6 % del sediment, en canvi en, el sector central i sud, no arriba al 0,1 %. La mida d'0,5 mm en el sector nord representa el 4 % del sediment, el sector central representa el 0,3 % i en el sector sud no arriba al 0,1 %. La mida de 0,125 mm és majoritària en el sector nord amb un 5,7 %, una mica menor en el sector central amb un 5,2 % i menor amb un 2,9 % en el sector sud. Les diferències de percentatges, de les altres mides granulomètriques, en els diferents sectors és irrellevant.

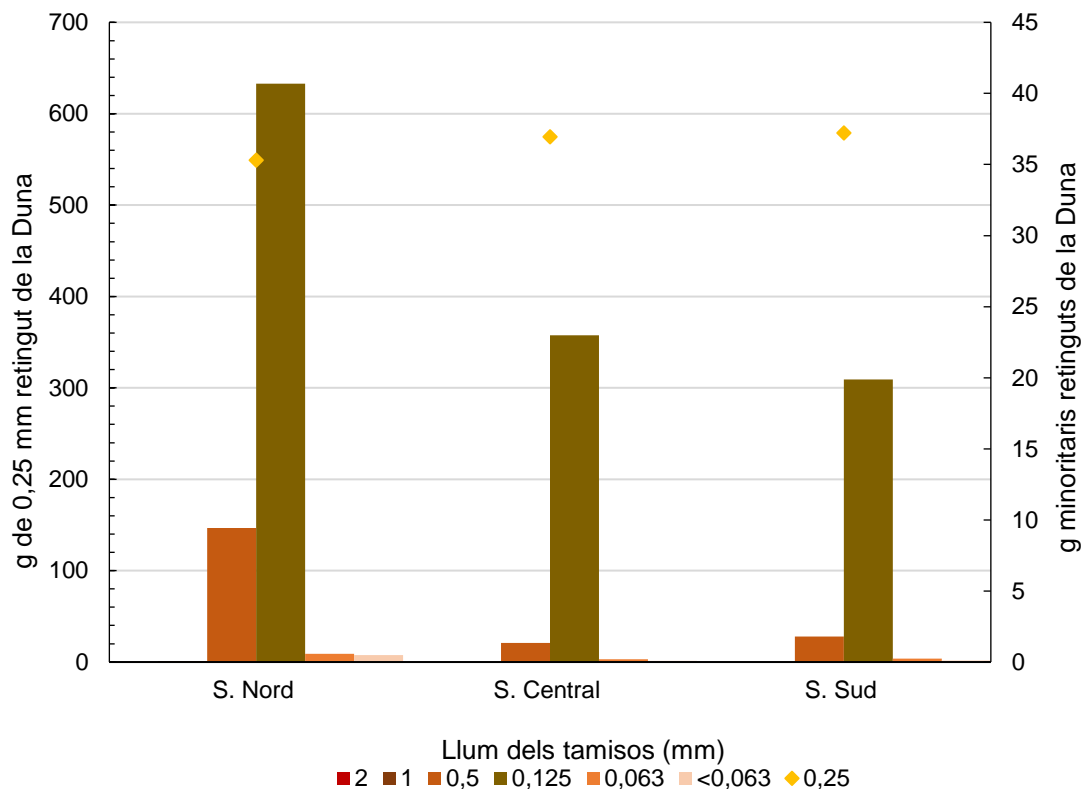


Figura 9.- Diagrama de la sorra retinguda (g) en cada llum dels tamisos (mm) en els diferents sectors de les dunes davanteres.

Com es veu en la figura 9 en tots els sectors de les dunes, constituïdes per sediments del grup arenites, més del 90 % de la sorra és sorra mitjana (0,25 mm). Tot i això, cal fixar-se, un cop més, amb les diferències entre sectors. En el sector nord és en el que hi ha menys sorra mitjana amb un 91,5 % i en els altres dos les diferències són escasses. En el central, aquesta granulometria, representa el 95,9 % i en el sud el 96,3 %.

Per contra, s'aprecia un descens dels percentatges minoritaris retinguts en les llums dels tamisos des del sector nord cap al sector sud de la platja. La mida de 2 mm és inexistent en tots els sectors. La mida de 1 mm és inapreciable en el sector nord i inexistent en els altres sectors. La mida d'0,5 mm en el sector nord representa l'1,6 % del sediment, el sector central representa el 0,2 % i en el sector sud no arriba al 0,3 %. La mida de 0,125 mm és majoritària en el sector nord amb un 6,8 %, en el sector central representa un 3,8 % i un 3,3 % en el sector sud. Les diferències de percentatges, de les altres mides granulomètriques, en els diferents sectors és irrellevant.

Per altra banda, comparant la figura 8 i la 9, s'aprecia en tots els sectors com els grams de sorra retinguts de mides minoritàries són menys en les dunes davanteres que en la platja alta. A excepció del sector nord en què la mida de 0,125 mm és superior en la duna, així com en el sector sud ho és el de mida 0,5 mm. Per contra, en tots els sectors la mida mitjana té una representació lleument major en el sector nord i central de les dunes davanteres que en la platja alta. En canvi, en el sector sud és lleument superior en la platja alta que en la duna. Tot i això, les diferències no són gaire rellevants entre el sector central i sud, però sí que ho són respecte al sector nord.

4.3.- COBERTURA VEGETAL DEL SISTEMA DUNAR

Per tal de poder aplicar la llista control, per a l'estudi de la vulnerabilitat dunar en els tres sectors, s'han identificat algunes espècies vegetals del tipus I, II i III. També s'han identificat altres espècies. En la taula 4, es mostra la llista d'espècies identificades de cada tipus en cadascun dels sectors.

Taula 4.- Cobertura vegetal del sistema dunar.

	Tipus I	Tipus II	Tipus III	Altres
S. Nord		<i>Linaria lamarckii</i> <i>Malcolmia litorea</i>	<i>Euphorbia planclias C.</i> <i>Ammophila arenaria C.</i> <i>Elymus factus</i>	<i>Matthiola sinuata</i> <i>Euphorbia amygdaloides</i>
S. Central	<i>Scolymus maculatus</i> <i>Sonchus tenerrimus</i>	<i>Helichysun picardii</i>	<i>Euphorbia planclias C.</i> <i>Ammophila arenaria C.</i> <i>Elymus factus</i> <i>Medicago marina C.</i> <i>Eryngium maritimum</i>	<i>Matthiola sinuata</i> <i>Euphorbia amygdaloides</i>
S. Sud	<i>Scolymus maculatus</i> <i>Sonchus tenerrimus</i>	<i>Malcolmia litorea</i>	<i>Euphorbia planclias C.</i> <i>Ammophila arenaria C.</i> <i>Elymus factus</i> <i>Medicago marina C.</i>	<i>Matthiola sinuata</i> <i>Euphorbia amygdaloides</i> <i>Arundo Donax</i> <i>Pinus halapensis</i>

En el sector nord no hi ha cobertura vegetal tipus I, si que n'hi ha del tipus II, III i altres. Les cobertures vegetals del sector central i del sud són bastant similars: els dos sectors tenen espècies de tots els tipus i les dunes presenten més diversitat d'espècies i major cobertura vegetal.

