



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

ARENA COMO ELEMENTO CONSERVADOR DE  
LA LÍNEA DE COSTA

Mercedes López López



Tesis

**Doctorales**

[www.eltallerdigital.com](http://www.eltallerdigital.com)

UNIVERSIDAD de ALICANTE



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**ARENA COMO ELEMENTO CONSERVADOR DE  
LA LINEA DE COSTA**

**MERCEDES LÓPEZ LÓPEZ**

Tesis presentada para aspirar al grado de  
**DOCTORA POR LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

**DOCTORADO EN INGENIERÍA DE MATERIALES, ESTRUCTURAS Y**

**TERRENO:**

**CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

**Dirigida por:**

**LUIS ARAGONÉS POMARES**

**Codirigida por:**

**ISABEL LÓPEZ ÚBEDA**

***A Julio, quien dio un giro en mi vida hace 8 meses y por quien lucho cada día si aun conocerle. Eres y serás la fuerza que me hará luchar cada día de mi vida.***



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## AGRADECIMIENTOS

---

La realización de esta Tesis Doctoral no hubiese sido posible sin el apoyo de mis directores, los doctores Luis Aragonés Pomares e Isabel López Úbeda. Debo de agradecerles de manera especial y sincera toda la ayuda que han dado. Han estado ahí en todo momento que lo he necesitado, e incluso a veces mucho más, sin pedirles ayuda me la han dado. Disponibles a cualquier hora y cualquier día para resolver dudas y aportar soluciones a los problemas que iban surgiendo. Han hecho que no decaiga en estos últimos años, ya que han sido numerosas las veces que me han levantado el ánimo para hacer que esta tesis viese su final.

Debo también agradecer la ayuda de numerosos compañeros, José Ignacio Pagán, Antonio Tenza, Javier García Barba, Isidro Sánchez, María Pilar López y Francisco Baeza. Sin su ayuda en la elaboración de artículos y presentaciones a congresos no hubiese sido posible el que esta tesis hubiese visto la luz.

Quisiera también dar las gracias a Alfonso, ha sido un gran pilar en mi vida, dándome ánimos cuando más lo necesitaba, por esos fines de semana, en los que después de una semana dura de trabajo, lo que menos nos apetecía era ponernos a estudiar, sin embargo, nos apoyábamos mutuamente, obteniendo él como resultado su segunda carrera, y yo esta tesis.

También quiero agradecer a mi familia, todo el apoyo, que sin comprender lo que significaba realizar un doctorado sin ser médico, en especial mi abuelo, quien no pudo llegar a verme defender esta tesis, me han apoyado, entendido y aguantado en los momentos duros.

Son numerosas las personas que me han ayudado a que este trabajo vea la luz, y debo agradecerles su ayuda. Muchas gracias a todos.

***“La ciencia ha de interesarse en las ideas y no tanto en las personas” . Marie Curie***



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

# ÍNDICE

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>13</b>
2.1 <i>Introducción</i> .....	15
2.2 <i>Factores que influyen en la erosión</i> .....	18
2.2.1. Regeneraciones.....	21
2.2.2. Características del sedimento .....	25
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>33</b>
<b>5. METODOLOGÍA Y OBTENCIÓN DE DATOS</b> .....	<b>39</b>
5.1 <i>Evolución de la línea de costa</i> .....	41
5.2 <i>Clima marítimo</i> .....	44
5.3 <i>Toma de muestras de sedimento</i> .....	45
5.4 <i>Desgaste acelerado de partículas</i> .....	46
5.4.1. Granulometría.....	47
5.4.2. Carbonatos.....	51
5.4.3. Difracción de rayos X (DRX) .....	54
5.4.4. Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	56
5.4.5. Estudio estadístico.....	58
<b>6. CAPÍTULOS</b> .....	<b>61</b>
6.1. <i>CAPÍTULO 1: Estudio de los mecanismos de desgaste acelerados mediante ensayos de laboratorio</i> .....	63
6.1.1. Introducción.....	63
6.1.2. Área de estudio .....	64
6.1.3. Resultados y discusión.....	66
6.2. <i>CAPÍTULO 2: Estudio del desgaste de la fracción mineralógica de los sedimentos en el sureste de España</i> .....	77
6.2.1. Introducción.....	77
6.2.2. Área de estudio .....	77
6.2.3. Resultados y discusión.....	81
6.3. <i>CAPÍTULO 3: Influencia de la granulometría en el desgaste del sedimento</i> .....	99
6.3.1. Introducción.....	99
6.3.2. Resultados y discusión.....	99
6.4. <i>CAPÍTULO 4: Mineralogía de la arena de las playas: característica clave de este material usado en la regeneración de playas.</i> .....	105
6.4.1. Introducción.....	105
6.4.2. Material empleado.....	105
6.4.3. Resultados y discusión.....	106
6.5. <i>CAPÍTULO 5: Caso práctico. Estudio de la evolución de una playa inicialmente de grava, regenerada con arena</i> .....	121
6.5.1. Introducción.....	121
6.5.2. Área de estudio .....	121
6.5.3. Resultados y discusión.....	124

6.6. CAPÍTULO 6: Causas del diferente comportamiento entre playas con características similares. Caso de estudio de las playas de San Juan y Guardamar del Segura.....	131
6.6.1. Introducción.....	131
6.6.2. Área de estudio .....	132
6.2.3. Resultados y discusión.....	133
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
Capítulo 1 .....	143
Capítulo 2 .....	143
Capítulo 3 .....	143
Capítulo 4 .....	144
Capítulo 5 .....	144
Capítulo 6 .....	145
Conclusiones generales.....	145
<b>8. FUTURAS INVESTIGACIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>9. APÉNDICE.....</b>	<b>151</b>
9.1. Artículos derivados de la presente tesis doctoral.....	153
9.2. Comunicaciones a congresos.....	153
<b>10.ANEJO: FICHAS DE PLAYAS.....</b>	<b>155</b>
10.1.Playas bañadas por el mar Mediterráneo .....	159
10.2.Playas bañadas por el mar Cantábrico.....	207
10.3.Playas bañadas por el oceano Atlántico .....	213
10.4.Playas bañadas por el mar Adriático .....	215
10.5.Playas bañadas por el mar Caribe .....	217
10.6.Playas bañadas por el oceano Índico .....	221
<b>11.REFERENCIAS.....</b>	<b>225</b>





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

# 1. RESUMEN

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## RESUMEN

---

La erosión costera es uno de los problemas más importantes a escala mundial, alrededor del 70% de las playas arenosas del mundo están en proceso de erosión. La costa es el lugar elegido por un elevado porcentaje de la población para vivir, es por ello por lo que su conservación es esencial. Sin embargo, actualmente es generalizado el proceso de retroceso de la línea de costa que se está produciendo en todas las playas de arena. Este tipo de movimientos se relacionan con los procesos erosivos que produce el oleaje al mover los sedimentos. Sin embargo, puede haber factores, que aún desconocemos, que están produciendo actualmente un cambio importante en el proceso de regresión de una playa.

La presente Tesis Doctoral se centra en el estudio del sedimento como parte esencial en la comprensión del proceso erosivo de la línea de costa. Para ello, en primer lugar se realizó la obtención de un ensayo de desgaste del sedimento, con el que poder obtener una primera aproximación del proceso involucrado en el desgaste de las partículas de arena (Capítulo 1). Para poder verificar si el proceso de desgaste del sedimento, verificado en el ensayo, se produce en la playa, se realizó un estudio del cuarzo azul, mineral cuyos yacimientos son muy localizados, y al que se pudo hacer un seguimiento a lo largo de la costa (Capítulo 2).

El siguiente paso, fue realizar un estudio de la influencia de la granulometría en el desgaste de dicho sedimento, estudiando nueve playas en las que se pudo comparar su comportamiento según cantidad de material empleado en el ensayo de desgaste acelerado, obteniendo así nuevos factores que influyen en el proceso de erosión (Capítulo 3). Por otro lado, no solo era necesario estudiar la granulometría del sedimento, ya que seguían sin ser respondidas numerosas cuestiones, para ello, se estudió la mineralogía, así como morfología de las partículas y ver su influencia en el proceso erosivo en la costa (Capítulo 4).

Finalmente se realizó el estudio de dos casos prácticos. En el primer se analizó la evolución erosiva de tres playas que inicialmente eran de grava y que se convirtieron en arena, pudiendo estudiar así la influencia de la tipología de arena aportada en la regeneración, así como los cambios antrópicos que pudiesen influir en la erosión de la línea de costa (Capítulo 5). En el segundo se estudiaron dos playas con características similares en cuanto a tamaño medio del sedimento y energía entrante a la playa, pero comportamiento diferente en cuanto a evolución de la línea de costa (Capítulo 6).

Del estudio realizado se ha dado un paso importante para conocer los factores involucrados en el proceso erosivo de las partículas que conforman la muestra arenosa y así poder proporcionar los argumentos necesarios a la hora de elegir una arena para una regeneración. Para ello, se ha inventado un nuevo ensayo “*desgaste acelerado*” con el que evaluar la durabilidad de la fracción arenosa. Así mismo, se ha comprobado que es necesario no solo tener en cuenta el tamaño medio de la arena, como se ha hecho de aquí atrás, sino hay que tener en cuenta factores como morfología, mineralogía y estratigrafía. De ello, dependerá entre otras cosas, la evolución de la línea de costa y una posible afección a los ecosistemas situados alrededor de la playa. En definitiva, el ingeniero costero deberá buscar un sedimento de calidad a la hora de realizar regeneraciones.

Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 2. ESTADO DEL ARTE

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 2.1 INTRODUCCIÓN

---

A lo largo del mundo, las zonas de costa son altamente productivas, sin embargo, se encuentran amenazadas (EEA ,2006), ya que son zonas en las que la población tiende a concentrarse, por ser zonas favorables para el desarrollo de las actividades humanas, lo que aumenta los posibles daños antropogénicos y naturales (Ballesteros.C et al, 2018). Una consecuencia de esta actividad humana es la creciente construcción de canalizaciones, desviación de canales o la regulación de los ríos, que han alterado la dinámica natural de las costas y generado problemas de erosión en todo el mundo (Syvitski y Saito, 2007; Syvitski et al., 2009; Anthony et al., 2014; De Leo et al., 2016). Es por ello que la erosión costera se está convirtiendo en un problema de intensidad creciente (Marchand 2010).

Este aumento del uso de la zona costera ha hecho que el trabajo de comprensión de los procesos que se producen en la playa y la variación de la línea de costa sea un objetivo cada vez más exigente en los estudios costeros. Solo en Europa, se estima que alrededor de 20.000 km de costa, que corresponden al 20% de toda su longitud, tiene problemas de erosión costera (EC 2005). Estas áreas son particularmente vulnerables no solo a los cambios impulsados por las actividades antrópicas sino también por los efectos del calentamiento global (Church et al. 2013, Nováčková, M., & Tol, R. S., 2018). Varios autores plantean una vinculación directa entre la erosión costera y el aumento del nivel del mar, además de establecer que debido a la tasa prevista de futuro de este aumento se producirá un agravamiento de la erosión costera, (Bird ,1993, Gornitz ,1990). Esto no es de extrañar, pues según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), desde mediados del siglo XIX, el ritmo de la elevación del nivel del mar ha sido superior a la media de los dos milenios anteriores; expusieron que durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 m (0,17 a 0,21 m). Para Brunn (1988), la consecuencia del cambio climático en la costa será un cambio en el nivel del mar y en consecuencia una alteración del perfil de la playa que tenderá a adaptarse a las nuevas condiciones hasta volver a una posición de equilibrio. Esta nueva configuración necesitará un aporte de sedimentos extraordinario que, en caso de no poder completarse con los recursos disponibles, se obtendrán mediante la erosión



paulatina de la playa. Este aumento del nivel del mar a su vez, producirá una disminución de los periodos de retorno de los eventos extraordinarios (tormentas, mareas anormales) la cual influenciará en los fenómenos de erosión costera (Cooper and McLaughlin, 1998).

Durante las últimas décadas, las investigaciones han proporcionado pruebas abrumadoras del cambio climático cuyas consecuencias son desastrosas, debido a unas emisiones antropogénicas de gases de invernadero desenfrenadas. La comunidad científica asegura que esas emisiones, especialmente las emisiones de CO<sub>2</sub>, pueden provocar que el planeta se caliente hasta siete grados centígrados a finales de este siglo (Hofmann, M., 2010). Estas emisiones, que provienen en gran medida de la quema de combustibles fósiles, están provocando que la presión parcial de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>) en la atmósfera presente una tasa de crecimiento. Este aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico sería aún más rápido si el océano no fuera capaz de actuar de forma relativamente rápida como sumidero de aproximadamente la mitad del exceso de CO<sub>2</sub> que se ha producido en estas últimas décadas debido a la acción antropogénica (Mackenzie et al, 2001; Sabine et al., 2004; Morse, J.W., 2006); Sabine y Feely, (2007), valoraron esta absorción en aproximadamente 127 Pg (Pg = 10<sup>15</sup> g C) de dióxido de carbono desde la época preindustrial. Si bien esta absorción ha mitigado el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera entorno a un 55% (Sabine et al., 2004; Sabine y Feely, 2007), a su vez ha provocado que el océano presente mayores cantidades de CO<sub>2</sub>, con el consiguiente impacto en los procesos químicos (por ejemplo, Caldeira y Wickett, 2003; Andersson y Mackenzie, 2004; Feely et al., 2004; Orr et al., 2005; Millero, 2007) y en la vida marina (Andersson et al., 2007; Fabry et al, 2008, 2009.; Cooley y Doney, 2009; Feely et al., 2009).

Entre los impactos más importantes sobre la química del agua de mar encontramos el descenso del estado de pH y la saturación de agua de mar con respecto a los minerales de carbonato de calcio; proceso al que se hace referencia como "acidificación de los océanos" (por ejemplo, Kleypas et al., 1999, 2006; Andersson et al, 2005; Orr et al, 2005). El pH normal del agua de mar en superficie es 8.1 a 8.2. Las predicciones son que dentro de los próximos 100 años, la absorción del exceso de CO<sub>2</sub> en los océanos podría dar lugar a un descenso del pH oceánico a 7,9 (Feely et al., 2001)

o incluso 7,8 (Gattuso et al., 1999). Algunos modelos de predicción prevén una disminución en el pH del océano de 0,7, lo que daría lugar al valor del pH oceánico más bajo en los últimos 300 millones de años (Caldeira y Wickett, 2003).

Debido a la disminución del grado de saturación del carbonato en el agua de mar, numerosas actuaciones experimentales han demostrado que, para especies calcificantes de corales, foraminíferos, cocolitofóridos y algas coralinas y comunidades de carbonato, la tasa de calcificación disminuye (ver por ejemplo Gattuso et al., 1999; Riebesell et al, 2000; Langdon et al., 2000; Orr et al, 2005). Además de reducir la producción de mineral de carbonato marino biogénico, el bajo estado de saturación del agua de mar dará lugar a un aumento de la disolución de carbonato mineral (Andersson et al, 2003, 2005). De hecho, la disolución de minerales de carbonato jugará un papel cada vez mayor en el futuro de los cambios en la química del océano y la capacidad de los océanos para absorber el CO<sub>2</sub> atmosférico (por ejemplo, Garrels y Mackenzie, 1980; Andersson et al, 2003, 2,005). A pesar de que es sabido que la acidificación de los océanos aumenta en cierta medida la disolución de carbonato, este hecho ha recibido relativamente poca atención en comparación con el efecto sobre la capacidad de los organismos a calcificarse (Andersson et al, 2003).

Si hablamos del Mediterráneo español cabe destacar el informe del Instituto Español de Oceanografía que resalta que desde la década de los 90 del siglo pasado, ha sufrido un ascenso del nivel del mar, cifrado entre 2.5 y 10 mm/año, el cual supone un aumento en la actualidad de entre 5 y 20 cm, ocasionando un proceso de erosión costera que se suma al déficit de sedimentos (Vargas-Yáñez, et al, 2010).

Este tema ha sido retomado por varios autores (Hughes and Brundrit, 1992; Jelgersma et al., 1993) como justificación para el desarrollo de índices de vulnerabilidad de la costa y procedimientos de análisis de riesgo para ayudar a los planificadores costeros, gerentes, ingenieros y desarrolladores a llevar a cabo su responsabilidad profesional en el tratamiento de las respuestas adecuadas al cambio climático futuro (Hughes and Brundrit, 1992).

## 2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EROSIÓN

---

Cuando comenzamos a analizar el proceso erosivo que se produce en la costa, no resulta fácil conocer si el sistema litoral está afectado por procesos de erosión o no. En primer lugar, se hace necesario conocer y entender la multitud de parámetros que condicionan cada zona y su evolución en el "pasado reciente" respecto a la dinámica litoral (Bardají et al., 2009). Estos factores que influyen en la erosión costera pueden tener naturalezas muy diversas: por una parte podemos encontrar parámetros que dependan de la acción antropológica que exista en la zona y por otra parte factores naturales, los cuales a su vez pueden ser intrínsecos de un área como por ejemplo la morfología o la composición de los sedimentos, o pueden ser factores cambiantes tales como el clima marítimo (Isla et al., 1998; Juárez and Isla, 1999; Rosselló, 1986; Pardo, 1998; Sant Jaume et al., 1996; Marcomini and López, 1997; Schnack et al., 1983).

Entre los factores antropológicos que han influenciado a lo largo de los años el proceso erosivo de las costas se considera fundamental la construcción (Isla et al., 1998; Juárez and Isla, 1999), que junto al crecimiento demográfico que ha ocurrido en las últimas décadas, ha provocado un desarrollo urbanístico, suponiendo un gran impacto en el litoral. Además, la sucesiva construcción de defensas costeras, puertos deportivos, puertos comerciales, paseos marítimos, espigones y demás obras, han modificado el aspecto de la fachada litoral alterando la dinámica costera (Priskin, 2003), en concreto el transporte longitudinal de sedimentos, alterando la sedimentología y la morfología costera. Dicha influencia ha sido estudiada en diversos trabajos desarrollados en las últimas décadas (Rosselló, 1986; Pardo, 1998; Sant Jaume et al., 1996).