L'única espècie que només s'ha vist en el sector nord és la *Linaria lamarckii*. Les espècies que només s'han vist en el sector central són *Helichysun picardii* i *Eryngium maritimum*. Les espècies que només s'han vist en el sector sud són *Malcolmia litorea*, *Arundo Donax* i *Pinus halapensis*.

4.4.- VULNERABILITAT DEL SISTEMA DUNAR

Els resultats de l'aplicació de la llista de control sobre els sectors seleccionats es mostren en la taula 5. Hi ha els resultats dels índex parcials de vulnerabilitat, dels índexs de vulnerabilitat i la classe en cada sector. Cal comentar que l'índex de vulnerabilitat global s'associa a un tipus o classe: Classe I ($0 < IV < 0.30$), Classe II ($0.30 < IV < 0.45$), Classe III ($0.45 < IV < 0.60$) i Classe IV ($0.60 < IV < 1$). En aquest cas el sector Nord es troba entre la classe II i III, els altres dos sectors formen part de la classe II. Per tant, el sector Nord és el que presenta major vulnerabilitat. De mitjana la platja presenta un valor global de vulnerabilitat mitjana baixa igual a 0,42, de classe II.

Taula 5.- Índex parcials de vulnerabilitat, índex de vulnerabilitat i classe de cada sector.

	IVp					IV	Classe	Vulnerabilitat
	IGC	IIM	IIE	ICV	IPU			
S. Nord	0,625	0,350	0,556	0,375	0,338	0,45	II - III	Mitjana
S. Central	0,625	0,350	0,500	0,325	0,265	0,41	II	Mitjana baixa
S. Sud	0,625	0,400	0,306	0,325	0,309	0,39	II	Mitjana baixa
Mitjana	0,625	0,367	0,454	0,342	0,304	0,42	II	Mitjana baixa

Per facilitar la interpretació dels resultats, els valors parcials de vulnerabilitat s'han representat gràficament sobre cinc eixos (Figura 10). D'aquesta manera s'obté un polígon de cinc costats, la superfície del qual és funció de l'índex global de vulnerabilitat.

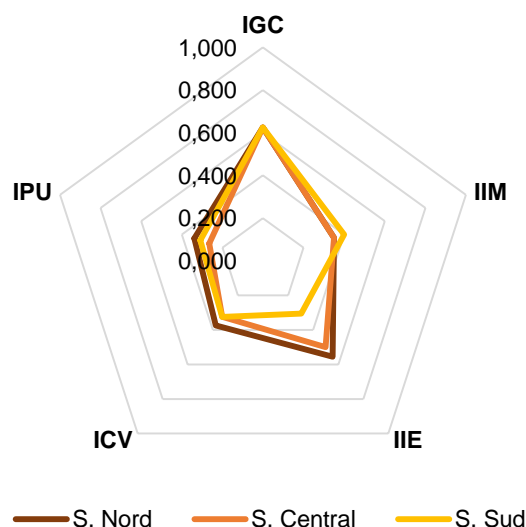


Figura 10.- Representació dels valors parcials de vulnerabilitat de cada sector.

El gràfic (figura 10) mostra que, l'índex parcial de vulnerabilitat geomorfo-sedimentaria (IGD) és igual pels tres sectors amb un valor de 0,625, aquest valor és elevat i contribueix molt a la vulnerabilitat dels tres sectors. Per altra banda, els tres sectors presenten una granulometria molt similar dels sediments de les dunes davanteres amb la majoria dels valors propers a 0.

L'índex d'incidència marina (IIM) és igual per al sector nord i central, amb un valor de 0,350. En el sector sud és superior 0,400, degut a una menor amplada de la platja i una carrera de marea superior. Tot i això, els tres sectors presenten una granulometria similar dels sediments de la platja alta entre 0 i 2 mm, majoritària a 0,25 mm. El valor mitjà d'aquest índex parcial és mitjà baix, igual a 0,367.

Per altra banda, la incidència eòlica (IIE) és mitjana elevada en els sectors nord i central amb valors de 0,556 i 0,500 respectivament. En el sector sud, la incidència eòlica és mitjana baixa amb un valor de 0,306. La vulnerabilitat mitjana d'aquest índex és mitjana elevada amb un valor de 0,454.

Respecte a l'índex de cobertura vegetal (ICV) en els tres sectors presenta valors mitjans baixos. La mitjana dels tres sectors és 0,342 i en el sector nord és lleument superior (0,375) als dels altres dos sectors (0,325).

L'índex parcial de la pressió d'ús (IPU) és 0,338 en el sector nord. En el sector central la pressió d'ús és més baixa, 0,265. En el sector sud, aquest índex parcial és de 0,309. Tot i això, aquest és l'índex que de mitjana menys contribueix a l'índex global de vulnerabilitat de la platja amb un valor igual a 0,304.

Tal com s'aprecia en la taula 5 i la figura 10, les variables tenen influència la vulnerabilitat de la platja de Sant Pere Pescador, de més a menys, en el següent ordre: geomorfo-sedimentari (IGD), incidència eòlica (IIE), incidència marina (IIM), cobertura vegetal (ICV) i pressió d'us (IPU).

4.5.- EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE COSTA

La cartografia, feta a partir d'ortofotos (dels anys 1945, 1956, 1986/87, 1997, 2006 i 2017) disponibles a l'aplicació VISSIR v3.26 de ICGC, de la línia de costa al llarg dels anys es troba en la figura 14 en la pàgina 18. La cartografia de tota la platja, està també subdividida en tres mapes, un per cadascun dels tres sectors. En ella es pot apreciar com ha evolucionat la platja de Sant Pere Pescador al llarg dels anys respecte als canvis en la morfologia de la línia de costa.

En la figura 11, hi ha representada la posició de línia de costa (m) dels anys 1945, 1956, 1986/87, 1997, 2006 i 2017, respecte a la línia control, de nord a sud, segons la longitud (km). En els primers kilòmetres de platja, corresponents al sector nord, la línia de costa dels diferents anys no segueixen una tendència clara i en els kilòmetres centrals, de manera bastant gradual i a trets generals, la línia van retrocedint la seva posició a mesura que passen els anys. Sobretot en els últims kilòmetres de platja, corresponents al sector sud, es pot apreciar a simple vista com la posició de les línies de costa més antigues, dels anys 1946 i 1956, presenten una posició bastant més avançada, respecte a les línies de costa més recents. En canvi, en aquest mateix sector, s'observa com la posició de les línies de costa més recents han retrocedit respecte a les més antigues.

En el diagrama de la figura 12, hi ha representada la posició mitjana (m) de la línia de costa per cada any estudiat respecte a la línia control. També hi ha la regressió lineal resultant i l'equació que dona la taxa evolutiva de la línia de costa al llarg dels anys. El valor de R^2 és inferior a 0,9 de manera que no és pot considerar que la línia de costa evolucioni de manera totalment lineal. Tot i això, segons l'equació resultant, s'assumeix que la línia de costa de Sant Pere Pescador retrocedeix de mitjana 0,23 m/any. És a dir, que cada 10 anys el mar guanya 2,3 m a la platja.

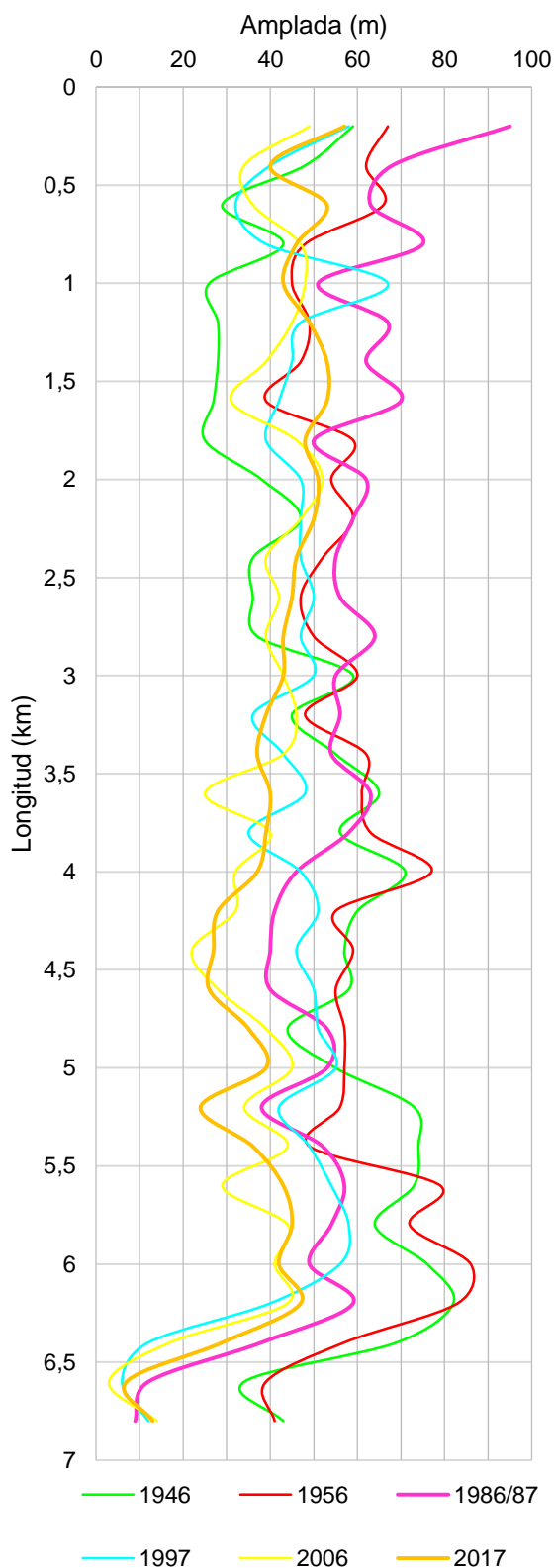


Figura 11.- Posició (m) de la línia de costa, segons la longitud (km), de nord a sud, pels anys: 1946, 1956, 1986/87, 1997, 2006 i 2017.

En la figura 13, hi ha representat el mateix que en el diagrama anterior però separant l'evolució de la línia de costa per cada sector de la platja per a obtenint les seves respectives taxes evolutives. Tal com ja s'ha comentat anteriorment, aquí es constata que en el sector nord la línia de costa no segueix una tendència clara, ja que el valor de R^2 per aquest tram s'allunya molt de l'òptim i per tant no proporciona un resultat representatiu. Tot i això, si prenguéssim l'equació resultant com a certa, la taxa evolutiva seria de 0,05 m/any, de manera que, la posició de la línia de costa progradaria cap al mar. En el sector central, amb una R^2 igual a 0,72 i una taxa evolutiva de -0,26 m/any, s'assumeix que la línia de costa d'aquest tram retrocedeix de manera molt similar a com ho fa la posició mitjana de la línia de costa de tota la platja. En l'últim sector, el valor de R^2 és superior a 0,9 de manera que es pot considerar que la línia de costa, del sector sud, evoluciona de manera lineal. En aquest sector, la línia de costa retrocedeix cap a la platja de mitjana 0,47 m/any. Prenen per bons aquests resultats, com més al sud de la platja de Sant Pere Pescador major és el retrocés cap a la platja de la posició de la línia de costa al llarg dels anys.

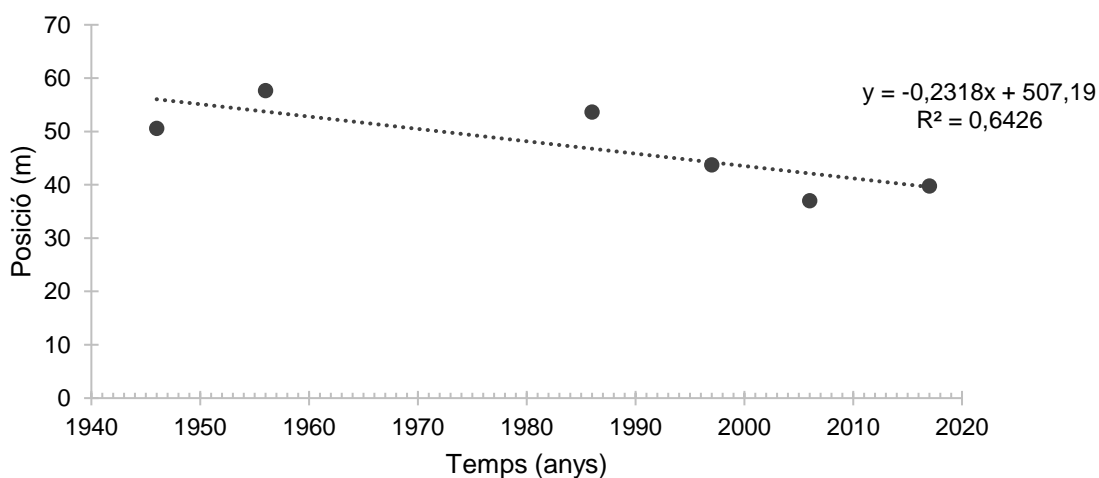


Figura 12.- Representació de la posició mitjana (m) de la línia de costa segons el temps (anys), de la regressió lineal i de l'equació de la taxa evolutiva de la línia de costa de tota la platja.