No menos importante es la construcción de embalses, presas, encauzamientos de ríos y barrancos, así como todos los elementos que hayan supuesto una modificación en la aportación natural de sedimentos de origen terrestre a nuestras playas, ya que según López Bermúdez y Gomaríz Castillo (2006) la gran cantidad de sedimentos que se aportan en periodos de avenida, constituyen en el Mediterráneo uno de los factores más importantes en la regulación del litoral debido a la importante erosión del suelo que registran en sus cuencas. De la misma forma, Serrato et al. (2013) afirman que el aporte de sedimentos a las playas procede básicamente de las siguientes fuentes:

organismos marinos (conchas, corales etc.), erosión de la costa rocosa, sedimentos procedentes del intercambio duna-playa por acción del viento, aportes procedentes de la erosión de la playa ocasionada por temporales y sedimentos transportados por ríos y ramblas, siendo estos últimos los que constituyen la fuente de alimentación más importante. Se han realizado distintos estudios en los que se examinan las cuencas y caudales de distintos ríos, concluyendo que existe un aumento en la esorrentía debido a la antropización del suelo (Xian et al., 2007), lo que provoca una menor carga de sedimentos en suspensión en las corrientes de los ríos (Liu et al., 2007; Mutema et al., 2016; Syvitski et al., 2005). Por ejemplo, de acuerdo con Syvitski et al. (2005) menos del 50% del material erosionado por los ríos alcanza las costas del mundo.

En cuanto a los factores naturales que alteran y modelan el sistema litoral, destacan fundamentalmente la acción conjunta de viento y agua, que condicionan la morfología, la distribución del sedimento y la presencia de ecosistemas biológicos propios que confieren nuestras playas (Jabaloy-Sánchez et al., 2010). El viento juega un papel fundamental ya que es quien condiciona la dirección del oleaje y las corrientes litorales y, por tanto, el transporte de sedimentos (Serrato et al., 2013). El grosor de la columna de arena que se moviliza cuando es afectada por estos procesos hidrodinámicos, durante periodos de tiempo cortos y largos, se le conoce como profundidad de activación (King, 1951; Otvos, 1965; Williams, 1971; Greenwood y Hale, 1980; Wright, 1981; Sunamura y Kraus, 1985; Fucella y Dolan, 1996; Ciavola et al, 1997), y su conocimiento nos permite una mejor comprensión de los procesos erosivos cercanos a la costa, al igual que la predicción de la erosión de la playa durante las tormentas. Este tema ha sido ampliamente estudiado en campo usando varios métodos. En la literatura existen dos grupos principales de ecuaciones empíricas que relacionan la profundidad de activación con la altura de ola en rotura. Por un lado, las propuestas por King (1951), Sunamura y Kraus (1985) y Anfuso et al. (2000) en las que son de aplicación para playas de pendiente suave, donde la profundidad de perturbación es aproximadamente 1-4% de la altura significativa de ola en rotura; y por otro lado, las relaciones propuestas por Otvos (1965), Williams (1971), Jackson y Nordstrom (1993), Jackson y Malvarez (2002) y Ciavola et al. (1997) para las playas escarpadas, con valores de activación que van desde 18 a 40% de altura significativa de ola en rotura. Las

fórmulas propuestas por los anteriores autores fueron obtenidas a partir de ensayos en campo, fueron Ciavola et al, (2006; 2013) quienes se han dedicado a realizar ensayos en canal con el fin de estudiar el grosor de capa movida. Modelizaron playas regeneradas, con y sin protección, y playas con y sin sistemas de drenaje. Durante los ensayos fueron variando la altura de ola, periodo y pendiente de las playas modelizadas. Obteniendo Ciavola et al, (2006) valores de profundidad de perturbación del 20% de la altura de ola significativa y el 8% del periodo y Ciavola et al (2013), valores entre el 2,5-4,1% de la altura de ola en rotura para sistemas no drenados y 2,3-6,4% de la altura de ola en rotura para sistemas drenados. Sin embargo ninguno de los autores citados anteriormente tiene en cuenta el ángulo de incidencia de la ola, siendo Bertín et al, (2008) el primer autor que obtiene valores de profundidad de activación teniendo en cuenta dicho parámetro.

Anfuso et al, (2001) señala que, los factores intrínsecos más importantes que controlan la estabilidad de las playas regeneradas son: el gradiente del perfil de playa diseñado, el tamaño y densidad de los sedimentos de préstamo, así como la porosidad (Román-Sierra et al, 2014). Eitner (1996), en un estudio sobre regeneraciones de playas en Alemania, encontró que la densidad del grano influyó fuertemente en la longevidad del relleno de las playas, incluso más que el tamaño de grano del sedimento.

Por otro lado, la presencia de especies vegetales como la *Posidonia oceanica* o *Cymodocea Nodosa*, es también de gran relevancia. Estas especies son las encargadas de disminuir la energía entrante en la costa, así como de estabilizar el fondo marino (Duarte, 1991; Duarte et al., 1998; Koch et al., 2006). Estas especies vegetales las encontramos, en el Mediterráneo, situadas normalmente hasta la batimétrica -50 m en condiciones limpias (Borum et al., 2004; Duarte, 1991; Duarte et al., 1998). Además, estas especies son particularmente sensibles al deterioro de la calidad tanto del agua como de los sedimentos que colonizan (Marbà et al., 1996). Sin embargo, su correcto desarrollo necesita de muchas décadas de mantenimiento de estas condiciones (Mateo et al., 1997).

### 2.2.1 REGENERACIONES

---

Aproximadamente el litoral de la Unión Europea presenta una extensión de 170.000 km con más de 70 millones de habitantes (Ondiviela, B et al , 2014). La erosión y las inundaciones suponen una seria amenaza a esta importante línea de costa altamente poblada (Alcamo et al., 2007). Parte de las inundaciones son provocadas por el aumento del nivel del mar, aunque es probable que su magnitud y velocidad de cambio varíen a lo largo de amplias escalas espaciales y sean difíciles de predecir localmente (Cazenave y Llovel, 2010; Han et al., 2010). Son numerosas las predicciones de aumentos en la frecuencia o intensidad de las tormentas (Allison et al., 2009; Bender et al., 2010). Es probable que el resultado sean tormentas costeras más devastadoras, combinadas con un aumento continuo de la erosión costera (Douglas et al., 2001), las inundaciones, la inundación gradual de las tierras bajas y, en muchas zonas, la salinización de las aguas subterráneas (Alpar, 2009; Hossain, 2010). Por todo esto, es necesaria una acción inmediata, tanto para reducir las emisiones como para prepararse para el cambio inevitable, proteger las costas de los aumentos previstos de la frecuencia o intensidad de las tormentas, así como para los efectos a más largo plazo, como el aumento del nivel del mar y el aumento de la erosión. En la medida de lo posible, esa protección costera debe lograrse sin poner en peligro los importantes servicios y beneficios derivados de los océanos, incluidos los servicios de los ecosistemas, como el suministro de alimentos, el turismo y la recreación, y el almacenamiento y la retención de carbono.

Hasta el momento, gran parte de los esfuerzos de protección costera se han basado en medidas "duras" (rompeolas, diques, espigones, etc.) para contrarrestar la erosión costera (Rosenzweig et al., 2011; Sterr, 2008; Titus et al., 2009). Tales medidas han proliferado en la segunda mitad del siglo XX, llevando a un severo "endurecimiento" de las zonas costeras y a cambios en la estructura sedimentaria (Airoldi et al., 2005). Estas defensas duras tienen un impacto inmediato en la biodiversidad local (Firth et al., 2014), altera los regímenes hidrodinámicos locales, lo que a su vez afecta a la capa de sedimentos, la deposición y el tamaño de grano, con impactos concomitantes en los

ecosistemas sublitorales adyacentes (Bertasi et al., 2007; Walker et al., 2008) y playas (Bastos et al., 2012; Veloso-Gomes et al., 2004).

Los efectos de la erosión son particularmente agudos en las playas arenosas, donde el desarrollo costero y la construcción de defensas “duras” de la costa, han alterado los patrones normales de viento, olas y movimiento de corrientes. Por otro lado, los espigones interrumpen la deriva litoral de los sedimentos impulsada por las corrientes costeras, lo que permite la deposición de sedimentos a la deriva y el aumento del ancho de la playa. (Finkl y Walker, 2004).

Si bien, tales enfoques de protección de la costa pueden ser importantes y altamente efectivos, también pueden ser costosos de construir y mantener (Anthony y Gratiot, 2012; Bosello et al., 2012). Las estructuras duras también pueden fallar, y hay muchos ejemplos de estructuras de este tipo que agravan los problemas de erosión costera o dañan áreas adyacentes (Brown et al., 2011; Saengsupavanich et al., 2009; Stancheva et al., 2011).

En contraposición a este tipo de medidas duras, en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de iniciativas que proponen acciones blandas de mitigación para reducir el riesgo de inundaciones y erosión. Aunque las opciones ecológicas no siempre proporcionan la defensa requerida, la combinación de ingeniería y ecología parece ser un camino prometedor hacia soluciones innovadoras de protección costera (Bouma et al., 2014).

Numerosas playas, dunas e islas de barrera, han sido construidas con arena, que han servido para disipar la energía de las olas y proporcionar importantes reservas de sedimentos que pueden sostener el mantenimiento de las costas e incluso cierto grado de adaptación al aumento del nivel del mar (Defeo et al., 2009). Además, se sabe que las praderas de vegetación marinas (*Posidonia oceánica*) atenúan tanto las olas como las corrientes (Bradley y Houser, 2009; Fonseca y Cahalan, 1992; Koch y Gust, 1999). La altura de las olas puede reducirse entre un 13% y un 66% (McIvor et al., 2012a). En un estudio realizado en el Reino Unido, las marismas salinas redujeron la altura de las olas en casi un 61%, y la energía total de las olas en una media del 82% (Möller et al., 1999). También pueden aumentar el asentamiento, la captura y el almacenamiento de

sedimentos, lo que en algunos casos conduce a la acumulación vertical del lecho marino (Cochard et al., 2008; Gacia et al., 1999; Koch et al., 2006; van Keulen y Borowitzka, 2003). Se ha demostrado que la pérdida de hábitat de pastos marinos disminuye estos procesos y aumenta la erosión (Peterson et al., 2002).

Además, es bien sabido que las regeneraciones pueden provocar daños en las praderas de *Posidonia oceanica* adyacentes (Fernández Torquemada y Sánchez Lizaso, 2005; González-Correa et al., 2008), al aumentar considerablemente la turbidez del agua y reduciendo así la luz que incide en la pradera, lo que puede ocasionar cambios drásticos en su crecimiento y su posterior desaparición (Medina et al., 2001), llegando en los casos más extremos al enterramiento de la planta. En caso de que dicha regeneración fuese moderada, la planta sería capaz de resistir ya que la tasa de crecimiento vertical promedio se ha evaluado en 1 cm/año en el Mediterráneo (Marbà et al., 1996, Pagán, J. I., et al 2016, Aragonés, et al., 2015).

Por otro lado, la *Posidonia oceanica* ofrece otras ventajas que podrían llegar a perderse si se produjese su desaparición, y es la conservación del fondo marino. La estructura tridimensional de los rizomas constituye un cierto armado del sedimento arenoso de la playa sumergida que, junto con las raíces y hojas, frenan los movimientos sedimentarios del fondo marino, provocando que los cambios de perfil de la playa sumergida sean bastante más lentos de lo que serían en ausencia de la pradera (Medina et al., 2001).

En los últimos años, se ha estudiado, la opción de estructuras físicas naturales, como son los arrecifes de ostras. Se han llegado a considerar como rompeolas, presentándose como una alternativa rentable a los rompeolas de piedra caliza. Los rompeolas de ostras vivos son una alternativa atractiva, ya que pueden construirse utilizando materiales nativos sostenibles, tienen el potencial de aumentar de tamaño con el tiempo y es menos probable que necesiten una reposición a largo plazo para seguir siendo eficaces (Piazza et al., 2005). El establecimiento y la eficacia de estos arrecifes para la protección del litoral se ven influenciados por los regímenes hidrodinámicos locales, y los beneficios más protectores se documentan en entornos de baja energía (Borsje et al., 2011; Meyer et al., 1997).



Aumentar nuestro conocimiento de los sistemas naturales abrirá posibilidades para soluciones híbridas donde la ingeniería dura se combina con los ecosistemas naturales. Algunos ejemplos podrían ser la construcción de estructuras artificiales para apoyar la restauración de los arrecifes naturales de mariscos (Scyphers et al., 2011) o los arrecifes de coral (Precht, 2009; López, et al., 2016). A menor escala se han llevado a cabo experimentos para crear construcciones de hormigón que fomenten el asentamiento de comunidades bentónicas más diversas y productivas. Por el contrario, a muy gran escala se pueden construir o mejorar sistemas dunares enteros y comunidades de marismas salinas a través de la nutrición de la arena o la ingeniería de diques y canales artificiales para fomentar la precipitación de sedimentos (Borsje et al., 2011; Jones et al., 2010; van Slobbe et al., 2013).



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

### 2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL SEDIMENTO

---

La primera característica física de los sedimentos que nos puede aportar información es el tamaño de grano. Una partícula de mayor tamaño necesita más flujo o energía para mantenerse en suspensión. La suspensión es el medio más frecuente de transporte de sedimentos hasta que la velocidad de la corriente disminuye, momento en el que comienza el depósito (Horikawa, 1998). Se trata de un proceso selectivo, ya que los materiales que asentarán en primer lugar serán los más gruesos y a medida que va disminuyendo la energía continuará el proceso cada vez hacia partículas más finas. Así vemos como autores como Demarest and Kraft (1987) relacionan los movimientos de la línea de costa con el movimiento de los sedimentos por encima de la profundidad off-shore ya que estos se van recolocando dentro del perfil, mientras que los que están fuera de ese límite será muy difícil su retorno a la playa (Hallermeier, 1980; Hallermeier, 1978; Stauble and Cialone, 1997). Además, sedimentos que no se ven afectados por la dinámica litoral sí que están sujetos a movimientos gravitacionales, que provoca que los sedimentos más finos tiendan a moverse desde la plataforma continental hasta las llanuras abisales (Aragonés, et al. 2016b). Por otro lado, dentro de la zona de swash se produce una traslación de sedimentos que produce una clasificación en los mismos a lo largo del perfil, donde el sedimento estará mejor clasificando en la dirección del transporte de los sedimentos (Stauble & Cialone, 1997). Dentro de este transporte transversal a la costa en la zona litoral se muestra una tendencia a clasificarlos en dirección hacia el mar debido fundamentalmente a la variación de la energía de las olas conforme llegan a la costa y a las corrientes en su proceso de transporte de sedimentos (Guillén and Hoekstra, 1996; Niedoroda et al., 1985).

Son numerosos los autores que dentro sus formulaciones utilizan el  $D_{50}$  para el cálculo del perfil de equilibrio, ampliamente utilizado en el cálculo de volúmenes en una regeneración de playa (por ejemplo: Aragonés et al., 2016b; Dean, 1977; Larson, 1991; Vellinga, 1982); por lo que los sedimentos son uno de los elementos que pueden hacernos entender mejor los procesos litorales, debido a la relación que existe entre el tamaño, peso específico y la energía del oleaje. En general, el carácter de los sedimentos oceánicos no se determina solo por la fuente de la que se derivan, sino que hay factores

físicos, químicos y biológicos que controlan la naturaleza de estos depósitos (Salazar et al., 2004).

En cuanto a la composición química y mineralógica de los sedimentos marinos, éstos están compuestos en elevada proporción por carbonatos, siendo el segundo elemento más abundante en los océanos de todo el mundo (Milliman and Syvitski, 1992). El cuarzo y el carbonato bioclástico constituyen el principal componente del sedimento (De Falco et al., 2003). Por lo general, el carbonato cálcico presenta una menor resistencia a la abrasión y mayor vulnerabilidad a la disolución en comparación al resto de componentes de la arena (Pilkey, 1964). Los materiales calcáreos esqueléticos de tamaño grueso producen grandes cantidades de finos con una falta general de productos de abrasión de tamaño medio (Chave, 1964). La relación que existe entre el tamaño y la redondez de los fragmentos de carbonatos se puede explicar suponiendo que el tamaño del material se produce por una fragmentación inicial en zona de rompientes de pequeñas conchas frágiles, y que dicha fragmentación tiene lugar en entornos tanto de alta como de baja energía, la cual conlleva un posterior redondeo de los fragmentos (Pilkey, 1964). En cuanto a los granos de cuarzo, la disminución de la redondez con la disminución del tamaño es un fenómeno bien establecido y generalmente se atribuye al diferencial de las tasas de desgaste de los granos gruesos y finos. Los granos gruesos se redondean más rápido debido a un mayor impacto y una tendencia a ser transportados por rodadura en lugar de por suspensión (Folk, 1961; Pettijohn, 1957). Estudios más recientes sugieren que el motivo por el cual el grano presenta formas redondeadas es simplemente debido a su origen eólico (Armstrong-Altrin and Natalhy-Pineda, 2013).

Por otro lado, desde la revolución industrial la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por el hombre, ha aumentado considerablemente (Khatiwala et al., 2009). El océano absorbe dicho CO<sub>2</sub> atmosférico, causando que el pH disminuya y con él el estado de saturación del agua del mar con respecto a los minerales carbonatados (Feely et al., 2009). Esto puede provocar la disminución de la calcificación de los organismos y un aumento en la disolución de los carbonatos (Morse et al., 2007).

Sin embargo, no está claro el mecanismo que hace disminuir el tamaño de partícula, ya sea por disolución, aumento del  $\text{CO}_2$  o por simple desgaste.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 3.OBJETIVOS

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## OBJETIVOS

---

Esta tesis nació de la necesidad de explicar con detalle las causas del proceso erosivo en las costas. Hasta este momento el ingeniero costero solamente tiene en cuenta el tamaño medio del sedimento para regenerar playas. No se llega en ningún momento a plantear si el proceso erosivo que sufren las costas es distinto al del movimiento de los sedimentos como consecuencia del oleaje. Es por ello que nuestro objetivo es demostrar que el proceso erosivo no solamente se produce como consecuencia del cambio en la energía que entra en las playas, sino también por el propio proceso erosivo de las partículas y de la vida útil de estas.

Por lo tanto, los objetivos principales de esta tesis son:

1. Proporcionar un ensayo, que simulase el oleaje del mar, mediante el cual podamos saber la durabilidad de una arena para regeneración de una playa.
2. Conocer los mecanismos de desgaste a los que está sometido una arena.
3. La influencia de la mineralogía y morfología de las partículas en el desgaste de ellas. Para así, determinar los diferentes comportamientos de desgaste observados en los ensayos de laboratorio, para ello realizaremos estudios de mineralógica mediante DRX, y observación de sus caras de fractura mediante ensayos SEM.
4. Analizar si el desgaste observado en el ensayo realizado en laboratorio se producía también en la naturaleza.