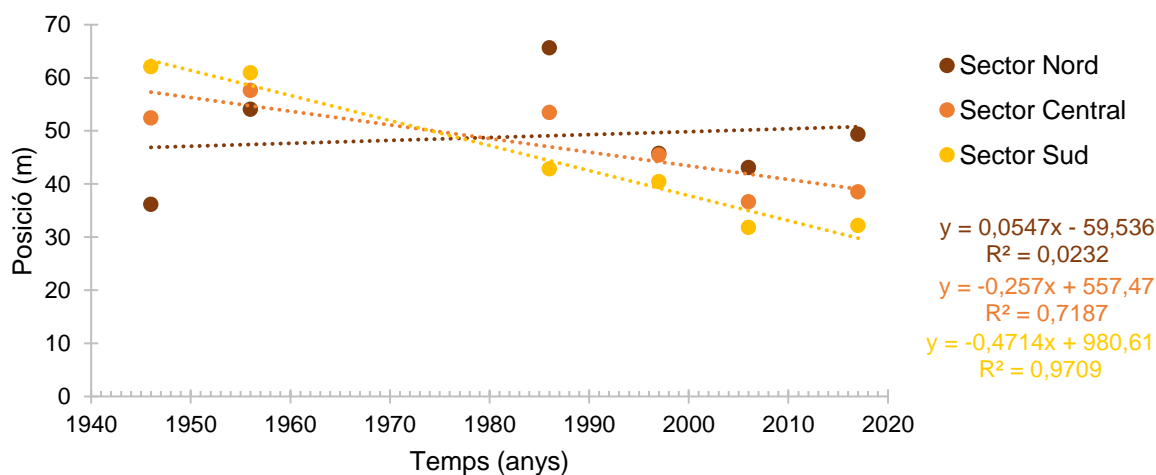
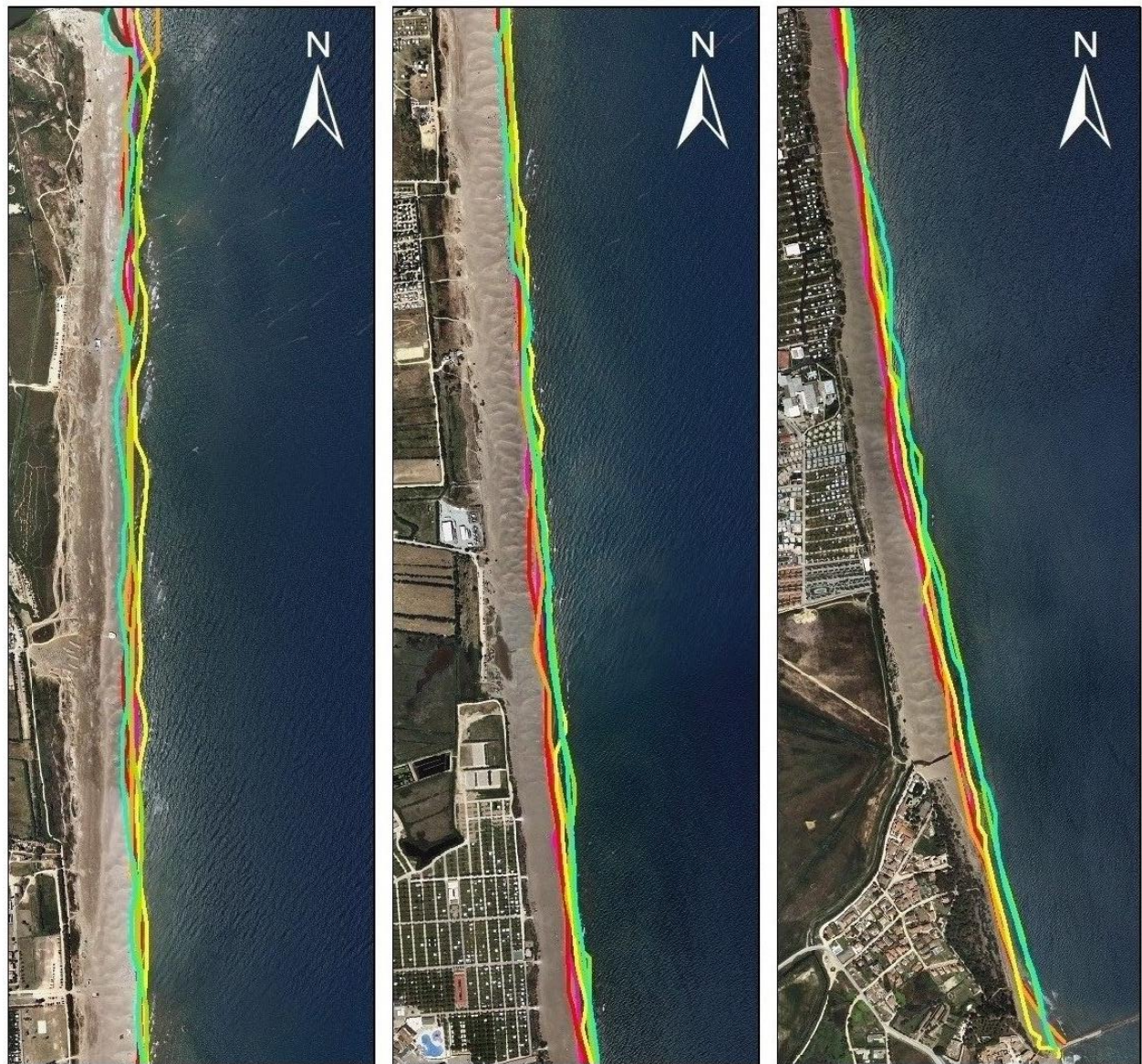


Figura 13.- Representació de la posició mitjana (m) de la línia de costa segons el temps (anys), de la regressió lineal i de l'equació de la taxa evolutiva de la línia de costa per cada sector de la platja.

EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE COSTA DE LA PLATJA DE SANT PERE PESCADOR









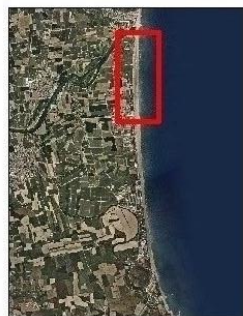
Sector Nord

Sector Central

Sector Sud

0 0,1 0,2 0,4 km

Llegenda	
	1946
	1956
	1986/87
	1997
	2006
	2017



Sector Nord

Sector Central

Sector Sud

Figura 14.- Cartografia de la línia de costa de la platja de Sant Pere Pescador.

En la figura 15, hi ha representada la taxa de retrocés/progradació en m/any per cadascun dels intervals de temps que apareixen en l'eix horitzontal del diagrama. Els valors negatius indiquen que la platja retrocedeix i els valors positius que prograda cap al mar. La taxa mitjana entre el 1946 i el 1956 és positiva i entre el 2006 i el 2017 també. S'aprecia com en aquests intervals de temps la platja té tendència a progradar cap al mar. Aquest mateix comportament es dona en tots els sectors en aquests intervals de temps, a excepció del sector sud entre el 1946 i 1956. En els anys del 1956 al 2006 la taxa mitjana i de pràcticament tots els sectors és negativa, a excepció del sector nord entre el 1956 i 1986/87. Això indica que la platja de Sant Pere Pescador durant 50 anys no ha fet més que retrocedir.

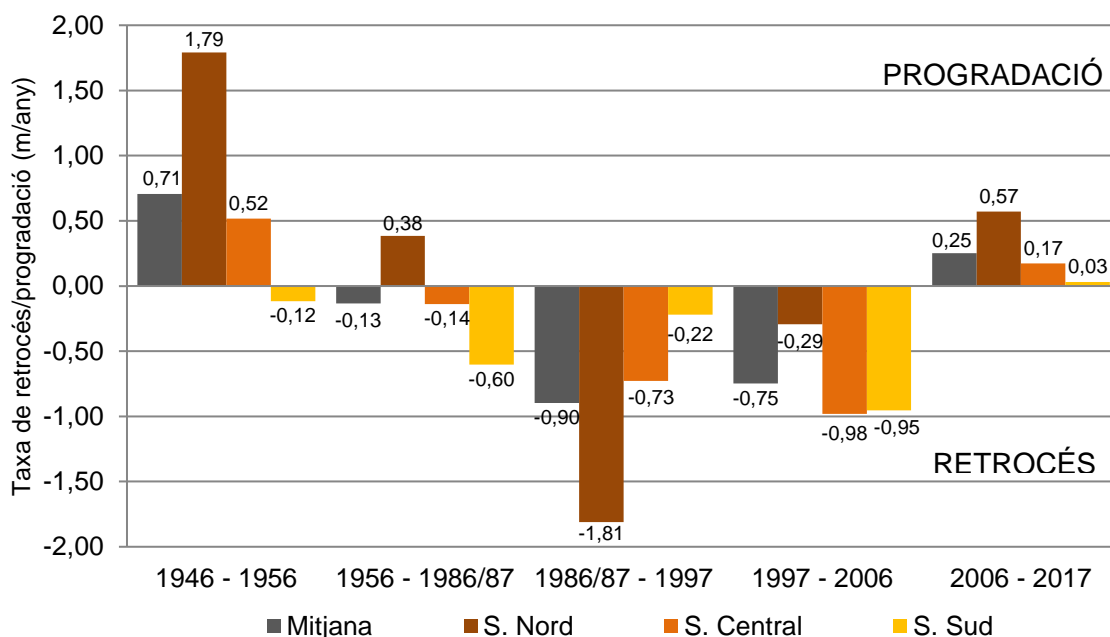


Figura 15.- Taxa de retrocés/progradació (m/any) mitjana i per cada sector de la platja, entre el 1946 i 1956, 1956 i 1986/87, 1986/87 i 1997, 1997 i 2006, i 2006 i 2017.

4.6.- BALANÇ SEDIMENTARI

En la taula 6, hi ha recollit l'increment o disminució de volum experimentat pel perfil (ΔV) de la platja i de cada sector des del 1946 al 2017.

Taula 6.- Resultats del balanç sedimentari, ΔV (m³/any).

	ΔX (m/any)	ΔL (m)	ΔV (m ³ /any)
Platja	-0,23	6.911	-16.716,55
S. Nord	0,05	2.200	1.255,75
S. Central	-0,26	2.200	-5.899,95
S. Sud	-0,47	2.511	-12.351,76

El balanç sedimentari estima els volums de sorra que entren, circulen i surten de la platja o d'un sector. D'aquesta manera es pot saber si té tendència cap a l'equilibri, l'erosió o l'acreciment. Segons els resultats exposats, tota la platja s'erosiona de mitjana 16.716,55 m³/any. En el sector nord la platja creix a raó de 1.255,75 m³/any, en el central s'erosiona 5.899,95 m³/any i en el sector sud la platja s'erosiona 12.351,76 m³/any. Per tant, considerant vàlids aquests resultats, com més al sud de la platja de Sant Pere Pescador major és l'erosió, es a dir, major és la pèrdua en volum de sediment cada any.

5.- DISCUSSIÓ

5.1.- ESTAT DE LA PLATJA

Moltes de les característiques de la platja presenten un gradient de nord a sud, de manera que el sector central representa una zona d'interfase. Això és deu als gradients generats per diferents factors que defineixen les característiques de la platja. Aquets factors són: la incidència eòlica, superior en el sector nord i inferior en el sector sud; l'aportació de sediments, superior en el sector nord i inferior en el sector sud; i la taxa evolutiva de la línia de costa, positiva en el sector nord (progradant la platja) i negativa en els altres dos sectors (retrocedint la platja). A més a més, aquets factors estan afectats per les activitats antròpiques.

A partir d'avaluar similituds (Taula 7) entre els tres sectors de la platja s'aprecia com alguns comparteixen més o menys característiques. El sector central i el sector sud són els més similars entre si. Els dos presenten dunes davanteres en tota la seva extensió, les granulometries de les dunes són similars per a totes les mides de sorra, els valors de l'IGC i l'ICV són iguals, i en els dos sectors la platja retrocedeix i no prograda, de manera que tenen un balanç sedimentari negatiu.

Per altra banda, el sector nord i el sector central, també són força similars entre si. Els dos tenen dunes transversals, i no en tenen d'estabilitzades. Les amplades dels sectors són similars, així com les granulometries de mides minoritàries de gra de sorra de la platja alta. Els valors de l'IGC i l'IIM són iguals.

Taula 7.- Taula resum de les característiques i les igualtats entre sectors.

		Nul	Menys	Mig	Més	Diferents	Iguals	S. Nord	S. Central	S. Sud	S. N. i S. C.	S. C. i S. S.	S. N. i S. S.
Elements morfològics	Dunes Transversals												
	Dunes Davanteres												
	Dunes Semi estabilitzades												
	Dunes Estabilitzades												
Amplada (m)	Platja alta (m)												
Perfils (m)	Alçada Màxima (m)												
	Alçada Mínima (m)												
	Llargada (m)												
	Alçada Berma (m)												
	Pendent d'estran (°)												
Sediments	Platja Alta (0,25 mm)												
	Platja Alta (mm minoritàries)												
	Dunes (0,25 mm)												
	Dunes (mm minoritàries)												
Vulnerabilitat	IGC												
	IIM												
	IIE												
	ICV												
	IPV												
	IV (Total)												
Taxa evolutiva	Progradació (m/any)												
	Retrocés (m/any)												
Balanç sedimentari	ΔV (m ³ /any)												
	$-\Delta V$ (m ³ /any)												

En canvi, el sector nord i el sector sud són els que comparteixen menys característiques, ja que tenen valors contraposats dels factors bàsics per definir-les. Només coincideixen en tenir el mateix valor de l'IGC, com amb el sector central, i la presència de dunes davanteres i semi estabilitzades, i tenir-ne menys del tipus transversal respecte el sector central.