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 4. ÀREA DE ESTUDIO

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ÁREA DE ESTUDIO

---

Para la realización de esta tesis, se ha estudiado un gran número de muestras de playa procedentes de diversos lugares, tanto a nivel nacional como internacional.

Las playas estudiadas, procedentes de costas españolas, pertenecen a las provincias de Alicante, Almería, Asturias, Cantabria, Castellón, Gerona, Mallorca, Murcia, País Vasco y Tarragona.

El resto de las muestras pertenecientes a costas internacionales, proceden de países tales como: Italia, México, República Dominicana y Tailandia.

Las muestras tomadas han permitido analizar playas bañadas por diferentes océanos y mares (Figura 1). Estos son: océano Atlántico, Índico y Pacífico. En cuanto a los mares son: mar Mediterráneo, Caribe y Cantábrico.

Las principales características de cada uno de ellos son:

- Océano Atlántico: es el más salado del mundo, sin embargo, su salinidad superficial varía en función de la latitud y de la estación. Por lo que las aguas más saladas se encuentran a 25º latitud norte y sur y en zonas tropicales de lluvias escasas y alta evaporación. Los valores más bajos de salinidad, los encontramos al norte del ecuador.

Las temperaturas pueden variar en función de la latitud y la época del año, pero se encuentra sobre los -2ºC. Al norte del ecuador se registran las temperaturas más cálidas, mientras que las más bajas se concentran en las regiones polares. Es muy común el desarrollo de huracanes entre agosto y noviembre, que tienden a producirse en las costas de África y moverse hacia el oeste del mar Caribe.

- Océano Índico: la salinidad de sus aguas se encuentra entre 3,2 y 3,7 %. Su temperatura superficial, a 20º latitud sur, es de unos 22ºC, mientras que en el este puede llegar a sobrepasar los 28ºC. A partir de los 40º latitud sur, las temperaturas del agua disminuyen. La circulación de las aguas es controlada por los flujos que provienen del océano Atlántico, el mar Rojo y las corrientes

antárticas. En cuanto a su clima, es muy variable. Al norte del ecuador predomina un clima monzónico, pero en el hemisferio sur, los vientos son más débiles, con esporádicas tormentas veraniegas. De octubre a abril, hay fuertes vientos que soplan en el noreste. El cambio de los monzones provoca ciclones que pueden afectar a la bahía de Bengala y el mar Árabe.

- Océano Pacífico: es el más grande de la Tierra. La salinidad de sus aguas es muy variable y depende de tres factores: vientos, evaporación y precipitaciones. Las zonas que presentan menores valores de salinidad (entorno al 3,2 %) se da en las zonas del extremo norte del océano. Y los valores más altos ocurren en el sureste, donde el agua alcanza hasta el 3,7 %. A mayor cantidad de precipitaciones, menor salinidad y a mayor evaporación, mayor concentración de sal. En cuanto a la temperatura, varían mucho, llegando a tener valores medios entre  $-1,4^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ , este último valor, presente en zonas cercanas al Ecuador. En general, el Pacífico Norte, es más cálido que el Pacífico Sur.

Dentro de su área, hay una gran actividad volcánica, y es lugar de violentos terremotos. De mayo a diciembre es época de ciclones tropicales en el sur de Asia y entre junio y octubre, los huracanes suelen embestir el sur y norte de Norteamérica y América Central.

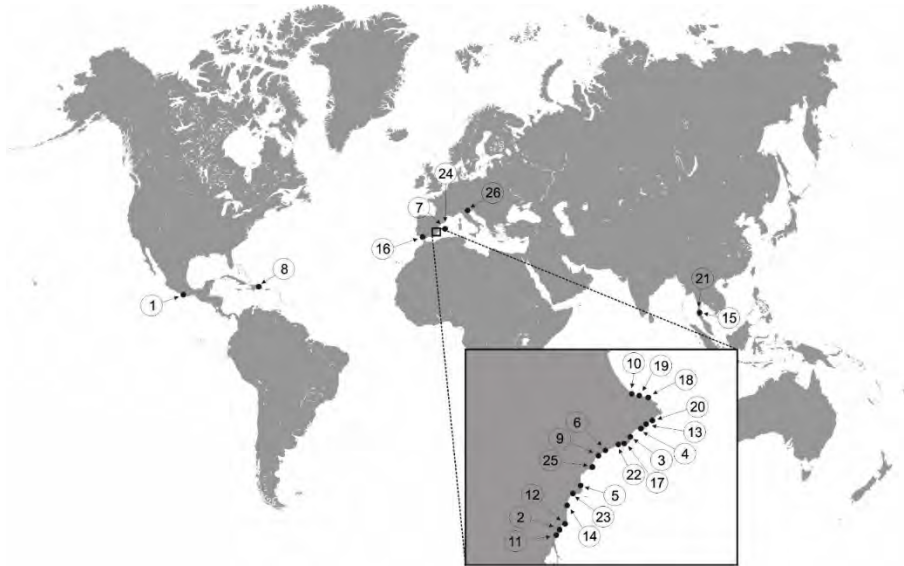
- Mar Mediterráneo: se conecta con el océano Atlántico, el cual es su fuente de renovación y reposición de agua. Únicamente se conecta por el estrecho de Gibraltar, por lo que su cuenca está casi completamente cerrada. Sus aguas poseen una salinidad mayor a la del Atlántico. Esto se explica, debido a la casi independencia del mar Mediterráneo, ubicado en una zona de clima subtropical con una elevada evaporación. Las grandes lluvias y los aportes fluviales no son suficientes para poder compensar la evaporación de estas grandes superficies de agua.

En cuanto a los oleajes, no es un mar tranquilo, aunque bien es cierto, que sus tormentas son menos violentas que en Atlántico. Las olas no son tan altas como las oceánicas y es muy raro ver olas de 5 metros de altura.

- Mar Cantábrico: es el mar litoral del océano Atlántico. Posee una salinidad media del 3,5%, aunque este valor varía mucho en función del régimen de lluvias imperante en la zona. Constituye un mar de transición entre los mares fríos del

norte y los templados del trópico. La temperatura del agua cambia a lo largo del año, mientras que en verano puede alcanzar los 22°C, en invierno baja hasta los 11°C. Este mar es más caliente de lo que debiera atendiendo a su situación geográfica, ello es debido a la Corriente Atlántica Superficial, que trae aguas cálidas desde el Golfo de México, de no ser por esa corriente, el mar y toda la cornisa cantábrica experimentaría un clima mucho más frío. Así mismo, los fuertes vientos que soplan sobre él le hacen un mar muy agitado. En invierno, los fuertes temporales de viento y lluvia, ocasiona olas que pueden alcanzar los 8m de altura, especialmente cuando esos vientos son de componente norte. Además, este mar, se rige por sus ciclos de mareas, que llegan a tener una variación de nivel de más de 4m de altura.

- Mar Caribe: este mar es un gran cuerpo de agua salada ubicado al sureste del Golfo de México y al oeste del océano Atlántico, entre las latitudes 9º y 22º Norte y las longitudes 89º y 60º Oeste. Es uno de los mares más grandes del mundo. Tiene propiedades físicas, químicas y mecánicas que lo hacen muy homogéneo, con una salinidad de 3,6%. La temperatura media es de 27°C, y no suele variar más de 3°C a lo largo del año. La temporada de enero a mayo, es la que registra mayor salinidad, en tanto que la de junio a diciembre, es la que registra menor salinidad. En verano, el mar a menudo es azotado por huracanes. En promedio cada año, se forman alrededor de 9 tormentas tropicales en el Caribe, que pueden evolucionar a huracanes.



*Figura 1. Ubicación playas estudiadas*



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 5. METODOLOGÍA Y OBTENCIÓN DE DATOS

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 5.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

---

Con el objetivo de conocer la evolución a lo largo del pasado reciente en las zonas de estudio, se ha realizado un estudio de la evolución de la línea de costa. Para ello se han hecho uso de fotogramas y ortofotos.

Los fotogramas empleados proceden de dos fuentes distintas, el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y el Servicio Provincial de Costas de Alicante. El formato de distribución de los fotogramas es el Enhanced Compression Wavelet (ECW), formato de fichero propietario para imágenes raster georreferenciadas que permite ratios muy altos de compresión con poca pérdida de información. En el caso de estos fotogramas, el ratio es 10:1 respecto a la imagen original (TIF), lo que se traduce en un tamaño de los ficheros reducido sin repercutir en la calidad de la imagen. Los fotogramas poseen coordenadas aproximadas de sus centros en formato ETRS89 Huso 30 Norte. Estos fotogramas se distribuyen bajo licencia CC-BY 4.0. Esta licencia ampara el uso libre y gratuito, siendo la única estricta obligación la de reconocer y mencionar el origen y propiedad de los productos y servicios de información geográfica licenciados como del IGN, lo cual ya hemos indicado en este apartado. De ahora en adelante en este documento, cada vez que se haga referencia estos datos se entenderá que se ha cumplido con los requisitos de reconocimiento de la autoría y origen de los fotogramas.

Respecto a los fotogramas proporcionados por el Servicio Provincial de Costas de Alicante, estos provienen de su base de datos, proveniente del escaneo de los fotogramas en papel de diversos vuelos realizados sobre la costa. Poseen características comunes a los anteriormente citados, en cuanto han sido proporcionados en formato ECW y se encuentran en color. Sin embargo, ninguno de estos fotogramas posee coordenadas ni información acerca de su escala de vuelo, aunque por la información proporcionada esta oscila entre 1:35000 y 1:5000. El tamaño de pixel (GSD) se establece en 1 m.

En cuanto a las ortofotos empleadas se ha realizado una búsqueda en diferentes catálogos de datos espaciales para obtener el mayor número posible de ortoimágenes cubriendo la zona de estudio durante el periodo de tiempo analizado. Principalmente se emplean aquellas obtenidas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, PNOA, cuyo objetivo es la obtención de ortofotografías digitales de alta resolución (25-50 cm) cada 2-3 años, aunque también se utilizan las imágenes obtenidas de la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales, IDEV del Institut Cartogràfic Valencià, y de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Región de Murcia, IDERM. Estas ortofotografías se distribuyen en mosaicos que cubren una hoja del MTN50 (Mapa Topográfico Nacional 1:50.000) en formato ECW. Por otro lado, el acceso a otra serie de ortofotografías se realiza mediante el protocolo WMS. El Servicio de publicación de mapas (WMS) produce mapas de forma dinámica a partir de información geográfica presentando la información como imágenes digitales susceptibles de ser visualizadas en pantalla. La visualización de la imagen es en formato *raster* y existe la posibilidad de elegir entre varios sistemas de coordenadas.

El método empleado ha sido el descrito por Pagán (2018). Este método consiste en el uso de programas informáticos SIG (Sistemas de Información Geográfica), con los que se realiza una georreferenciación inicial de cada uno de los fotogramas de la zona de estudio. Una vez realizada la georreferenciación, se procedió a la vectorización de la línea de costa. Se digitalizaron dos líneas de costa diferentes, por un lado la línea definida por la última marca húmeda de la marea sobre el perfil de la playa y que define el límite exterior de la playa seca en la fecha de la fuente de referencia y usada generalmente como línea de costa. Por otro lado, la otra línea de costa se emplea para definir la extensión de la playa, por lo que se define por el contacto interno de la playa seca y la duna costera cuando está presente, la base de acantilados o el contacto con infraestructuras. Como única línea de referencia se toma la de 2014, ya que se considera más estable, siendo la elegida para los estudios de la evolución a largo plazo.

Este análisis del comportamiento de la línea de costa se realizó antes y después de las diferentes actuaciones antrópicas. A partir de la vectorización de las imágenes aéreas de la línea de costa en los años 1956, 1981, 1986, 1990, 1992, 1994, 1996, 1998 y de ortofotos en los años 2000, 2005, 2007, 2009, 2012, 2014 y 2017.

El siguiente paso para el estudio de la evolución de la línea de costa, fue la creación de superficies de playa, creándose un modelo que permitía crear las diferentes superficies a partir de ambas líneas para los años estudiados de cada playa.

Otro dato importante, fue la obtención de los transectos para estudiar la evolución del ancho de playa. Fueron creados transectos cada 100 m, con los datos obtenidos se hizo uso de diferentes estadísticos que aportan una información de gran interés, permitiendo un pronóstico del futuro ancho de playa.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 5.2 CLIMA MARÍTIMO

---

Era necesario conocer el oleaje incidente en el área de estudio, para ello se emplearon los datos facilitados por el Departamento de Clima Marítimo de Puertos del Estado. Los datos obtenidos, fueron recogidos diariamente durante el periodo de estudio por una serie de boyas tanto de la red REDEXT como de la red SIMAR. Estos datos se constituyen a partir de modelado numérico de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y oleaje de todo el litoral español, dando información sobre variables como, la altura  $H_{s,12}$ , periodo  $T_{s,12}$ , dirección y frecuencia de las olas, siendo  $H_{s,12}$  la altura de ola superada 12 horas al año y  $T_{s,12}$  su periodo asociado.

Para la obtención de la altura de ola característica y su periodo asociado en aguas profundas, se empleó el software de estudios estadísticos CAROL v1.0, desarrollado por la universidad de Cantabria.

En cuanto a la información relativa al estudio de mareas, hidrodinámico de corrientes, así como el transporte de los sedimentos, la información fue obtenida de los estudios ecocartográficos.

### 5.3 TOMA DE MUESTRAS DE SEDIMENTO

---

La toma de muestras de sedimento se realizó *in situ*, en formaciones costeras diferentes, en playas secas y sumergidas, en cauces de ríos y en formaciones dunares. En las formaciones en las que existían mayoritariamente gravas, pero también se evidenciaba la presencia de lentejones de arenas; se procedió de la misma forma pese a que la fracción arenosa no era representativa del conjunto de materiales presente. Se obtuvo sobre todo para determinar su composición mineralógica. En todas ellas se recogió un mínimo de cien gramos (250-300 g) y se tomaron las precauciones suficientes para evitar alteraciones por mezcla, contaminación o pérdida de muestra en el traslado a laboratorio. Estas muestras fueron tomadas tanto en el litoral Mediterráneo como en costas de distintos lugares del mundo: Italia, México y Tailandia.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 5.4 DESGASTE ACELERADO DE PARTÍCULAS

Para simular el comportamiento que las partículas de arena sufren en la zona de rompientes de la playa, y su influencia en la posible disolución de los carbonatos, así como en la disminución del tamaño medio ( $D_{50}$ ) de la muestra, se empleó un agitador magnético de 1600rpm (Figura 2).

Con ayuda de un imán, que consigue dotar al agua de una rotación mecánica, la muestra entra en movimiento y se mantiene girando durante 24 horas. Mediante este sistema de agitación magnética, la arena queda suspendida y se producen choques entre las partículas que la componen, de forma similar al proceso que ocurre en una playa debido a la rotura del oleaje. En caso de posibilidad de disolución de los carbonatos presentes en el material de la playa, este ensayo acelerará dicho proceso.



Figura 2. agitador magnético

En el vaso del agitador se vertió 0,5 l de agua de mar y el ensayo fue realizado con distintas cantidades de muestra: 60 g, 75 g, 100g, 120g y 150g.

Transcurridas 24 horas, se separan el agua y la arena mediante el empleo de un tamiz de 0.05 mm; por un lado, se mide la cantidad de carbonatos que presenta el agua del vaso del agitador y, por otro lado, la arena se vuelve a someter a un proceso de secado y tamizado, para obtener su granulometría de nuevo, y así poder obtener la evolución del tamaño medio del sedimento.

### 5.4.1 GRANULOMETRÍA

Se han llevado a cabo ensayos para la obtención y análisis de las características granulométricas de los sedimentos de las playas analizadas, con un doble objeto: i) caracterizar la distribución del tamaño de las muestras en una fase de inicio y, ii) registrar los cambios que se han ido produciendo en el tamaño tras cada fase del ensayo de desgaste acelerado de partículas. Por ello, se realiza este procedimiento tanto al inicio del ensayo como después de cada ciclo.

Mediante los análisis granulométricos se pretende conocer la distribución en porcentajes de finos y gruesos que componen las arenas por cada una de las muestras que han sido tomadas en el terreno.

Los ensayos se realizaron de acuerdo a la norma UNE 103 101(1995): Análisis granulométrico de suelos por tamizado. Se han consultado también de forma complementaria las normativas UNE 7050-2: Tamices de ensayo. Telas metálicas, chapas perforadas y láminas electroformadas. Medidas nominales de las aberturas, y la norma UNE 103 100: Preparación de muestras para ensayos de suelo.

El material necesario para llevar a cabo el ensayo es el siguiente:

- Una estufa de desecación, con temperatura regulable hasta 115°C (Figura 3. *ESTUFA DE DESECACIÓN*).



*Figura 3. Estufa de desecación*



- Una serie de tamices de malla cuadrada y tejido de alambre que cumplan con lo especificado en la Norma UNE 7 050-2 (Figura 4).



*Figura 4. Tamices Norma UNE 7 050-2*

- Una balanza con precisión 0,01 g (Figura 5).



*Figura 5. Balanza de precisión*

- Un mortero con manilla, que tenga la parte inferior de goma, y un mazo del mismo material para desmenuzar los terrones compuestos por las partículas del suelo (Figura 6).



*Figura 6. Mortero*

- Un cepillo y una brocha, para limpiar las mallas de los tamices (Figura 7).



*Figura 7. Cepillo y brochas*

En primer lugar y con una anterioridad superior a 24 horas del ensayo, es necesario secar las muestras a más de 100°C para eliminar los restos de humedad y poder realizar correctamente el ensayo granulométrico. Se extrae la muestra de la bolsa con un cucharón y se deposita en una bandeja apta para el horno con la etiqueta correspondiente a la muestra para no perder el origen de la misma.

Se coloca una bandeja encima de la báscula y se tara, para a continuación pesar la cantidad de muestra empleada. Para los distintos estudios se realizaron ensayos con 60 g, 75 g, 100 g, 120 g y 150 g.

En el proceso de pesaje de las muestras es necesario prestar especial atención para comprobar que la bandeja de la báscula esté limpia de partículas que puedan

contaminar la muestra o provocar una pesada incorrecta. La báscula se tara antes de cada pesada.

Pasado el tiempo suficiente para que las muestras estén completamente secas, se extraen de la estufa para realizar el ensayo granulométrico. Para ello, se prepara la báscula, limpiando la bandeja, tarándola y pesando la muestra inicialmente.