5.1.1.- SECTOR NORD

Aquest sector va des de la desembocadura del Fluvià fins a 2.200 m en direcció sud. En tota la seva extensió presenta dunes davanteres, també en té de semi estabilitzades i algunes de tipus transversal, resultat de vents amb direcció i sentit característic, en aquest cas la tramuntana. També hi ha dunes embrionàries. Aquest cordó de dunes paral·lel podria ser degut a la progradació de la platja en els últims 70 anys, a una major incidència eòlica i, en conseqüència, a una alta aportació de sediments (Ley et al., 2007). Per altra banda, cal considerar el menor grau d'infraestructures construïdes tocant a la platja, cosa que ha permès la conservació del cordó dunar. També és el sector més ample de la platja. Inclou l'amplada màxima però l'amplada mitjana del sector no s'allunya gaire del sector central. De manera que, els dos sectors són força similars en aquest aspecte.

Pel que fa al perfil de la platja aquest és el més llarg i pla. En conseqüència de la incidència eòlica elevada i la major àrea disponible. Per altra banda, l'alçada de la berma és la més baixa i presenta el pendent d'estrany més alt, ja que la distància horitzontal entre l'inici i el final de la berma és inferior que en els altres dos sectors. En referència als sediments que es troben en el tram nord de la platja no hi ha diferències considerables entre les mides granulomètriques entre la platja alta i en les dunes davanteres. En els dos punts dominen els grans de sorra mitjana. Respecte als altres sectors, aquest és el que presenta major quantitat de sediments de granulometries minoritàries. Especialment en la platja alta d'aquest és on hi ha més varietat en les mides de sediments minoritaris, dominant les granulometries més grans d'1 mm, i de 0,5 mm. Això es deu al transport sedimentari eòlic de nord a sud, de manera que els grans de sorra més pesats són més difícils de transportar pel vent.

Pel que fa a la vegetació, no n'hi ha de tipus I i la diversitat d'espècies és la més baixa en les dunes davanteres, així com la cobertura vegetal. Això es degut l'alta incidència eòlica, fet que crea un ambient sec i salat, força hostil per a la majoria de plantes. Per altra banda aquest sector és el que té el sistema dunar més vulnerable, amb una vulnerabilitat mitjana alta, ja que l'índex d'incidència eòlica, el de cobertura vegetal i el de pressió de visitants és més elevat que en els altres sectors.

5.1.2.- SECTOR CENTRAL

El sector central va des d'on acaba el sector nord fins a 2.200 més al sud. És el sector que té més dunes de tipus transversal i igual que en els altres sectors presenta dunes davanteres en tota la seva extensió. També hi ha dunes embrionàries. La incidència eòlica és lleument inferior a la del sector nord, de manera que l'aportació de sediments també ho és. Aquí la platja retrocedeix i bona part de la zona posterior a les dunes davanteres ha estat antropitzada amb camps de cultiu i càmpings, impossibilitant la conservació del cordó dunar. Tot i presentar una velocitat i direcció del vent molt similar a la del sector nord l'amplada mitjana és una mica inferior a la del sector nord degut una aportació menor de sediments i al retrocés de la platja.

L'alçada màxima i mínima del perfil de la platja és intermèdia. L'alçada de la berma i el pendent d'estrany també tenen valors intermedis. Tot i això aquest perfil és més similar al del sector sud que al del nord. Probablement per la menor pressió de visitants i el retrocés del

sector. En referència als sediments que es troben en el tram central no hi ha diferències considerables entre les mides granulomètriques entre la platja alta i en les dunes davanteres. En els dos punts dominen els grans de sorra mitjana i és escassa la presència de grans de mides més grans, ja que els grans de sorra més pesats són més difícils de transportar pel vent i ja s'han quedat en els primers metres de platja. Respecte als altres sectors, aquest presenta major quantitat de sediments de granulometries minoritàries que el sector sud. Tot i això les mides granulomètriques de sorra d'aquest sector i del sud són molt similars, sobretot en les dunes davanteres.

Pel que fa a la vegetació, n'hi ha de tots els tipus i la diversitat d'espècies en les dunes davanteres és similar a la del sector sud i més alta que la del sector nord, així com la cobertura vegetal. Això és així gràcies a una menor incidència eòlica en les dunes, fet que crea un ambient menys hostil per al creixement de plantes. Per altra banda aquest sector té una vulnerabilitat mitjana baixa en el sistema dunar, per sobre de la del sector sud i per sota de la del sector nord, ja que cap índex és més vulnerable que en els altres sectors.

5.1.3.- SECTOR SUD

El sector sud, compren els últims 2.511 m de platja. Té dunes transversals, davanteres, semi estabilitzades i estabilitzades. També n'hi ha d'embrionàries. Però aquesta afirmació resulta enganyosa, ja que no hi ha un cordó dunar paral·lel complet. S'ha de considerar per separat el sistema dunar del sector sud abans de la desembocadura del Riu Vell i després d'aquesta. En general, tot aquest sector està en retrocés, té una disponibilitat de sediments limitada i la incidència eòlica és força inferior a la dels altres sectors de manera que la platja d'aquest sector és també més estreta, incloent-hi l'amplada mínima de platja alta. Pràcticament tota la zona posterior a les dunes davanteres ha estat antropitzada afavorint la desestructuració del sistema dunar.

És el sector de la platja que presenta major desnivell i un perfil més curt. Això pot ser degut a una incidència eòlica menor i a una menor àrea disponible. Per altra banda, l'alçada de la berma és la més alta i presenta el pendent d'estrany més baix, ja que la distància horitzontal entre l'inici i el final de la berma és més alta que en els altres dos sectors. En referència als sediments que es troben en l'últim tram de la platja no hi ha diferències considerables entre les mides granulomètriques entre la platja alta i en les dunes davanteres. En els dos punts dominen els grans de sorra mitjana i és gairebé nul·la la presència de grans de mides més grans ja que s'han quedat en els primers sectors. Respecte als altres trams, aquest és el que té menys quantitat de sediments de granulometries minoritàries. Tot i això les mides granulomètriques de sorra d'aquest sector i del central són molt similars i són pràcticament iguals en les dunes davanteres.

Pel que fa a la vegetació, n'hi ha de tots els tipus i la diversitat d'espècies en les dunes davanteres és similar a la del sector central i més alta que la sector nord, així com la cobertura vegetal. Això és a causa d'una menor incidència eòlica en les dunes, fet que crea un ambient més favorable per al creixement de les plantes. Per altra banda aquest sector és el que té el sistema dunar menys vulnerable, amb una vulnerabilitat mitjana baixa. Ja que l'índex d'incidència eòlica i el de cobertura vegetal és més baix respecte als altres sectors.

5.2.- VULNERABILITAT DEL SISTEMA PLATJA-DUNA

La vulnerabilitat del sistema dunar és de classe II amb un valor de 0,42. Això representa una vulnerabilitat mitjana baixa. D'entrada, aquesta vulnerabilitat és, principalment, d'origen natural, ja que són aquests índex els que presenten els valors més elevats de mitjana.

L'índex geomorfo-sedimentaria (IGD) és el més alt de tots els índexs parcials, de manera que, contribueix molt en l'índex global de vulnerabilitat i en la capacitat d'impactes naturals i antròpics. A més a més, és igual en tota la platja. L'índex d'incidència marina (IIM) no contribueix ni molt ni poc a la vulnerabilitat de la platja. Per altra banda, la incidència eòlica (IIE) indica, que en els primers dos sectors la incidència de la tramuntana és més considerable. Respecte a l'índex de cobertura vegetal (ICV) no afecta gaire a la vulnerabilitat de la platja. Tot i això, el sector nord és més vulnerable degut un menor percentatge de la duna davantera cobert per espècies tipus II i menys plantes vigoroses en les dunes del sector nord respecte els altres sectors. A més a més, és el sector amb menor cobertura vegetal i amb menys diversitat d'espècies.

L'índex de la pressió d'ús (IPU) és superior en el sector nord. En aquest sector la pressió de visitants és alta degut a la presència de càmpings i practicants d'esports aquàtics com el kit surf, amb escola inclosa. A més a més, la dificultat d'accés és baixa a causa d'una carretera asfaltada per arribar-hi i pàrquings. En el sector central, la pressió d'ús és la més baixa, ja que la pressió de visitants és moderada així com la dificultat d'accés, ja que s'hi accedeix per camins, alguns dels quals són particulars o no hi poden passar vehicles. En el sector sud la vulnerabilitat es troba entremig de la dels altres sectors. La dificultat d'accés és moderada, ja que és per camins i hi ha menys pàrquings però hi ha força càmpings, que a l'estiu s'omplen, així com escoles de kit surf. A més a més, els espais ocupats per les dunes davanteres són punts de trobada de parelles nudistes del col·lectiu LGTB. Per altra banda, en tota la platja s'han vist treballs amb tractors movent sorra, persones practicants kit surf i també passejos a cavall per la línia de costa. Tot i això, aquest és l'índex que menys contribueix a l'índex global de vulnerabilitat del sistema dunar.

Aleshores, segons els resultats dels índexs, la major vulnerabilitat de les dunes és d'origen natural. Però això és discutible. El retrocés de la platja es deu a la pujada del nivell del mar a causa de l'escalfament global i a la disminució d'aportacions sedimentaries a causa de la construcció de l'embassament de Darnius-Boadella. Els humans som responsables d'aquests canvis, ja que hem modificat les característiques dels factors naturals. Per tant, l'origen de la vulnerabilitat del sistema dunar i de la platja de Sant Pere Pescador no només és d'origen natural, ja que factors com el nivell del mar i les aportacions sedimentàries han estat modificats antròpicament. La modificació d'aquests factors ha generat un retrocés de la platja i un balanç sedimentari negatiu, de manera que el volum de sediments dels quals disposa la platja i les dunes s'ha vist reduït, augmentant la seva vulnerabilitat de cara al futur.

Per altra banda, aquesta platja no disposa d'un sistema de gestió/certificació. Seria molt interessant la implantació de normes ISO per tal que en les pròximes dècades l'estat de vulnerabilitat del sistema dunar i de la mateixa platja no es degradi. En el Pla d'acció local per a la sostenibilitat de Sant Pere Pescador (2010) ja hi ha força mesures sobre com gestionar la platja, però per culpa del seu balanç sedimentari negatiu i els efectes del canvi climàtic, entre altres, potser calen mesures més directes per vetllar per la seva conservació. Sense la platja no hi ha càmpings, ni esports aquàtics... i sense això el sector turístic de la zona perd potencial i ingressos.

5.3.- EVOLUCIÓ DE LA PLATJA

La taxa evolutiva de la línia de costa és igual a $-0,23$ m/any (Figura 12) des del 1946 fins el 2017. Per tant, el retrocés horitzontal total de la platja des del 1990 fins el 2017 és de 6,21 m. I en els últims 70 anys de 16,1 m.

Del 1946 al 1956 la platja de mitjana progradava (Figura 15), ja que rebia suficients aportacions de sediments com per a fer-ho. L'any 1969 es construí l'embassament de Darnius-Boadella en la conca de la Muga, curs fluvial que desemboca en el golf de Roses 4 km al nord de l'inici de la platja de Sant Pere Pescador. La construcció d'aquest embassament fa que tots els sediments d'aigües a munt quedin retinguts en ell, de manera que menys sediments arriben a la desembocadura de la Muga i en conseqüència a les platges del golf. Per altra banda, el cabal de capçalera de la Muga s'ha reduït a la meitat respecte el que hi havia fa 45 anys i la precipitació estival des del 1973 al 2013 ha disminuït (Aranda et al., 2018). D'aquesta manera, es pot explicar la taxa evolutiva negativa (Figura 12) i el retrocés general de la platja de Sant Pere Pescador causat per la disminució del cabal i de les aportacions sedimentàries del riu Muga.

Per altra banda, la taxa evolutiva de cadascun dels sectors no és igual (Figura 13), de la mateixa manera que tampoc ho és la taxa de retrocés/progradació en diferents intervals de temps (Figura 15). Les diferències evolutives de la línia de costa entre sectors també es poden explicar de manera cronològica a partir de modificacions antròpiques que han fet disminuir o augmentar l'aportació de sediments a la platja de Sant Pere Pescador.

En primer lloc, el sector nord està molt lligat a la dinàmica sedimentària del Fluvià, ja que és on aquest desemboca. Entre els anys 1945 i 1987 hi va haver força mobilitat de meandres en el riu Fluvià (Agència Catalana de l'Aigua, 2011). I del 1971 al 1987 s'hi van realitzar obres de canalització de meandres. Els moviments de maduració dels meandres van generar un cabal sòlid mínim de mitjana de 6500 m³/any. Això explicaria, a diferència del retrocés dels altres sectors, la progradació de la platja (Figura 15) entre el 1956 i 1986/87 en el sector nord. Més endavant, l'any 2002, el riu Fluvià va patir una important crescuda que generà el tall d'alguns meandres i la major erosió d'aquests. Una major aportació de sediments de les lleres del Fluvià podria explicar que la taxa de retrocés del sector nord, entre el 1997 i el 2006, sigui més baixa, respecte als altres sectors. Posteriorment, l'any 2006, caigué una torre elèctrica provocant un desplaçament lateral del riu i erosió dels marges. Aquesta aportació de sediments extra podria anar relacionada almenys amb la major progradació del sector nord de la platja, entre el 2006 i el 2017, període en què tota ella prograda.

En segon lloc, la taxa evolutiva del sector central (Figura 13) és molt similar a la mitjana de la platja (Figura 12). A més a més, prograda o retrocedeix en els mateixos intervals de temps que ho fa la mitjana de tota la platja. Per tant, es considera que evoluciona igual que la mitjana de la platja i que la seva dinàmica sedimentària es veu afectada principalment per les aportacions de la Muga i després per les del riu Fluvià.