Antes de tamizar, se comprueba que los tamices están bien ordenados. El orden de los tamices (mm) de los que se dispone es, de mayor a menor: 1.25, 1.00, 0.80, 0.63, 0.50, 0.40, 0.32, 0.25, 0.20, 0.16, 0.125, 0.100, 0.080, 0.063, 0.005 y fondo. La muestra se vierte sobre los tamices y se tamiza de forma manual. El proceso de agitación del tamiz se prolonga el tiempo necesario para que todas las partículas en los tamices correspondientes queden ordenadas por tamaño de grano.

Una vez ha finalizado el proceso de agitación, se separan los tamices ordenadamente, se pesa el material que ha quedado retenido en cada tamiz y se toma nota de los datos. El peso registrado representará el retenido parcial. Se realiza el procedimiento con cada uno de los tamices de la serie elegida hasta que toda la muestra esta analizada, comprobando al finalizar que la suma de los datos anotados se corresponde con la medida de la muestra tomada al inicio del ensayo.

Tras realizar el tamizado, se procede a determinar el tamaño medio ( $D_{50}$ ) de la muestra de cada playa, es decir, determinar el tamaño correspondiente al tamiz por el que pasará el 50% del peso de la muestra.

### 5.4.2. CARBONATOS

Otro de los ensayos realizados fue el de calcimetría, la cual se realizan para conocer el contenido de carbonato cálcico de las muestras analizadas, permitiendo obtener el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  sobre el peso de la muestra. Se realizan en la muestra de sedimentos y en el agua de mar al inicio del ensayo, y después del agitador, se realizan sólo en el agua de mar. Con esto conseguimos conocer cuánto carbonato cálcico del sedimento va absorbiendo el agua tras cada ciclo de agitación.

Para conocer la cantidad de carbonatos que posee tanto el agua como las muestras analizadas, se procede a aplicar la norma UNE 103-200-93 determinación del contenido de carbonatos en el suelo, así como la norma UNE 103-100 preparación de muestra para los ensayos de suelo. El método que esta norma aplica es el calcímetro de Bernard (Figura 8), que se funda en la descomposición de los carbonatos por la acción del ácido clorhídrico, con desprendimiento de anhídrido carbónico gaseoso, según la reacción expresada a continuación [1]:



*Figura 8. Calcímetro de Bernard*

En este método se calibra el aparato con carbonato cálcico puro, por lo que no es necesario tener en cuenta la presión ni temperatura.

Los aparatos y materiales necesarios son:

- Un calcímetro como el representado en la Figura 8:
  - Soporte adecuado.
  - Tubo bureta de 100cm<sup>3</sup> de capacidad graduado en 0.2 cm<sup>3</sup>.
  - Tubo de nivel con depósito.
  - Matraz Erlenmeyer, de unos 200 cm<sup>3</sup>, con un tapón de goma atravesado por un tubo de vidrio.
  - Tubo de vidrio cerrado por un extremo, de longitud algo menor que el diámetro del fondo del matraz, y de unos 3 cm<sup>3</sup> de capacidad.
  - Tubo de goma o de plástico flexible, adecuado para conectar la parte inferior de la bureta con tubo de nivel y la superior con el tapón del matraz Erlenmeyer.
- Mortero con su pistilo
- Rodel de corcho
- Balanza que aprecie 0,01 g.
- Estufa de desecación cuya temperatura sea regulable hasta 115°C.
- Un papel satinado de color negro u otro color oscuro, de 30 mm x 60 mm y doblado en forma de angular.
- Pipeta o cuentagotas.
- Pincel muy fino.
- Disolución de cloruro sódico, próximo a la saturación, para usarla como líquido de cierre en el tubo de nivel.
- Carbonato cálcico muy puro.
- Ácido clorhídrico diluido, aproximadamente dos volúmenes de agua y uno de ácido clorhídrico concentrado.
- Tamiz 250 μm UNE 7-050.

Para conocer las cantidades de carbonatos tanto en las muestras de sedimento como en el agua empleada en el agitador, el procedimiento a seguir es el siguiente: Lo

primero es preparar la muestra, que debe ser representativa del suelo que se quiere analizar, tomando 10 g, según el procedimiento descrito en la norma UNE 103-100.

Secar en la estufa a 105°C -115°C, hasta masa constante y pulverizar en mortero de manera que todas las partículas pasen por el tamiz 250 µm UNE 7-050. Lo siguiente es llenar el tubo de nivel y la bureta con la disolución de cloruro sódico. Con la balanza, y sobre el papel especificado, tomar 0.20 g de carbonato cálcico puro previamente secado en estufa hasta masa constante. Introducir el carbonato cálcico, dentro del matraz Erlenmeyer, de forma que caiga en el fondo y ninguna partícula quede en las proximidades de la boca. Si quedan partículas adheridas al papel, hay que arrastrarlas dentro del matraz por medio de golpecitos o usando un pincel si es necesario.

Llenar el tubo de vidrio con la disolución del ácido clorhídrico por medio de una pipeta o cuentagotas, aproximadamente 5 ml, procurando que no quede ácido en la parte exterior del tubo. En caso de que caiga algo, lavar el tubo por fuera con el frasco lavador. Introducir el tubo con ácido clorhídrico dentro del matraz deslizándolo por la pared con cuidado, para que quede vertical y no se derrame nada. Dejar el matraz en posición para que no se caiga el tubo de vidrio, por ejemplo, sobre un rodel de corcho de tamaño apropiado.

Mover el depósito del tubo de nivel para que quede enrasado el nivel de la disolución con el de la bureta en la división cero. Manteniendo el tubo de nivel fijo, con la otra mano tomar el tapón de goma y cerrar el matraz apretándolo para que ajuste bien sin que se vuelque el tubo con la disolución de ácido clorhídrico. Enrasar de nuevo el tubo de nivel y hacer la lectura de las divisiones de la bureta donde se ha conseguido el enrase. Después de hecha esta lectura no volver a apretar el tapón.

Mover el matraz para que el tubo vuelque y vacíe el ácido, el cual empezará a reaccionar con el carbonato.

Es necesario que toda la muestra tome contacto con el ácido. Desplazar el tubo de nivel lo necesario para enrasar con el nivel de solución en la bureta hasta que se estabilice en una lectura. Cuando hayan transcurrido de dos a tres minutos con el enrase mantenido en la misma lectura de la bureta anotar ésta.

La operación de calibrado inicial, es necesario hacerla siempre que cambie la temperatura ambiente o la presión atmosférica. En general se hace para cada jornada. Para ensayar la muestra de arena, se procede en todo igual que en el proceso de calibrado, pero en vez de carbonato cálcico, se emplea la muestra de suelo.

Una vez tenemos los datos, para obtener el resultado final, se calcula por diferencia entre la lectura final de la bureta y la inicial, obteniéndose los centímetros cúbicos de anhídrido carbónico gaseoso producido en la reacción.

El contenido de carbonatos de la muestra expresada en tanto por ciento de carbonato cálcico se obtiene por medio de la siguiente expresión [2]:

$$\% CaCO_3 = \frac{0,2 \cdot v}{g \cdot V} \cdot 100 \quad [2]$$

donde:

0,2: gramos de carbonato cálcico empleado en el calibrado.

v: anhídrido carbónico medido en el ensayo de la muestra en cm<sup>3</sup>.

g: gramos de muestra ensayada.

V: anhídrido carbónico medido en el ensayo de tarado con CO<sub>3</sub>Ca en cm<sup>3</sup>.

Otro aspecto a analizar ha sido la cantidad de carbonatos que posee el agua del mar. El proceso a seguir fue el mismo que el anteriormente explicado para las arenas. Se comenzó haciendo calcimetría con 2 ml, 4 ml, 5 ml y 8 ml de agua. Se observó que a partir de 5ml, la cantidad que se obtenía de carbonato cálcico era la misma, por lo que en posteriores calcimetrías del agua, la cantidad que se ha usado ha sido de 5 ml. La cantidad de ácido clorhídrico que se ha hecho reaccionar ha sido la misma que con las arenas, 5 ml.

### 5.4.3. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

---

La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X (DRX) es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina. Cualquier sustancia cristalina produce un diagrama de difracción característico y, si la muestra

contiene más de una sustancia, el diagrama será una combinación de los correspondientes a ambas sustancias. Con la técnica de DRX es posible determinar una variedad de características de materiales macroscópicas y microscópicas, así como la estructura de compuestos que conforman los sedimentos. Los rayos X poseen la propiedad de difracción, que es la deformación que experimentan las ondas cuando encuentran un obstáculo en su camino. Los minerales actúan como redes de difracción para los mismos, ya que su interior son infinitos obstáculos periódicamente dispuestos cuya separación es muy parecida a longitud de onda de los rayos X (del orden de Angstroms [Å]).

Para entender el funcionamiento del DRX hay que tener en cuenta la estructura interna de los cristales. El orden periódico que presenta cualquier mineral es lo que hace que en él haya planos, en los cuales se ordenan esos obstáculos de los que antes hablábamos. Para que se difracten los rayos X se debe cumplir la Ley de Bragg, que dice que el ángulo de incidencia es igual al de difracción. Esto se puede lograr de varias maneras, pero la más sencilla es hacer polvo la muestra a analizar, para crear cristales pequeños del mismo mineral, pero de diferente orientación. El haz de rayos X incide en la muestra, y únicamente en los cristales con los que forma un ángulo concreto sale difractado un haz de rayos. De esta manera, se va formando un arco sobre la muestra para detectar las diferentes intensidades difractadas.

El detector electrónico se basa en la capacidad de ionización de los rayos X, permitiendo así, que el difractograma muestre una serie de picos a diferentes ángulos y con una intensidad determinada.

Algunas de las aplicaciones específicas de esta técnica son:

- Identificar las fases cristalinas presentes en una muestra de forma cualitativa.
- Detectar cambios en la composición química.
- Estudiar orientaciones preferenciales para identificar polimorfismo cristalino.
- Determinar el tamaño de los cristales.
- Determinación de coeficientes de dilatación térmica.



Los ensayos se realizan conforme a la norma UNE EN 13925: Ensayos no destructivos, difracción de rayos X aplicada a materiales policristalinos y amorfos. Parte 1, principios generales y su complementaria UNE 13925-2(2004) Ensayos no destructivos. Difracción de rayos X aplicada a materiales policristalinos y amorfos. Parte 2, procedimientos.

El equipamiento empleado para llevar a cabo la difracción de rayos X es el Bruker D8- Advance con espejo Göebel con cámara de alta temperatura (hasta 900oC), con un generador de rayos-x KRISTALLOFLEX K 760-80F (Potencia: 3000W, Tensión: 20-60KV y Corriente: 5- 80mA) provisto de un tubo de RX con ánodo de cobre.

Los difractogramas obtenidos nos muestran el porcentaje de la muestra que corresponde a cada mineral.

#### **5.4.4.MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)**

---

La microscopía es el conjunto de técnicas y métodos destinados a hacer visible los objetos de estudio que por su pequeñez están fuera del rango de resolución del ojo normal.

La microscopía óptica (microscopía de luz clásica), consiste en hacer pasar luz visible de una fuente a través de lentes ópticos simples o múltiples, para lograr una vista ampliada de la muestra. La imagen resultante puede ser detectada directamente por el ojo humano, impresa en una placa fotográfica o registrada y mostrada digitalmente.

En cambio, la microscopía electrónica de barrido es la técnica que consiste en utilizar un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Las imágenes que se obtienen en el microscopio electrónico de barrido corresponden a electrones secundarios o electrones retrodispersados emitidos tras la interacción con la muestra de un haz incidente de electrones.

Este haz de electrones se desliza sobre la muestra realizando un barrido en las direcciones X e Y de tal modo que la posición en la que se encuentra el haz en cada momento coincide con la aparición de brillo, proporcionalmente a la señal emitida, en

un determinado punto de la pantalla. La señal de electrones secundarios se forma en una delgada capa superficial. Son electrones de baja energía que pueden ser desviados fácilmente de su trayectoria emergente inicial y permiten obtener información de zonas que no están a la vista del detector. Esta particularidad otorga a esta señal la posibilidad de aportar información “en relieve”.

La emisión de electrones retrodispersados depende fuertemente del número atómico de la muestra. Esto implica que dos partes de la muestra que tengan distinta composición se revelan con distinta intensidad aunque no exista ninguna diferencia de topografía entre ellas. Además, el microscopio de barrido produce imágenes de alta resolución, de forma que las características más ínfimas de la muestra pueden ser examinadas con gran amplificación.

Se realiza la microscopía electrónica de barrido sobre las muestras de sedimentos para confirmar de forma visual los datos arrojados por la técnica anterior de difracción de rayos X. Al igual que en la DRX, esta técnica se lleva a cabo a priori y a posteriori de realizar el ensayo del agitador magnético. De esta forma, conseguimos una representación visual que nos puede ayudar a conocer en mayor profundidad los cambios que se producen en la composición mineralógica del sedimento.

El equipo con el que se realizan las microscopías de esta investigación es el Microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM-840, con las siguientes características:

- Voltaje de aceleración: desde 0,2 hasta 40kV.
- Cañón de electrones: termoiónico con filamento de W.
- Corriente del haz: de  $10^{-5}$  a  $10^{-12}$  A.
- Nivel de vacío en la columna:  $10^{-4}$  Pa
- Rango de aumentos: x10 hasta x300000
- Aperturas de la lente objetivo: 0,05 mm, 0,07 mm, 0,11mm y 0,17 mm.
- Movimientos de la muestra:
  - Dirección X - 50mm.
  - Dirección Y - 70 mm.

- Dirección Z - 40 mm (8, 15, 25, 39 y 48 mm).
- Inclinación de -5o a 90o.
- Rotación de 360o (sin fin).
- Captación digital de la señal analógica en 256 tonos de gris.
- Tamaño de la imagen: hasta 2048x1536.

Para poder visualizar las características del sedimento, se ha recurrido a aumentos muy diversos: x25, x40, x45, x50, x110, x130, x140, x150, x170, x190, x200, x222, x250, x270, x330, x400, x500, x600 y x700, dependiendo de lo que la propia muestra requiera.

Esta técnica se implementa sobre las playas del estudio, mostrando la existencia de componentes agregados al mineral de base (cuarzo) antes del ensayo de agitación; y deja ver como el mismo mineral se encuentra limpio de componentes secundarios en las pruebas realizadas a posteriori del agitador magnético, así como claros planos débiles de fractura.

#### **5.4.5. ESTUDIO ESTADÍSTICO**

---

Debido a la gran cantidad de muestras, ensayos y datos generados a lo largo del estudio, y con objeto de aportar una visión general de las características de las muestras estudiadas, se realiza un resumen de los datos más representativos obtenidos tras los ensayos:

- Ciclos (n): número de ciclos del ensayo de desgaste acelerado de las partículas que ha resistido la muestra. A partir del número de ciclo señalado la muestra ha quedado reducida a un tamaño inferior a 0.063 mm, dando por finalizada su vida útil y con ello el ensayo.
- Granulometría: Datos calculados a partir del análisis granulométrico.
- D0 y Dn: diámetros medios D50 en mm antes del primer ciclo (0) y después del último ciclo (n) del ensayo de desgaste acelerado. En ambos casos han sido incluidas todas las partículas que componían las muestras.

- D01, Du y D0n: pérdidas de diámetros medios D50 en % entre los ciclos "0" y "1" (01), durante el último ciclo (u) y entre los ciclos "0" y "n" (0n).
- M0 y Mn: masas en gramos antes del primer ciclo (0) y después del último ciclo (n) del ensayo de desgaste acelerado. En ambos casos no han sido incluidas las partículas inferiores a 0.063 mm.
- M01, Mu y M0n: pérdidas de masa en % entre los ciclos "0" y "1" (01), durante el último ciclo (u) y entre los ciclos "0" y "n" (0n).
- S0 y Sn: superficies específicas medias en mm<sup>2</sup> antes del primer ciclo (0) y después del último ciclo (n) del ensayo de desgaste acelerado. En ambos casos han sido incluidas todas las partículas que componían las muestras.
- S0n: ganancia de superficie específica en % entre los ciclos "0" y "n" (0n).
- CaCO<sub>3</sub>: porcentaje de carbonato cálcico disuelto en el agua, acumulado durante los "n" ciclos del ensayo de desgaste acelerado.
- Mineralogía: composición mineralógica de las muestras en %.

Partiendo de los datos anteriores, se realiza un análisis estadístico multivariado cuyo resultado queda resumido de la siguiente forma:

1. Resumen estadístico de todas las variables estudiadas. Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. De particular interés son las usadas para determinar si la muestra proviene de una distribución normal en campana de Gauss, como son el Sesgo y la Curtosis estandarizados; estos valores están fuera del rango (entre -2 y +2) indican desviaciones significativas de la normalidad. Se complementa el análisis con gráficas de Caja y Bigotes de las variables con estadísticos fuera de rango normal, en las que quedan identificadas, según Tukey, las muestras muy lejanas (3 veces mayores al rango intercuartil) o externas (1.5 veces mayores al rango intercuartil). Para identificar los valores atípicos se realiza la prueba de Grubb sobre las muestras con valores extremos, que mide el número de desviaciones estándar al que se encuentra la muestra de la media, y el valor-P de Grubb (resultados inferiores a 0.05 indican que el valor analizado es un aberrante significativo).
2. Se realizó un estudio de correlaciones (matriz de correlaciones) entre todas las variables estudiadas obteniéndose el momento producto de Pearson ( $\rho$ ) entre

cada par de variables (rango de coeficientes entre -1 y +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre las variables, mayor cuanto más cerca se encuentren los coeficientes a estos valores). A partir del momento producto de Pearson se calculó el coeficiente  $R^2$  de la regresión y se comparó con la escala de Evans (Evans, 1996), según la Tabla 1.

*Tabla 1. Fuerza de la relación entre variables en función del valor de  $R^2$*

Valor de $R^2$	Relación
1,0 – 0,8	Muy fuerte
0,8 – 0,6	Fuerte
0,6 – 0,4	Moderada
0,4 – 0,2	Débil
0,2 – 0,0	Muy débil

- Finalmente, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA), que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas (valores-P por debajo de 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95%).

---

## 6. CAPÍTULOS

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **6.1. CAPÍTULO 1: ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE DESGASTE ACELERADOS MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO**

---

### **6.1.1.INTRODUCCIÓN**

---

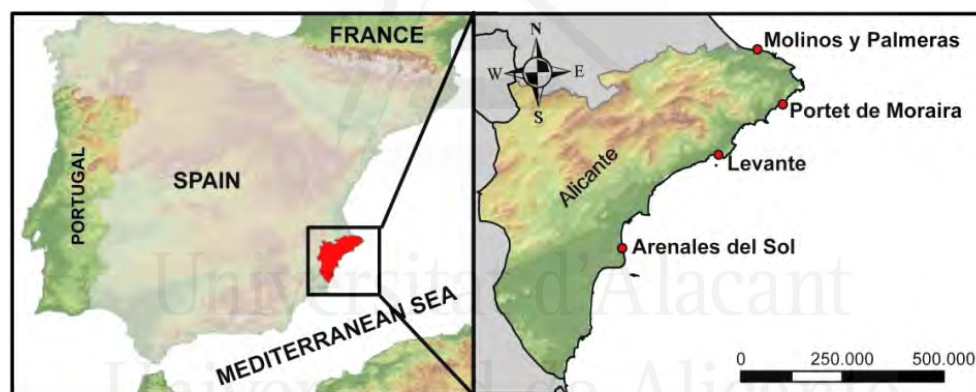
Uno de los principales problemas que presentan las costas de todo el mundo es la erosión de las mismas. Sin embargo, los factores que intervienen en este proceso no están claros. Es por ello, que en este capítulo se ha analizado la influencia del sedimento en la erosión, puesto que no está claro el mecanismo que hace disminuir el tamaño de partícula, ya sea por disolución, aumento del CO<sub>2</sub> o por simple desgaste.

La no existencia de un ensayo específico que nos mostrase el desgaste del sedimento nos hizo tener que plantear la simulación del proceso que sufre el sedimento en la zona de batientes cuando es golpeado por los oleajes incidentes, mediante un ensayo de desgaste acelerado de partículas, sometiendo a las muestras de arena y conchas de cuatro playas de la provincia de Alicante a dicho ensayo. De su observación se desprende que son varios los procesos que se producen durante el periodo del ensayo: (i) procesos de desgaste, (ii) disolución de la fracción carbonatada y (iii) rotura y separación de los componentes de las partículas. Todos estos procesos generan una reducción del tamaño de las partículas y como consecuencia una disminución del tamaño medio de la muestra. Para analizar en esas mismas playas cuál es la posición real de las partículas en su perfil transversal se observa como las partículas más pequeñas se sitúan más lejos de la costa y a mayor profundidad. Por lo tanto, el proceso de desplazamiento continuo de la partícula hacia su límite off-shore se va produciendo conforme va disminuyendo de tamaño, lo que hace que cuando sobrepasa dicho límite no retorne a la playa seca produciéndose el retroceso de la línea de costa.



### 6.1.2.ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca cuatro playas seleccionadas en función de su orientación y morfología localizadas en el litoral de la provincia de Alicante (38°20'43"N 0°28'59"W), situada en la Comunidad Valenciana en el sureste de la Península Ibérica, dentro del litoral del mar Mediterráneo (Figura 9. LOCALIZACIÓN DE LAS PLAYAS DE ESTUDIO. LA ORIENTACIÓN DE LAS PLAYAS ESTÁ REFERIDA AL NORTE). La provincia de Alicante cuenta con 244 km de costa, pudiéndose observar dos zonas morfológicas distintas. La zona norte que comprende prácticamente los dos tercios superiores de la provincia, formada por sierras y valles fluviales, donde encontramos generalmente playas de grava. En el tercio sur, formado por una gran llanura aluvial, está compuesta en su totalidad por playas de arena. Las mareas en la zona tienen amplitudes astronómicas comprendidas generalmente entre 20 y 30 cm, pero en ocasiones se producen mareas del orden de un metro por la suma de la marea astronómica y la meteorológica (ECOLEVANTE, 2006).



Beach	Municipality	Length (m)	Width (m)	Origin of sediment	Orientation
Portet de Moraira	Teulada	360,7	19,6	Marine dredging	200°
Arenales del Sol	Elche	5626,1	91,4	Artificial terrestrial input	81°
Levante	Benidorm	2262	60,2	Natural terrestrial input	187°
Molinos y Palmeras	Denia	2334,6	61,8	Artificial terrestrial input	312°

Figura 9. Localización de las playas de estudio. La orientación de las playas está referida al norte

En la Figura 10 se observar la evolución histórica de las playas de estudio. En la playa de Molinos y Palmeras (Figura 10A), la evolución se puede dividir en 3 etapas: i) desde 1981 hasta 1990 donde experimentó una crecida de la superficie seca debido a la regeneración que se llevó a cabo en 1986.ii) Entre 1990 y 1998 la superficie seca se

mantiene prácticamente estable. iii) Desde 1998 hasta la actualidad se puede apreciar que la superficie disminuyó del orden de 277830 m<sup>2</sup>.

Por otra parte, en la playa del Portet de Morarira, la línea de costa se ha mantenido en equilibrio desde de la construcción del puerto deportivo (años 80) hasta nuestros días, existiendo un pequeño basculamiento de la playa en su parte Este (Figura 10B).

La playa de Levante (Figura 10C) presenta una estabilidad elevada en el periodo total de tiempo evaluado (1981-2009). Ha presentado variaciones en su línea de costa, incluso algunos años, como ocurre entre 1981 y 1996 ha crecido ligeramente, sin entrar en regresión. En el periodo entre 1998 y 2005 la playa sufrió una regresión importante de más de 10 m de anchura en la zona oeste. Tras estos últimos años de cierta regresión, a pesar de su estabilidad, se optó por regenerar la playa en 2008 con un vertido de 15.000 m<sup>3</sup> de arena, con lo que se recuperaron los 10 m perdidos en la zona oeste.

Por último, en la playa de Arenales del Sol (Figura 10D), en la zona norte cabe resaltar que el ancho de esta línea pasó de 66 m en 1998 hasta 62 m en 2009, lo que supuso una pérdida del 0,8% anual. En la zona central de la playa, situada frente a las casas, la tendencia fue la misma que en la zona Norte, perdiéndose 25 m de playa desde 1986 (pérdida del 1,1% anual). Sin embargo, la zona situada más al sur se mantuvo prácticamente estable con pequeñas variaciones estacionales.

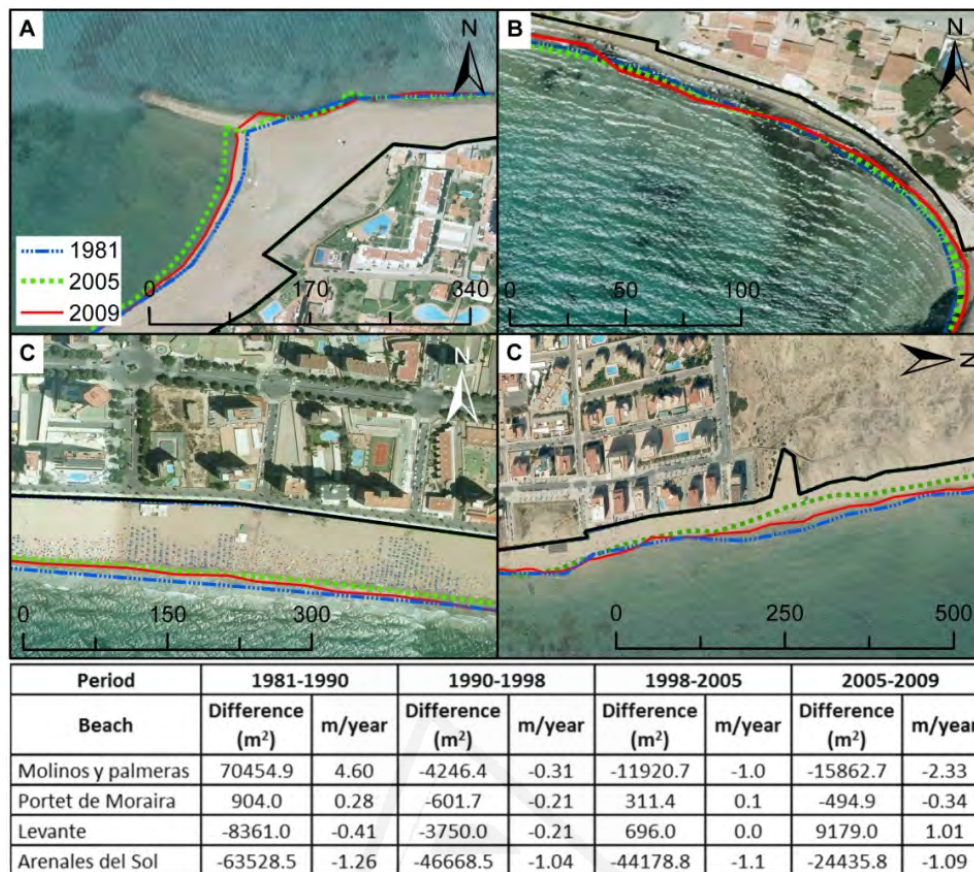


Figura 10. Evolución histórica, superficies y tasas de regresión por periodos. a) Molinos y palmeras b) Portet de moraira c) Levante y d) Arenales del sol.

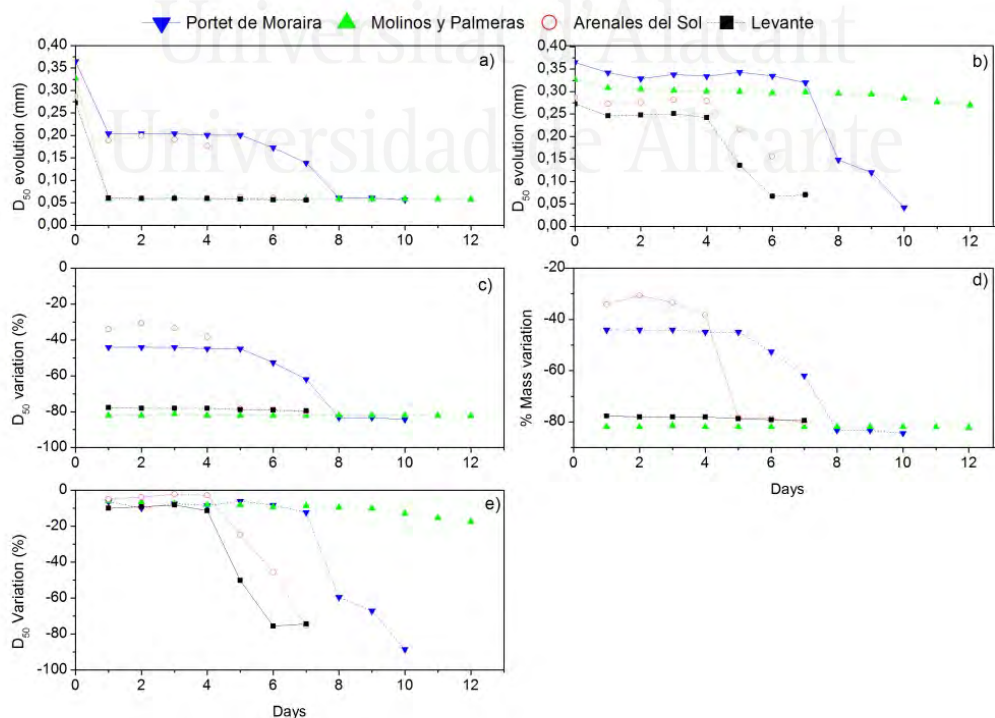
### 6.1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha intentado simular el proceso que sufren las partículas de las arenas en la zona de rompientes cuando son sometidas al efecto del oleaje. Para ello se han ensayado cuatro muestras de arena de cuatro playas de la provincia de Alicante y una muestra procedente del machaqueo de conchas. Para comprobar el efecto del ensayo se han realizado granulometrías, calcimetrías, difracción de rayos X y SEM a las diferentes muestras, antes y después de someterlas al ensayo de desgaste acelerado.

De las granulometrías realizadas a las arenas de las 4 playas de estudio, hemos obtenido la evolución del D50 durante los días que tuvo lugar el ensayo, quedando reflejado en la Figura 11a los resultados referentes a la muestra sin finos. En cada una de las playas se observa un comportamiento similar, produciéndose un gran descenso en su D50 en el primer día de ensayo, observándose posteriormente un periodo de transición con diferentes resultados en función de la playa analizada en la que se

produce un descenso pequeño del mismo. Por último, se observa una caída brusca del D50 en tres de las cuatro playas analizadas, con la diferencia que en los Arenales y Levante se produce el cuarto día y Molinos y Palmeras el séptimo, no observándose ninguna variación importante en el Portet de Moraira.

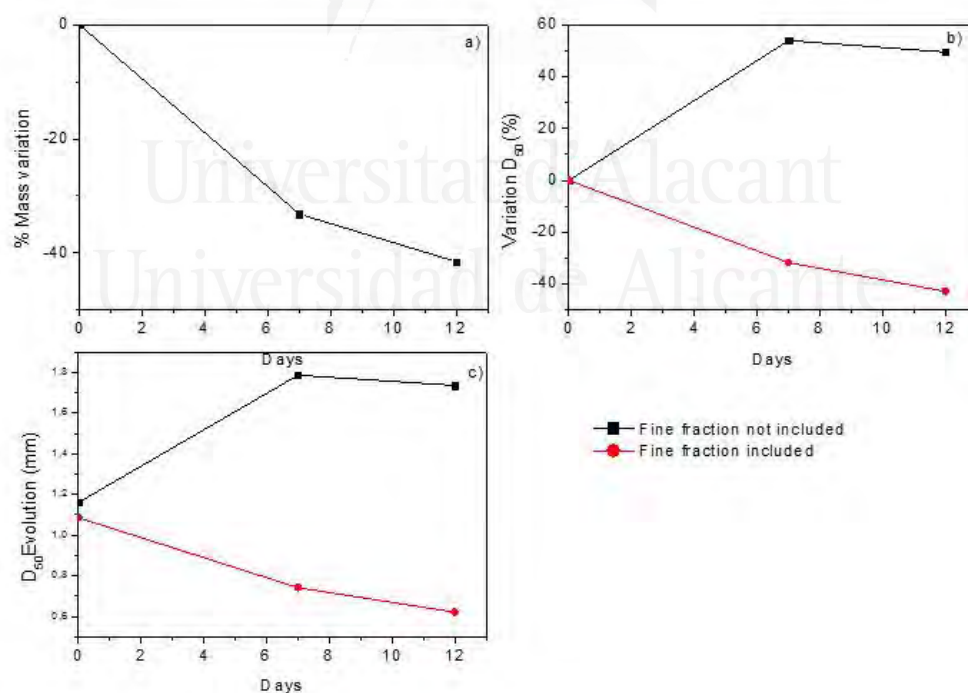
Los resultados obtenidos al tomar la muestra sin tener en cuenta la parte de finos en disolución (Figura 11b) nos permiten comparar con la evolución de la muestra completa (Figura 11a). Para las playas de Molinos y Palmeras y Levante, se presentan dos tramos bien diferenciados: un primer tramo producido los dos primeros días para ambas playas, en el que se produce un descenso brusco del tamaño; a partir del segundo día la evolución del tamaño se estabiliza hasta el cuarto día para Levante y el quinto día para Molinos y Palmeras. Es en ese momento cuando se produce otro cambio brusco en el tamaño, volviendo posteriormente a estabilizarse. Sin embargo, para las playas de Arenales y El Portet de Moraira, es en los dos primeros días cuando se produce el mayor cambio de tamaño, tras ese momento se estabiliza durante todo el ensayo para un valor de 0,057mm. Como observamos, en la playa de El Portet de Moraira es en la que mayor descenso del tamaño inicial se produce el primer día, disminuyendo su tamaño medio en un 81,96% (Figura 11c).



**Figura 11.** Evolución del D<sub>50</sub> para muestras con (a) y sin (b) fracción fina en disolución, c) cambio en el D<sub>50</sub> para muestras sin fracción fina en disolución, d) variación de la masa para muestras sin fracción fina en disolución, y e) cambio en el D<sub>50</sub> para muestras con fracción fina en disolución.

La variación del porcentaje en masa de las muestras ensayadas tras el primer día (Figura 11d) para cada una de las playas disminuye entre el 40% y el 67% del total de la muestra, produciéndose un descenso progresivo hasta alcanzar valores del 75% en El Portet de Moraira y del 95% en Arenales del Sol. Mientras que si nos fijamos en la Figura 11e, la disminución del tamaño medio oscila entre el 4,88% para Levante y el 9,89% para Arenales el primer día, llegando a alcanzar una variación del 88% en la playa de Molinos y Palmeras y un 78% en la playa de Levante.

En cuanto a los resultados obtenidos de evolución del tamaño medio en los ensayos realizados a las conchas (Figura 12). Observamos al considerar la muestra completa el tamaño medio disminuye de forma progresiva, iniciando el ensayo con un valor de  $D_{50}$  de 1,086mm y terminando con 0,620mm, diferente valor obtenido para la muestra sin finos, siendo de 1,735mm, produciéndose un incremento del tamaño medio del 59,76%.



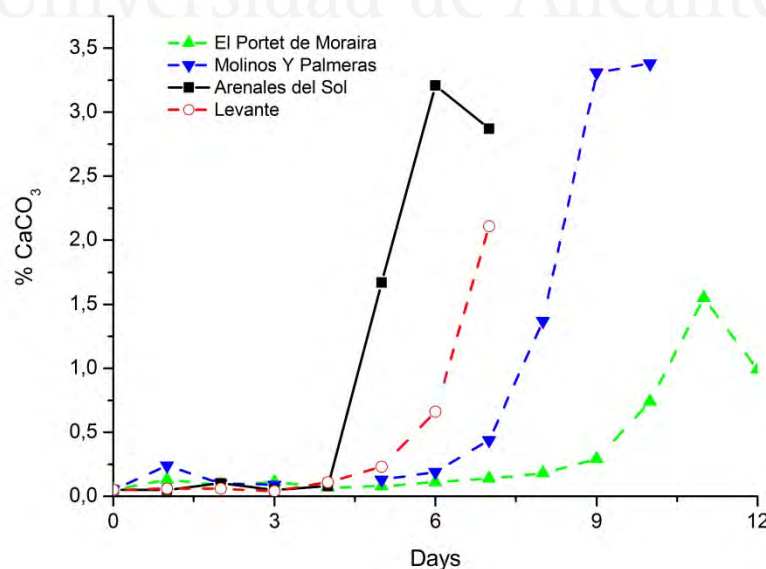
**Figura 12. Evolución del tamaño medio en las conchas muestra completa y muestra con finos en disolución b) variación del tamaño medio del sedimento para las muestra completa y con los finos en disolución c) variación porcentaje de masa para las conchas, correspondiente a las muestras con los finos en disolución**

En cuanto a los resultados obtenidos en las calcimetrías, la Tabla 2 muestra el contenido de carbonatos de las muestras de arena analizadas antes de ser sometidas al ensayo de desgaste acelerado. Los valores de  $\text{CaCO}_3$  oscila desde un 68% a un 78%, excepto en la playa de Levante, la cual tiene un contenido de carbonatos menor (35%).