En tercer lloc, el sector sud és el que presenta una taxa evolutiva més negativa (Figura 13) i en conseqüència el que més retrocedeix (Figura 15). Entre el 1957 i el 1987 es van construir unes esculleres a Sant Martí d'Empúries, just després del final de la platja de Sant Pere Pescador. La construcció d'aquestes infraestructures, degut a la deriva litoral canviant de nord a sud i de sud a nord, pot ser la causa del retrocés més pronunciat de la línia de costa del sector sud per culpa de l'erosió produïda per la deriva entre el 1956 i el 1986/87. Més endavant, les esculleres es van treure i abans del 1996 es construí l'espigó de Sant Martí, en el punt més al sud de la platja. Aquesta nova construcció d'entrada potser va fer que el retrocés del sector sud sigues menys pronunciat entre el 1986/87 i el 1996 degut a l'acumulació de sediments abans de l'espigó produïda per la deriva litoral de nord a sud. Tot

i això, al ser canviant la deriva litoral i al tractar-se del sector més allunyat de les desembocadures de la Muga i del Fluvià, i en conseqüència rebre menys aportacions sedimentàries d'aquests rius, el retrocés del sector ha continuat al llarg dels anys.

Per altra banda, el nivell del mar des del 1990 fins el 2017 ha pujat 0,09 m (Pasqual, 2018). Això vol dir que durant els últims 27 anys, el nivell del mar ha pujat 0,00333 m/any. Tenint en compte l'angle del pendent d'estrany de la platja de Sant Pere Pescador recollit en la fitxa descriptiva (CIIRC, 2010) el retrocés horitzontal de la platja en 27 anys degut a la pujada del nivell del mar ha estat de 0,82 m. Aquest és un valor que s'ha estimat, ja que les fórmules clàssiques tenen paràmetres difícils de determinar com el límit entre la platja submergida i l'avant costa. Considerant que el nivell del mar ha pujat amb la mateixa dinàmica en els últims 70 anys, des del 1946 fins el 2017, el retrocés horitzontal de la platja ha estat igual a 2,12 m per la pujada del nivell del mar.

Per tant, només el 13,21 % del retrocés que ha patit la platja de Sant Pere Pescador, en els últims 27 anys, es deu a la pujada del nivell del mar. L'altre 86,79 % és a causa de la dinàmica sedimentària, la deriva litoral i les modificacions antròpiques que s'han realitzat en el Fluvià, en la Muga i en la platja que ajuden a explicar l'evolució que ha patit aquesta. Aquests canvis han intervingut en la platja condicionant l'evolució de la seva línia de costa.

6.- CONCLUSIONS

- The majority of dunes morphologies of the beach are in formation. They dominate the leading dunes, followed by the dunes semi-stabilized and the stabilized. The 72,54 % of the surface, comprised between the line of coast and 800 m land within, is an anthropized, urbanized and camping zone. Only the 27,46 % of the territory is occupied by natural morphologies.
- The characteristics of the beach present a gradient from the north to the south and the central sector represents a zone of an interface because of the gradients generated by different factors. These factors are the aeolian incidence, upper in the north and inferior sector in the south sector; the contribution of sediments, upper in the north and inferior sector in the south sector; and the evolutionary tax of the line of coast, positive in the north and negative in the others sectors. For another band, all these factors, are affected by the anthropic activities. The central sector and the south sector are the most similar between if, go followed of the north sector and the one of the central sector. The north sector and the south sector are those that share less characteristic since having opposite values of the basic factors to define them.
- The width of the beach decreases from the north to the south. How more to the greater south is the height of berm, lesser is the slope of storm scarp and greater is the maximum height. The granulometric differences are not very relevant to the central and south sector, but they are it with regard to the north sector. The grams of medium sand are more retained in the leading dunes than in the high beach.
- The vulnerability of the dune system is average low and not only it has a natural origin. Factors how the level of the sea and the contributions of sediments have been anthropically modified. This has generated a shrinking of the beach and a negative sedimentary balance, so that the volume of sediments of which has the beach and the dunes have seen reduced, increasing his vulnerability of expensive to the future. It would be very interesting the implantation of ISO norms in order that in the next decades the state of vulnerability does not degrade more.
- The line of coast retreats on the average. Since 1990 until 2017, the total horizontal shrinking of the beach is of 6,21 m. The shrinking because of the rise of the level of the sea is of 0,82 m. Only the 13,21 % of the shrinking that has suffered the beach owes to the rise of the level of the sea. The other 86,79 % is a cause of the dynamic sedimentary, the anthropic activity and littoral derive. How more to the greater south is the shrinking of the beach and the loss of volume of sediment every year. The north sector does not follow a clear trend and is very tied to the dynamic sedimentary of the Fluvià, all and this, the position of the line of coast progressed. The central sector retreats in a very similar way to the average of all the beach. The south sector is the one that retreats more.

7.- BIBLIOGRAFIA

- Agència Catalana de l'Aigua. (2011). *Planificació de l'espai fluvial de la conca del riu Fluvià: Àmbit de la conca*. (http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/espais_fluvials/estudis/040P0001/aca_pec2015c_02B01_morfodinamica_v1.pdf). Extret 17/05/2018.
- Ajuntament de Sant Pere Pescador. (2010). Pla d'acció local per a la sostenibilitat de Sant Pere Pescador. SPORA Serveis Ambientals.
- Aranda, X., Biel, C., Borràs, G., Cantos, G., Funes, I., Pascual, D., i Zabalza, J. (2018). *El projecte LIFE MEDACC a les conques de la Muga, el Segre i el Ter: principals resultats i conclusions*. (http://medacc-life.eu/sites/medacc-life.eu/files/event_files/4_sergio_vicente-serrano_medacc_cat.pdf). Extret 18/05/2018.
- Brown, A.C. i McLachlan. (1990). *Ecology of sandy shores*. Elseiver, Amsterdam.
- García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J. B., Williams, A. T., i García-Novo, F. (2001). A coastal Dune Vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of Coastal Research*, 17, 802–811.
- Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners. (2010). *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- ICGC. (2016). *Icgc – Vissir3*. (<http://www.icc.cat/vissir3/>). Extret 12/05/2018.
- Instituto Español de Oceanografía. (2007). *Cambio climático en el Mediterráneo español*. Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid.
- Ley, C., Gallego, J., i Vidal, C. (2007). *Manual de Restauración de Dunas Costeras*. Ministerio de Medio Ambiente, Cantabria.
- Mas-Pla, J., Menció, A., Bach, J., Zamorano, M., Soler, D., i Brusi, D. (2016). Trace Element Groundwater Pollution Hazard in Regional Hydrogeological Systems (Empordà Basin, NE Spain). *Water, Air, and Soil Pollution*, 227, 2-4.
- Pasqual, J. (2018). Estació meteorològica de l'Estartit i de Torroella de Montgrí. (<http://meteolestartit.cat/resums/>). Extret 16/05/2018.
- Roig i Munar, F.-X. (2008). *Catalogació i Diagnòs dels Sistemes Dunars de la Costa Brava, Alt Empordà*. QU4TRE.
- Sanjaume, E., i Gracia, J. (2011). *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Càdiz.