*Tabla 2. Contenido de carbonatos en las muestras de arena antes de ser ensayadas*

Playas	Contenido de $\text{CaCO}_3$ antes de comenzar el ensayo de desgaste acelerado de partículas
<b>Molinos y Palmeras</b>	77.81%
<b>Portet de Moraira</b>	73.83%
<b>Levante</b>	35.17%
<b>Arenales del Sol</b>	68.87%

En la Figura 13 podemos observar la evolución de la cantidad de carbonatos desprendidos de la muestra durante la duración del ensayo. Observamos el mismo comportamiento en cada una de las playas, apreciándose un primer tramo que oscila de 4 (Arenales y Levante) a 8 días (El Portet de Moraira) dependiendo de la playa estudiada, donde el porcentaje de carbonatos desprendidos es constante. Un segundo tramo con valores comprendidos entre el 0,23% (Levante) y 3,31% (Molinos y Palmeras) da lugar a una curva con pendiente muy pronunciada, produciéndose a partir de los 5 días (Arenales y Levante) y 11 (El Portet de Moraira). Por último, el tercer tramo que tiene lugar tras haber obtenido un valor pico de carbonatos desprendidos de la muestra (en disolución), a partir del cual este valor decae, obteniéndose valores entre 0,99% (El Portet de Moraira) y 3,38% (Molinos y Palmeras).



*Figura 13. Evolución del %  $\text{CaCO}_3$  para cada una de las playas durante el tiempo que duró el ensayo*

En la muestra de las conchas, observamos que el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  (Figura 14) correspondiente a los datos del ensayo sin cambio de agua, inicialmente este valor aumenta hasta el séptimo día, desciende los días posteriores, pero vuelve a recuperar la tendencia positiva de aumentar la concentración de  $\text{CaCO}_3$ , produciéndose el máximo valor el día 12 con 2,71% de carbonatos desprendidos de la muestra (en disolución). Si nos fijamos en los datos correspondientes al ensayo de desgaste acelerado de partículas con cambio de agua (Figura 14), vemos como el porcentaje de carbonatos desprendidos va disminuyendo progresivamente a lo largo del tiempo, comenzando con un valor de 0,05%, llegando a un valor máximo de 1,03% el segundo día, a partir del cual comenzó a disminuir hasta un valor de 0,04%.

El carácter oscilatorio del % de  $\text{CaCO}_3$  disuelto en la fase acuosa en el ensayo sin cambio de agua y el carácter decreciente del ensayo con cambio de agua, sugieren que no solo se produce una disolución de los carbonatos, sino que se produce un paso a dispersión coloidal por su naturaleza oscilante.

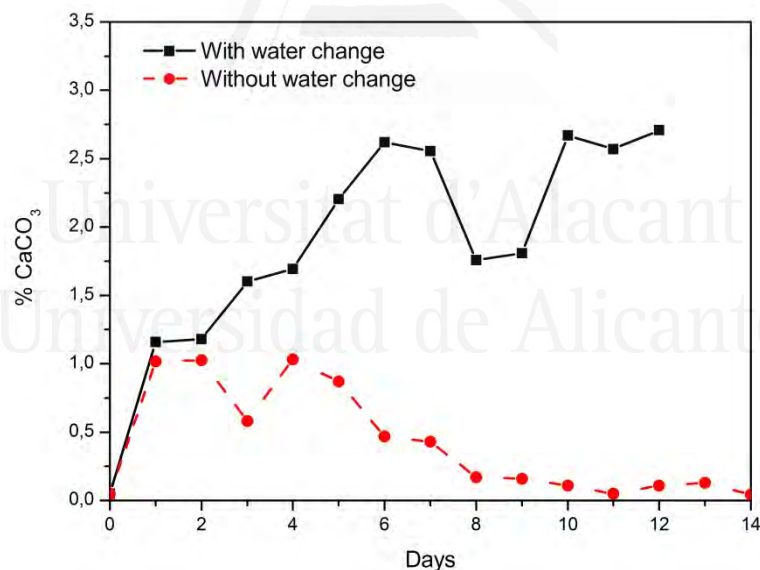
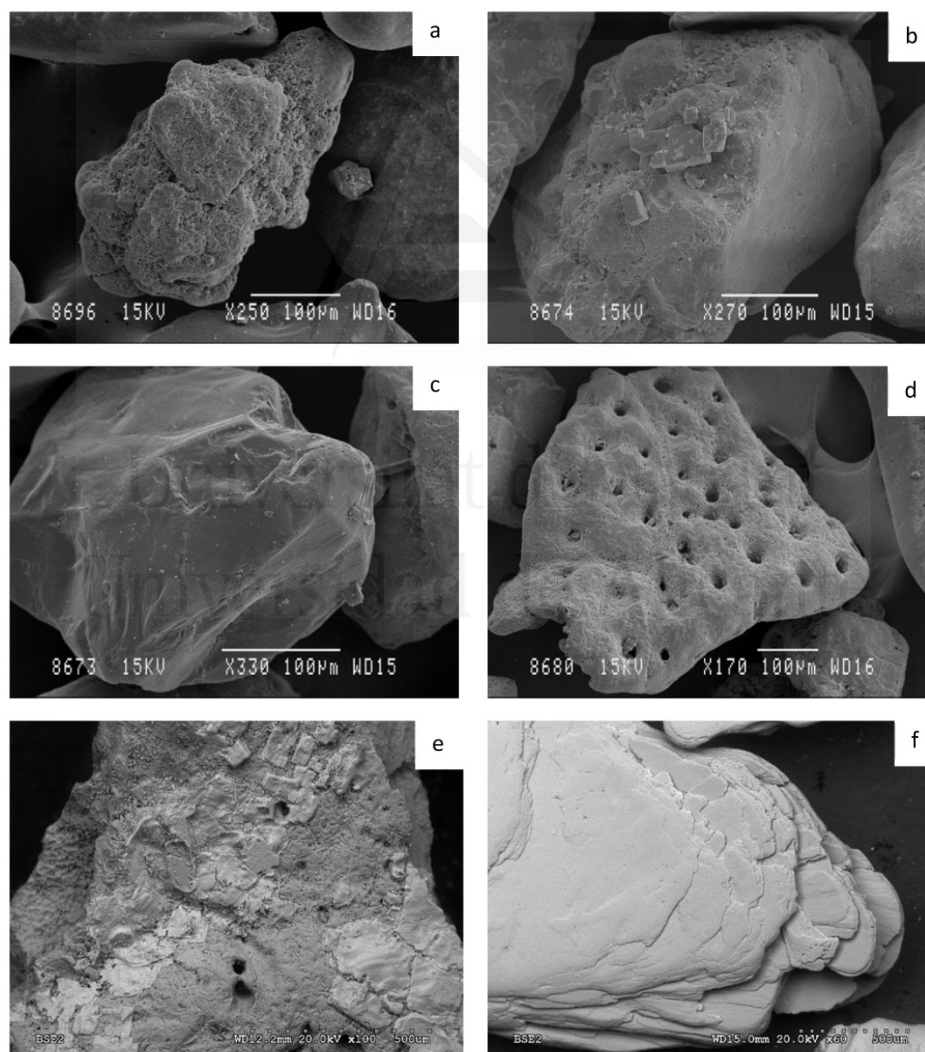


Figura 14. Evolución del %  $\text{CaCO}_3$  para la muestra de conchas durante el tiempo que duró el ensayo

Además, se llevaron a cabo ensayos de Microscopía y Difracción de Rayos X tanto en las muestras de arenas como de carbonatos (conchas) en cada una de las cuatro playas estudiadas tanto previamente a los ensayos de desgaste acelerado como posteriormente al mismo. En todos los casos se pudo observar la presencia de material orgánico (conchas) como inorgánico (árido silíceo fundamentalmente en su estructura de cuarzo), así como de partículas adheridas, especialmente Cloruro Sódico ( $\text{NaCl}$ ) ya

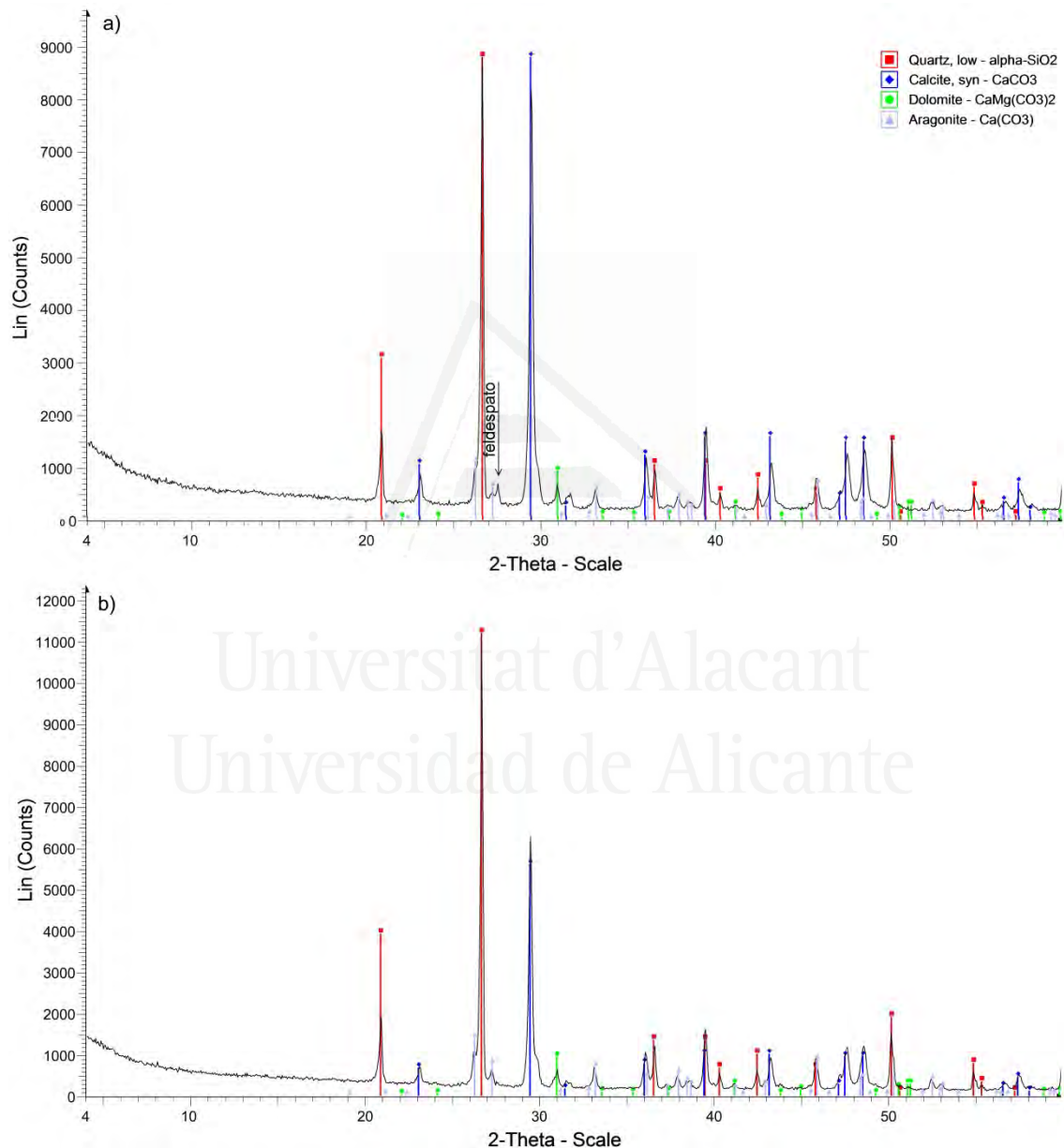
crystalizado tanto en la superficie como en los distintos huecos de las mismas, si bien la presencia de estas últimas se redujo considerablemente después del uso del agitador magnético. Tal y como se puede observar en la Figura 15, en la que la totalidad de las fotografías pertenecen a muestras previas al uso del agitador magnético, existen concreciones de carbonatos sobre la superficie del árido silíceo (Figura 15 a y b) así como de ClNa ya cristalizado (Figura 15c) sobre la superficie del cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), mientras que la fotografía (Figura 15d) corresponde con muestras de carbonatos redondeados, posiblemente por efecto del agitador. En la Figura 15e, se puede observar la microscopía correspondiente a una concha en la que se aprecia la estructura laminar de la misma, estando perfectamente limpia después de haberse empleado el agitador magnético.



**Figura 15. Imágenes SEM. Arenales del sol (a) y Levante (b), antes de ser sometidas al ensayo de desgaste acelerado de partículas. Levante (c) sedimento después de ser sometido al ensayo de desgaste acelerado y muestra de conchas de Levante (e) y Molinos y palmeras (d) antes y después (f) del ensayo de desgaste.**



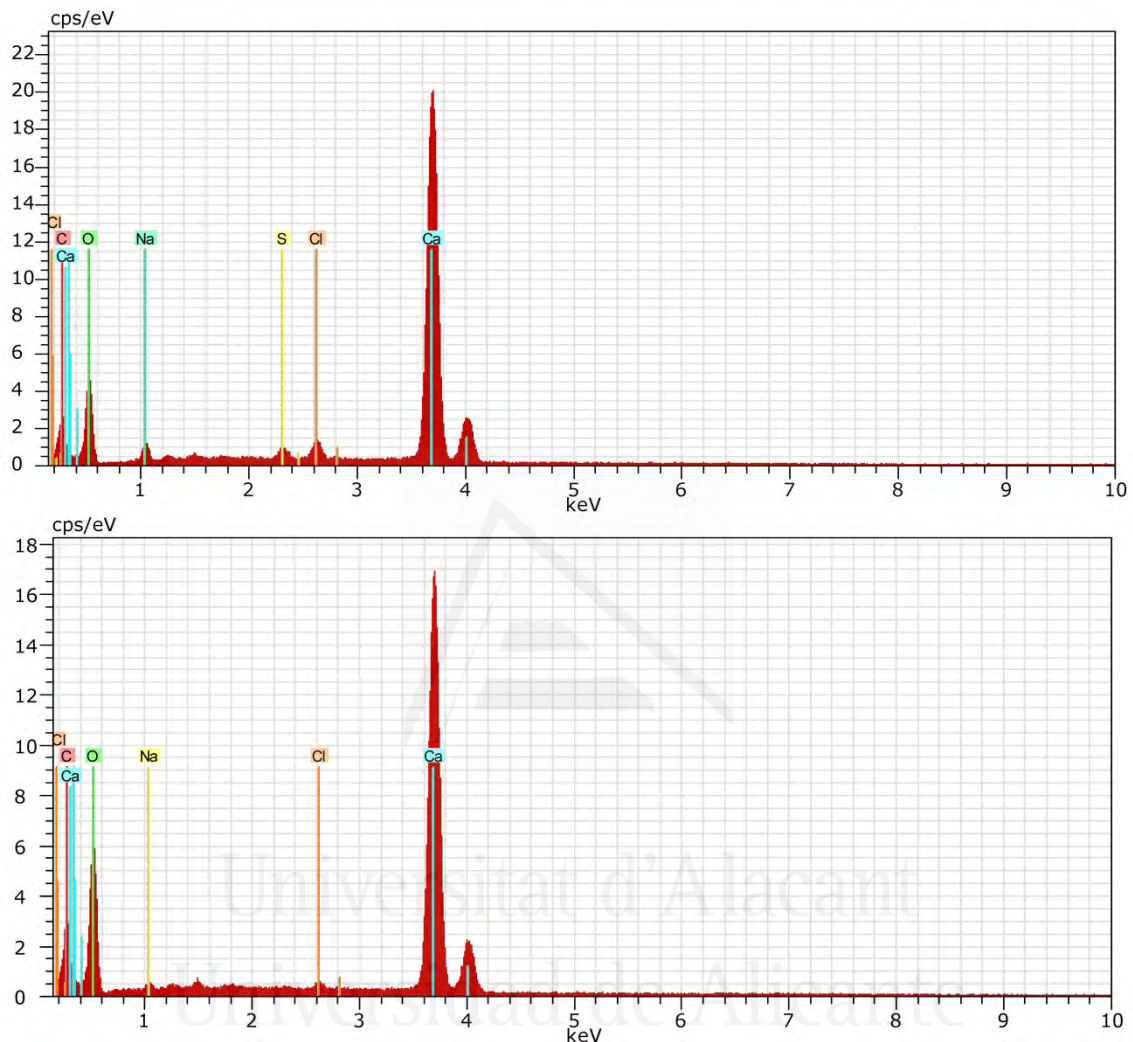
Lo indicado en el párrafo anterior se confirma con los resultados obtenidos en los difractogramas de los materiales de las distintas playas estudiadas, realizados con anterioridad y posterioridad al agitador magnético. Así, por ejemplo y para los correspondientes a la Playa de los Arenales, (Figura 16), puede observarse una clara disminución de la presencia de carbonatos en sus distintas formas alógrafas al haberse llevado a cabo el ensayo del agitador magnético.



**Figura 16. DRX antes (a) y después (b) de ensayo de desgaste acelerado de partículas para la muestra de la playa de Arenales del sol**

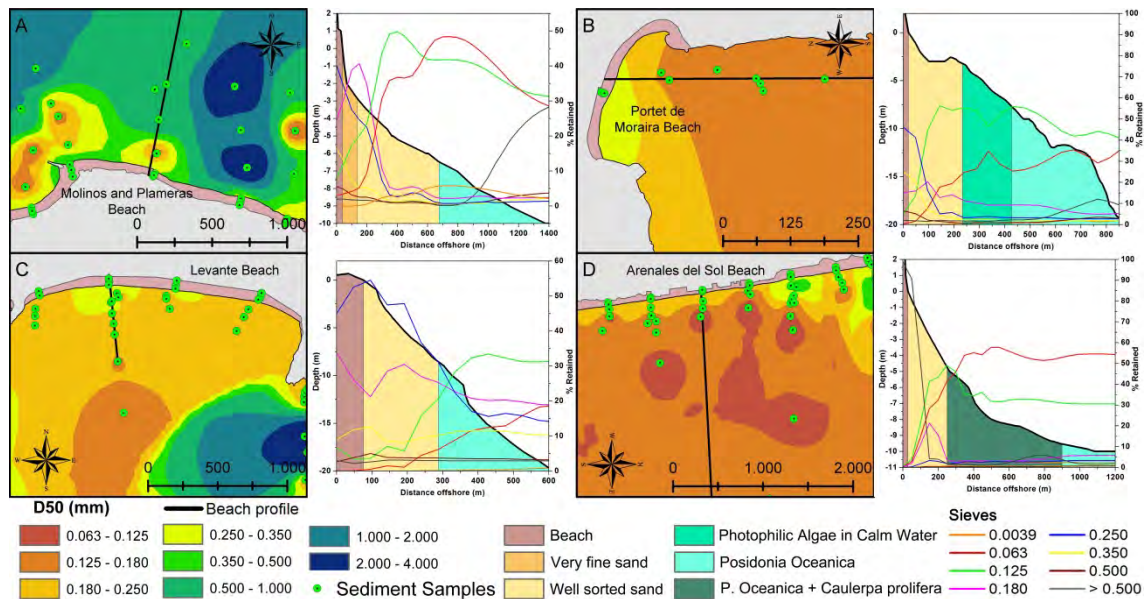
Esta misma situación se pudo confirmar en los ensayos de análisis elemental obtenido mediante DRX llevados a cabo sobre las muestras de conchas, previamente y

posteriormente al empleo del agitador magnético, tal y como se observa en la Figura 17, en las que se produce una disminución de la presencia de carbonatos en sus distintas formas.



**Figura 17. DRX antes y después de ensayo de desgaste acelerado de partículas para la muestra de las conchas**

Era necesario también analizar la distribución de los tamaños del sedimento en cada una de las playas. Nos muestra como los tamaños más pequeños (< 0.125 mm) se localizan a mayores profundidades en el perfil (Figura 18). Por otro lado, el mayor porcentaje de finos se encuentra a profundidades mayores de la -4.5 m (Profundidad de cierre de Birkemeier (1985) para la zona de estudio).



**Figura 18.** Distribución del tamaño medio del sedimento en cada una de las playas estudiadas, y porcentaje del material retenido en cada tamiz a lo largo del perfil transversal de la playa. A) Playa de Molinos y Palmeras. B) Playa del Portet de Moraira, C) Playa de Levante, y D) Playa de los Arenales del Sol

De los resultados granulométricos, se observa que la evolución de los pesos (m) sigue una tendencia parecida tanto en las muestras de arena como en las de las conchas (Figura 11 y Figura 12), detectando las siguientes fases: i) Tras el primer día de ensayo se produce una gran disminución del tamaño de las partículas que componen la muestra. En las arenas el porcentaje de finos (< 0,05 mm) se incrementa entre un 40,69% y un 67,28% (Figura 19), mientras que en las conchas el incremento se encuentra entre el 33,19% y el 41,55% (Figura 12). Esto se debe, en primer lugar, a un proceso de desgaste de las partículas, como consecuencia de la interacción o choque entre ellas al ser sometidas a un proceso de suspensión, justificado por el carácter oscilatorio de los carbonatos en fase acuosa (similar al proceso en el mar), y en segundo lugar, a un proceso de disolución de los carbonatos, produciéndose partículas inferiores a 0,05 mm (Figura 14). Las variaciones que se observan entre cada una de las playas (Figura 11), se debe a sus diferentes porcentajes de acreciones de carbonatos, provocando que las muestras tengan mayor o menor proporción de desgaste (Figura 16). ii) A partir del segundo día, la disolución es el proceso predominante. La duración de esta fase varía en función de la playa analizada (Figura 11), al cuarto día en Arenales del Sol y Levante, y al séptimo en la playa de Molinos y Palmeras. Sin embargo, en la playa del Portet de Moraira no se aprecia ningún cambio en el tipo de proceso a lo largo del ensayo (12 días), como se observa en la Figura 9 es la única muestra procedente de dragado. iii) En

la última fase, la mayor parte de la muestra está compuesta por partículas inferiores a 0.05 mm, lo cual es debido a dos fenómenos: a) al continuo proceso de disolución mencionado anteriormente y b) a un proceso de separación entre la parte mineral y carbonatada de la partícula. Este último proceso se ha confirmado a partir de SEM (Figura 15), en las que se observa que inicialmente las partículas tenían carbonatos adheridos que desaparecen en las muestras finales. Por lo tanto, al separarse ambos componentes, el tamaño de las partículas disminuye siendo inferior a 0,05 mm. Sin embargo, en la playa de Portet de Moraira y en las muestras de conchas, esto no ocurre, ya que sus partículas no están compuestas por estos dos elementos (Figura 15). Esto puede justificar que la línea de costa del Portet de Moraira se haya mantenido prácticamente constante en el tiempo.

En el medio natural, las turbulencias que producen los oleajes en la zona surf provocan el levantamiento de las partículas, y por lo tanto, el choque entre ellas produciendo de este modo el desgaste. Como ya se ha comentado, las partículas que se producen tras los choques tienen tamaños inferiores a 0,05 mm, las cuales se irán desplazando y reubicando dentro del perfil transversal de la playa (Guillén and Hoekstra, 1996; Stauble and Cialone, 1997). Como vemos en la Figura 18, las fracciones inferiores a 0,063 mm están situadas fuera de la profundidad de cierre de Birkemeier (1985), por lo que lo más probable es que dichas partículas no vuelvan a la costa. Por lo tanto, si como consecuencia del choque, disolución y separación entre las partículas, su tamaño disminuye hasta alcanzar tamaños inferiores a 0,063 mm, la traslación de la partícula no terminará al cruzar la profundidad de cierre, sino que mediante procesos gravitacionales se desplazará hacia las llanuras abisales a través de los cañones (Aragonés *et al.*, 2016).

Así pues, si la acción del oleaje y la absorción de los carbonatos por el agua de mar hacen que todas las muestras las fracciones más grandes su porcentaje va disminuyendo y las más pequeñas van aumentando, (Figura 19) lo que generará un desplazamiento transversal de la partícula hasta alcanzar su correspondiente ubicación sobre el mismo. Si además no se producen aportes exteriores, al estar formado el perfil por partículas más pequeñas, este se tenderá, lo que explicaría el proceso de regresión de la costa. Sin embargo, Aragonés *et al.* (2015) comparó los perfiles transversales de precisión tomados a lo largo de 20 años con los perfiles batimétricos de un año, y

observó que el error cometido entre ambos periodo será inferior al 8%, demostrando que el perfil transversal es similar a lo largo del tiempo. Luego, lo que podría ocurrir es que al disminuir el tamaño de la partícula y desplazarse mar a dentro, el lugar que deja es ocupado por otra partícula de la playa seca, provocando el desplazamiento de la línea de costa y por lo tanto la regresión de esa playa.

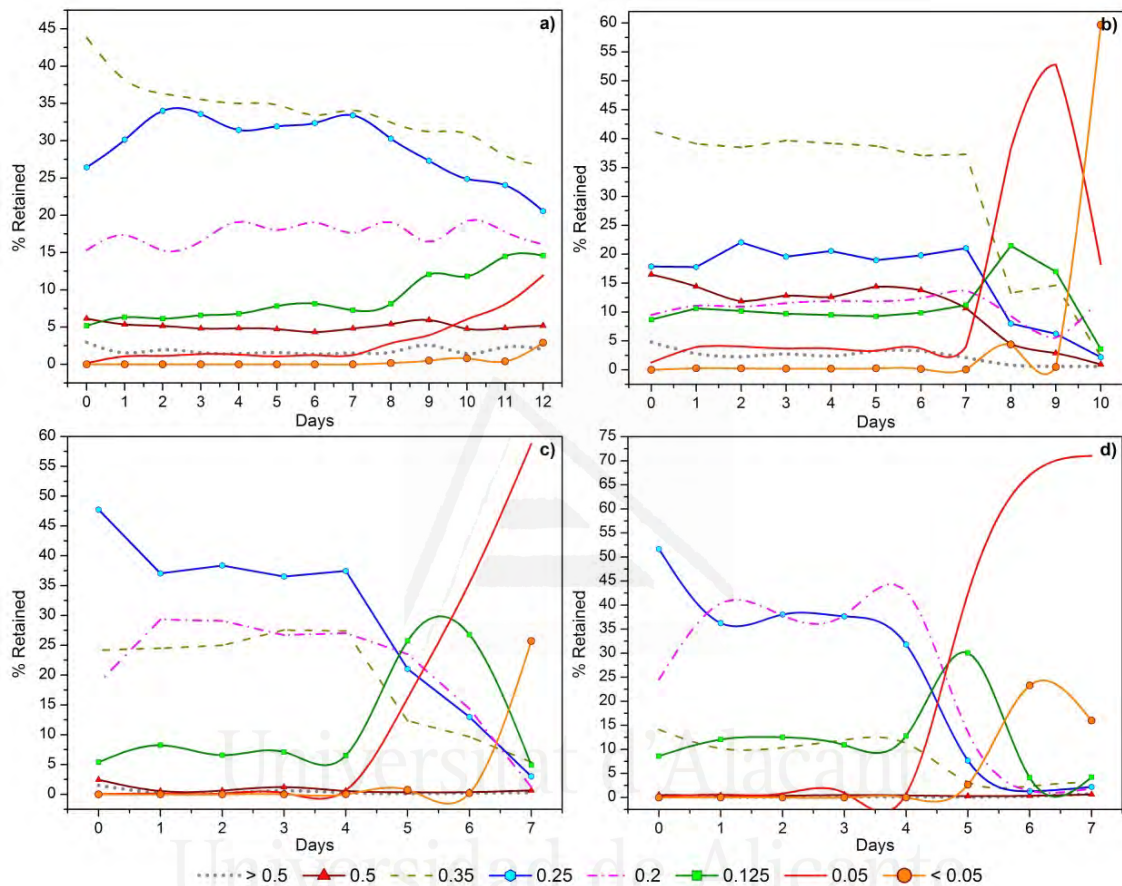


Figura 19. Porcentaje de arena y finos durante los días de duración del ensayo a) playa de Molinos y Palmeras b) Portet de Moraira c) Levante d) Arenales.

Por lo tanto, el nivel de regresión de la costa irá directamente relacionado con el tamaño de las partículas, así como por su composición y sus agregados. Una partícula más gruesa tardará más tiempo en disminuir su tamaño y por lo tanto su movimiento estará centrado entre la línea de costa y el límite off-shore. Y lo mismo ocurrirá con su composición, un sedimento formado por la unión de dos componentes podrá separarse y convertirse en partículas de tamaño inferior a 0,05 mm, generando desplazamientos transversales que impedirán su retorno a la costa.

## 6.2. CAPÍTULO 2: ESTUDIO DEL DESGASTE DE LA FRACCIÓN MINERALÓGICA DE LOS SEDIMENTOS EN EL SURESTE DE ESPAÑA

---

### 6.2.1. INTRODUCCIÓN

---

Tras comprobar el desgaste que las partículas sufren tras ser sometidas al ensayo de desgaste acelerado, era necesario comprobar que realmente dicho desgaste se producía de forma natural. Para ello, se analizaron nueve unidades morfológicas de Castellón–Valencia y otras nueve de Alicante. A partir de su análisis granulométrico, mineralógico y contenido en carbonatos, los resultados obtenidos mostraron como los sedimentos, debido a diferentes mecanismos de erosión, fueron desgastándose a lo largo de la línea de costa. Para corroborar el desgaste se empleó el estudio de cuarzo azul, debido a que su presencia está muy concentrada en el Ebro y Vinalopó, puesto que sus yacimientos son muy concretos; pudiendo así observar el grado de rodadura. Dada la presencia de *Posidonia oceanica* en gran parte del área de estudio, se analizó la composición mineralógica de la playa con la presencia de esta fanerógama marina. De su análisis se desprende que cuanto más cerca de la costa esté mayor contenido de carbonatos tiene la muestra de playa seca. Éste es un dato importante ya que debido al aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado la capacidad de dilución de los carbonatos por parte del agua del mar. El análisis de todos estos elementos nos permite concluir cómo los diferentes mecanismos de desgaste de los sedimentos han provocado una disminución en el tamaño de los mismos, favoreciendo su transporte a lo largo de la línea de costa tanto longitudinal como transversalmente, con el consecuente movimiento de la línea de costa.

### 6.2.2. ÁREA DE ESTUDIO

---

El área de estudio se sitúa al suroeste de España, y comprende dos zonas geomorfológicamente diferentes. Una que va desde Castellón hasta el Puerto de Sagunto, y una segunda desde el Cabo de San Antonio hasta el Cabo Cervera. Ambas zonas se caracterizan por una fuerte presencia de *Posidonia oceanica* (Ruiz et al., 2015), como se puede observar en la Figura 20.

La primera de las zonas se localiza al Norte del Golfo de Valencia, que constituye la mayor unidad morfodinámica del litoral natural español. Sus playas albergan abanicos deltaicos, conos aluviales, dunas, albuferas, cabos y puertos en su parte costera y barras en su lado mar. Todo el sistema litoral ha evolucionado mediante una combinación de aportes sedimentarios continentales, modelados posteriormente por los oleajes marinos. Esta unidad se divide, a su vez, en nueve subunidades fisiográficas en función de su morfología, geología y dinámica litoral (Serra, 1988), tal como se puede observar en la Figura 20a.

- 1.C – Está constituida por el frente deltaico del río Ebro y la playa apoyada en el Puerto de San Carlos de la Rápita, llegando hasta el río Cenia.
- 2.C – Se enmarca geográficamente entre el río Cenia, límite de la provincia de Tarragona y Castellón, y el barranco Agua Oliva, límite de los términos municipales de Vinaroz y Benicarlo.
- 3.C – Abarca desde la desembocadura del barranco de Agua Oliva hasta el promontorio de Peñíscola.
- 4.C – La zona de toma de muestras se encuentra en el tramo situado en el frente deltaico entre el promontorio de Peñíscola hasta el Norte del río San Miguel formado por una gran llanura litoral.
- 5.C – La línea de costa la forma un cordón de gravas que se extiende desde el río San Miguel hasta el Morro de Gos de Oropesa.
- 6.C – Los límites de esta unidad son el entorno del Cabo de Oropesa.
- 7.C – Esta unidad comprende la costa entre Roca de los Cañones y el puerto de Castellón.
- 8.C – Esta como la anterior, tiene una actividad humana importante que es, además, la que ha configurado la costa entre el Puerto de Castellón hasta el Puerto de Burriana.
- 9.C – Se compone del tramo de costa desde el Sur del Puerto de Burriana hasta el Puerto de Sagunto.

La segunda zona, se puede dividir en dos zonas geomorfológicamente diferentes, desde el Cabo de San Antonio hasta Barranco de aguas, y desde este hasta el Cabo

Cervera. La primera zona está formada por sierras y diversos valles fluviales, en la que encontramos principalmente playas de grava. En la segunda zona forma parte de ésta una gran llanura aluvial, y está compuesta prácticamente en su totalidad por playas de arena. En la provincia de Alicante se han establecido 9 subunidades naturales (Chaparría, 1987), las cuales se diferencian por su morfología, geología, dinámica litoral y sedimentología (Figura 20b).

- 1.A – Esta unidad comprende la bahía de Jávea, la cual constituye un gran valle delimitado por el Cabo de San Antonio y el Cabo Prim.
- 2.A – Está compuesta por un tramo de costa escarpada, de grandes cantiles, desde el Cabo de la Nao hasta la Punta de Moraira.
- 3.A – La zona de muestras se encuentra desde la Punta de Moraira hasta el Peñón de Ifach.
- 4.A – Esta unidad comprende dos áreas: La ensenada de Ifach y la Bahía de Altea separadas por el Morro de Toix. La Sierra Helada cierra por el sur la Bahía de Altea.
- 5.A – Los límites de esta unidad son la Sierra Helada al Norte y el Río Amadorio al Sur.
- 6.A – La costa prosigue hacia poniente con un tramo de acantilados medio-bajos dando paso la planicie litoral a un ámbito en el que las lomas y depósitos aluviales hasta el Barranco de Aguas.
- 7.A – Desde el Barranco de Aguas hasta el Cabo de las Huertas hacia el Sur encontramos 2.5 km de acantilado bajo, a partir del cual se presenta un tramo de costa baja.
- 8.A – Se corresponde con la línea de costa del tramo situado entre el Cabo de las Huertas y el Cabo de Santa Pola
- 9.A – Esta última unidad se encuentra entre el Cabo de Santa Pola y el Río Segura.



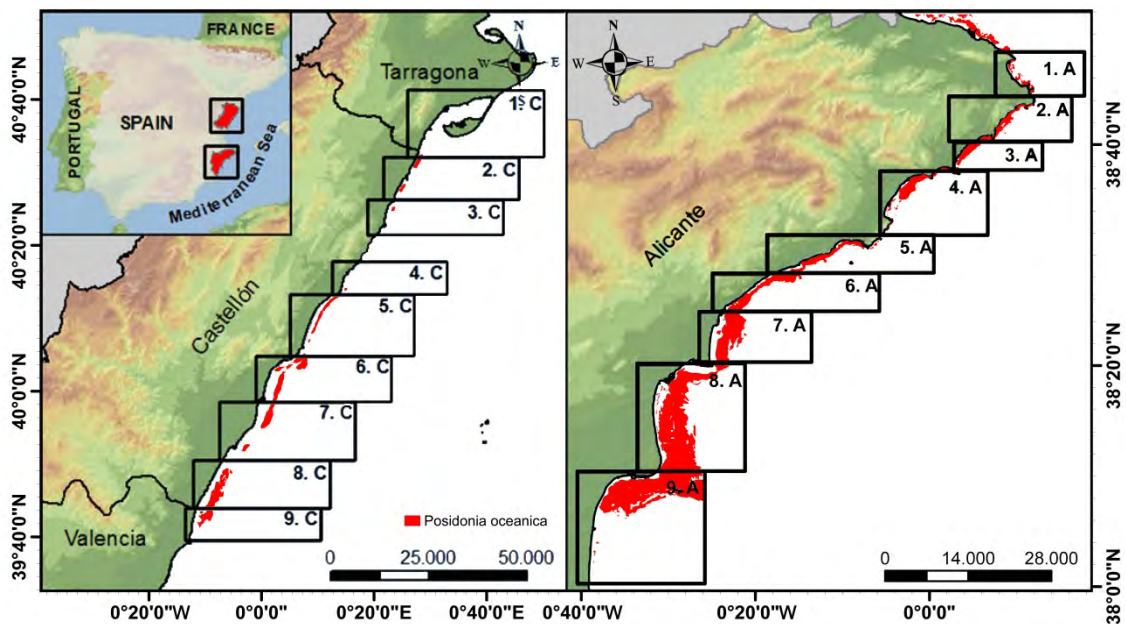


Figura 20 . Localización del área de estudio. a) Unidades fisiográficas en la zona norte del Golfo de Valencia. b) Unidades fisiográficas en la provincia de Alicante.

Con respecto al oleaje, en la zona de Castellón los temporales dominantes son del ENE con una altura de ola significativa de 3,9 m y un período de 11,6 s, mientras que los oleajes que se presentan con mayor frecuencia en la zona son los procedentes del E, con alturas de ola de 2,8 m en aguas profundas y un periodo de 10,5 s (Ecolevante, 2006). Por otro lado, en el frente litoral de Alicante los oleajes más importantes son los procedentes del sector E, dado que su costa está protegida del primer cuadrante por la alineación general del litoral y por la isla de Ibiza. También son importantes los oleajes procedentes del S, aunque de menor intensidad que los del sector E. Los temporales máximos en la zona de Alicante alcanzan alturas de ola 4,5 m aproximadamente, y sus periodos máximos se sitúan en torno a los 10-12 s (Ecolevante, 2006). En cuanto a la dirección de las corrientes estas son generalmente de sentido Norte-Sur, en la Figura 21 se puede observar la propagación del oleaje realizada mediante el programa SMC (Sistema de modelado costero) para la dirección del oleaje más frecuente. Los oleajes más frecuentes, procedentes del Este y del Noreste, producen corrientes de dirección Norte-Sur, mientras que los oleajes procedentes del Sur, aunque de energía considerable en algunas ocasiones, suelen ser poco frecuentes (Ecolevante, 2006). En toda la zona de estudio, las mareas astronómicas oscilan entre 20 y 30 cm, que junto con las mareas meteorológicas pueden llegar a ser de hasta 75 cm (Ecolevante, 2006).

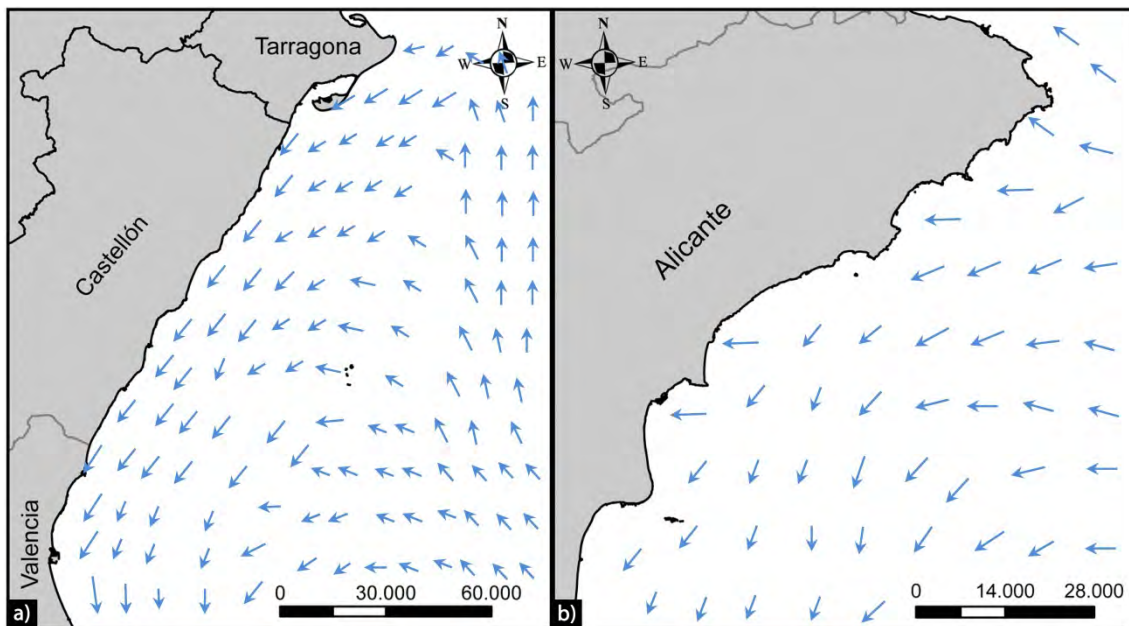


Figura 21. Corrientes más habituales en el área de estudio. a) Zona norte del Golfo de Valencia. b) Provincia de Alicante.

### 6.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el área de Castellón, la mayoría de zonas tienen un  $D_{50}$  en torno a 0,3 mm, y centiles inferiores a los 2 mm. Sin embargo, destaca la zona 2.C formada principalmente por playas de grava, lo que hace que el  $D_{50}$  medio en la zona aumente hasta 4,58 mm y el centil hasta 13,36 mm (Figura 22a). Algo similar ocurre con el resto de características (Coeficiente de uniformidad, Coeficiente de curvatura, Sorting, Skewness y Kurtosis) las cuales se mantienen más o menos constantes en todas las unidades a excepción de la unidad 2.C donde se encuentran las mayores variaciones (Figura 22c).

Por su parte la zona de Alicante muestra  $D_{50}$  medio en las zonas 1.A y 2.A entorno a 0,4 mm reduciéndose hacia el sur hasta alcanzar un valor de 0,15 mm (Figura 22b). Al igual que ocurre en la zona de Castellón, en Alicante las características del sedimento son muy similares en todas las unidades, produciéndose las mayores variaciones en aquellas unidades (1.A y 1.B) que tienen una mayor relación entre el centil y el  $D_{50}$  (Figura 22d).

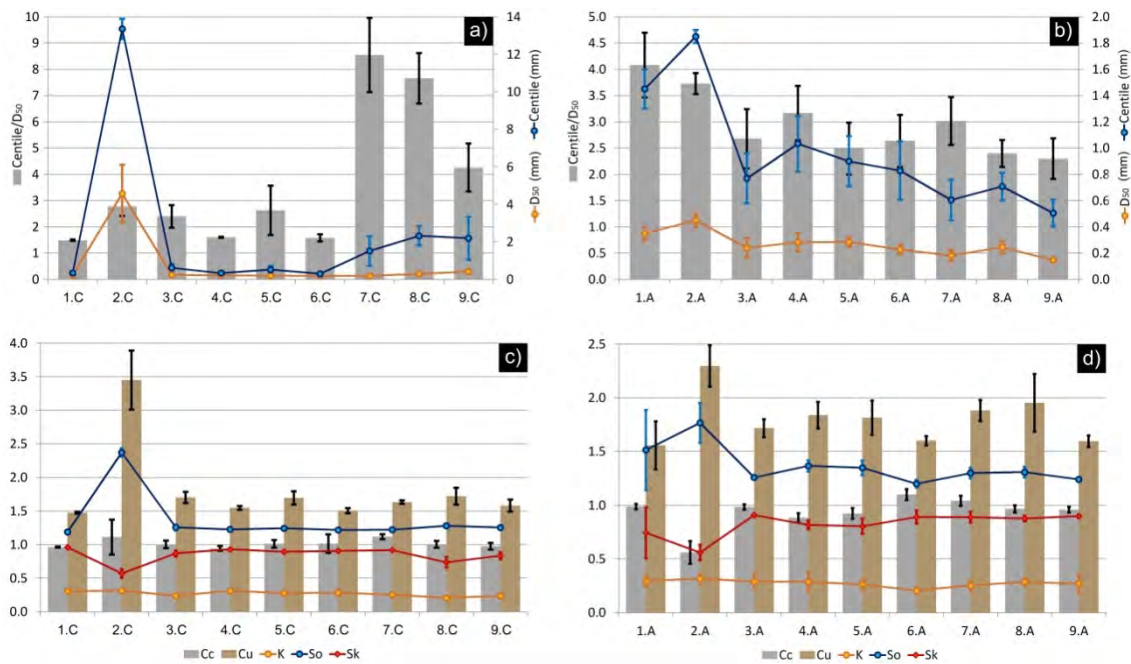


Figura 22. Centil, D50, y relación Centil/D50 (zona Castellón (a), zona Alicante (b)). Coeficiente de uniformidad (Cu), Coeficiente de curvatura (Cc), Sorting (So), Skewness (Sk) y Kurtosis (K) (zona Castellón (c), zona Alicante (d)).

La Figura 23, muestra el contenido de materia orgánica, carbonatos y minerales de cada una de las muestras estudiadas, así como la profundidad a la que se encuentra la *Posidonia oceánica*. Como se puede observar el contenido de materia orgánica es insignificante tanto para las muestras de Castellón, como para las de la provincia de Alicante, con valores medios de 1% y 0,03% respectivamente. Con respecto al contenido de carbonatos, existe una clara diferencia entre las muestras de ambas zonas. Las muestras de Valencia-Castellón tienen un contenido medio de 34,26% de carbonatos, a excepción de la unidad 2.C que cuenta con el 72,16% de la muestra carbonatada (Figura 23a). Mientras que el contenido de carbonatos en las muestras de Alicante es mayor, con un valor medio de 85,9% para las unidades 2.A, 3.A, 4.A, 6.A, 7.A y 8.A, y de 51,3% para las unidades 1.A, 5.A y 9.A (Figura 23b). Al relacionar el contenido en carbonatos con la presencia y profundidad de *Posidonia oceanica* en la zona, se observa como aumenta el contenido de carbonatos con la presencia de posidonia y a su vez como disminuye su contenido cuando su profundidad aumenta por encima de los 7-8 m de profundidad.

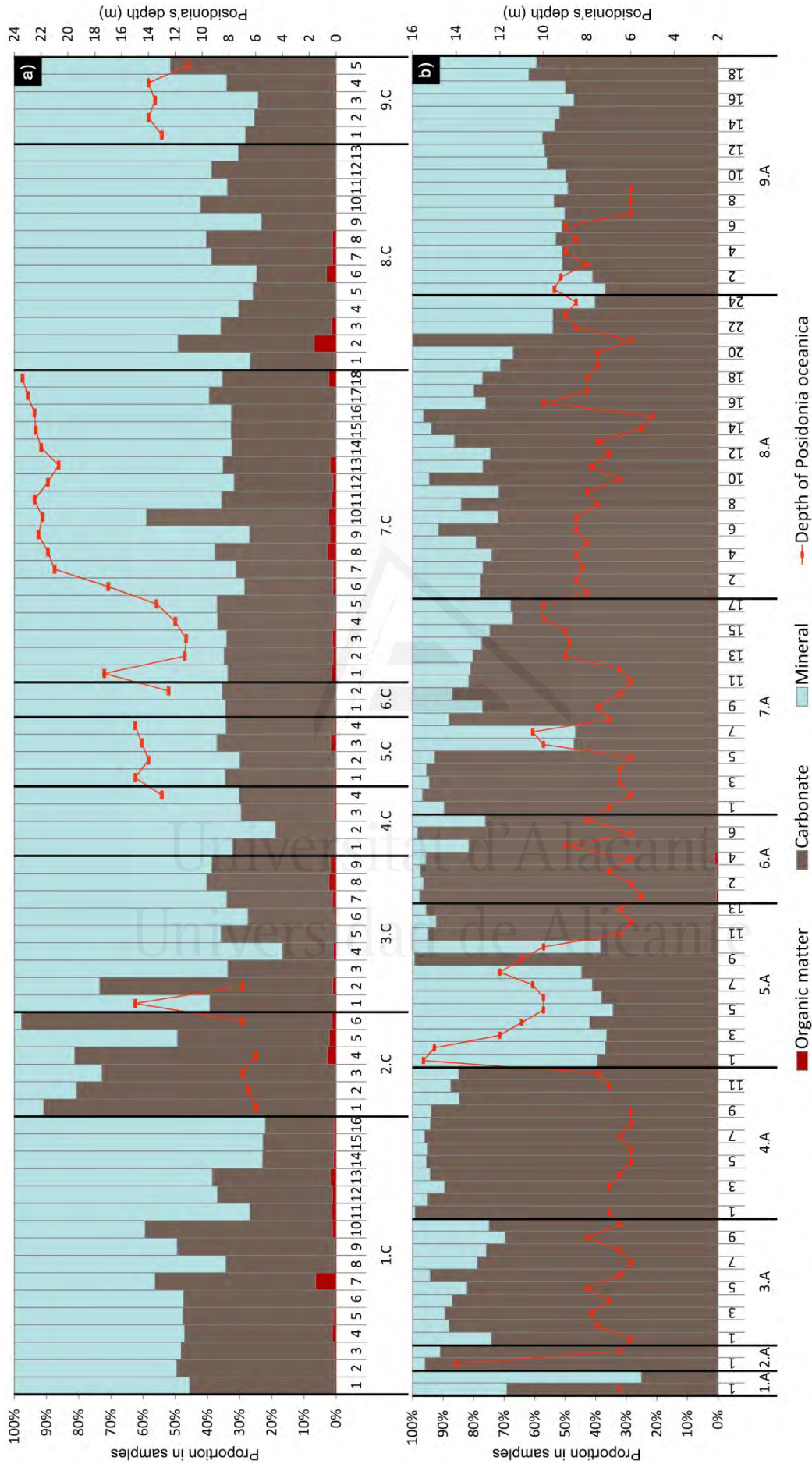


Figura 23. Proporción de contenido mineral, carbonatos y materia orgánica de las muestras. a) Zona norte del Golfo de Valencia. b) Zona de Alicante.

En la zona de Castellón – Valencia, la parte mineral de la muestra está compuesta en un 72,68% por cuarzo blanco, un 9,19% de cuarzo rojo, y en un 9,42% de cuarzo azul, con pequeñas trazas de otros minerales como cuarzo amarillo y negro, epidotita, piroxenos y anfíboles, moscovita y biotita (Figura 24a). Igualmente el mineral predominante en Alicante es el cuarzo blanco y el cuarzo rojo, que representan el 88,06% y 6,04% de la fracción mineral respectivamente (Figura 24b), destaca la presencia de cuarzo azul en la zona del Cabo de Santa Pola (unidad 9A), donde representa el 11,38% de la muestra.

Para el cuarzo blanco (Figura 25), de su observación se desprende que el 56,56% de las muestras de Castellón-Valencia y el 59% de Alicante presentan un estado muy rodado, mientras que el 5,04% y el 11,84% respectivamente presentan una morfología redondeada. Siendo las partículas que conforman las fracciones menores las más redondeadas. Por su parte las muestras con menor porcentaje de cuarzo blanco no rodado coinciden con la desembocadura de algún río o barranco (Figura 26).

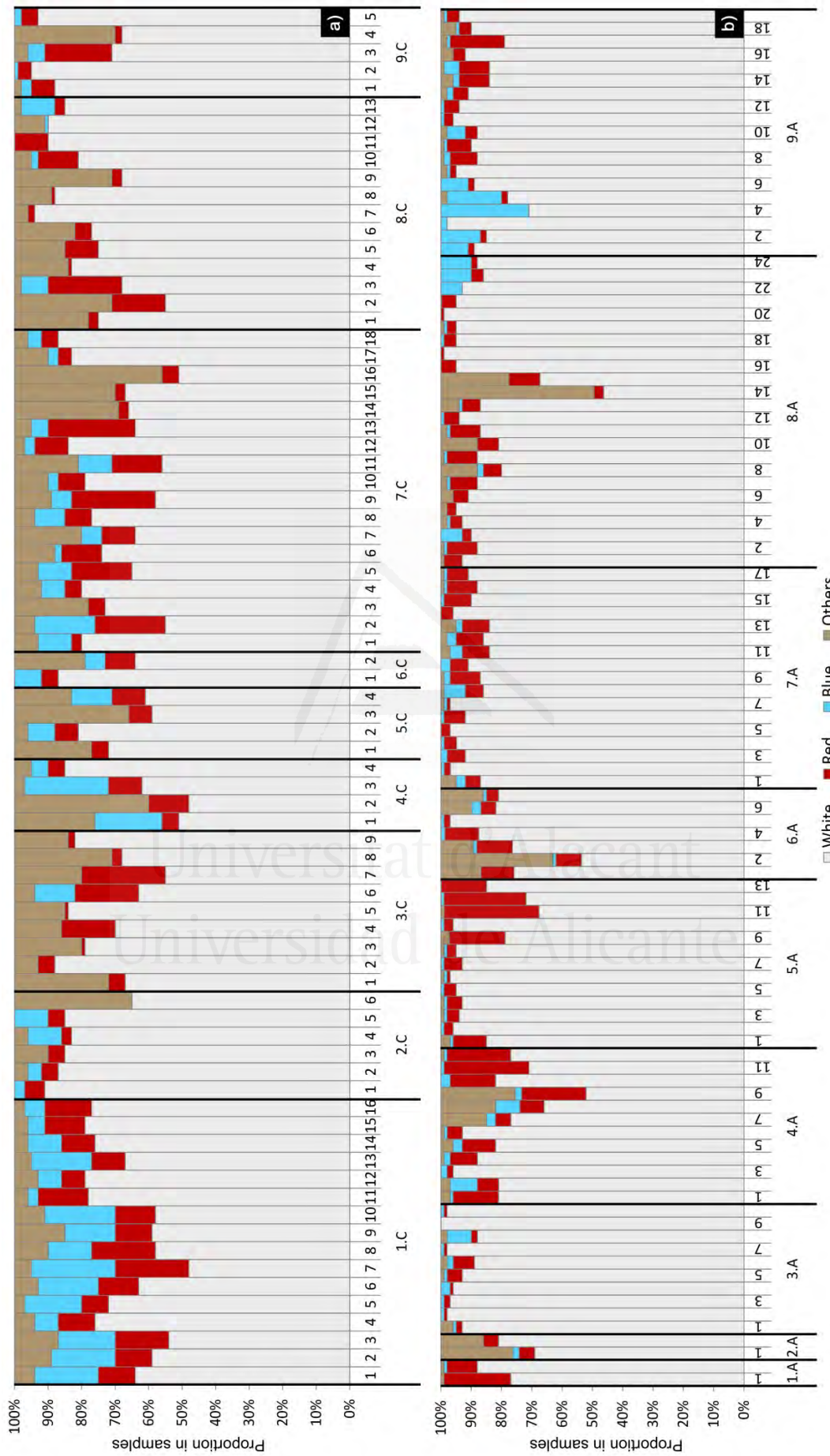


Figura 24. Proporción de cuarzo blanco, cuarzo rojo, cuarzo azul y otros minerales que componen la parte mineral de las muestras. a) Zona norte del Golfo de Valencia. b) Zona de Alicante.

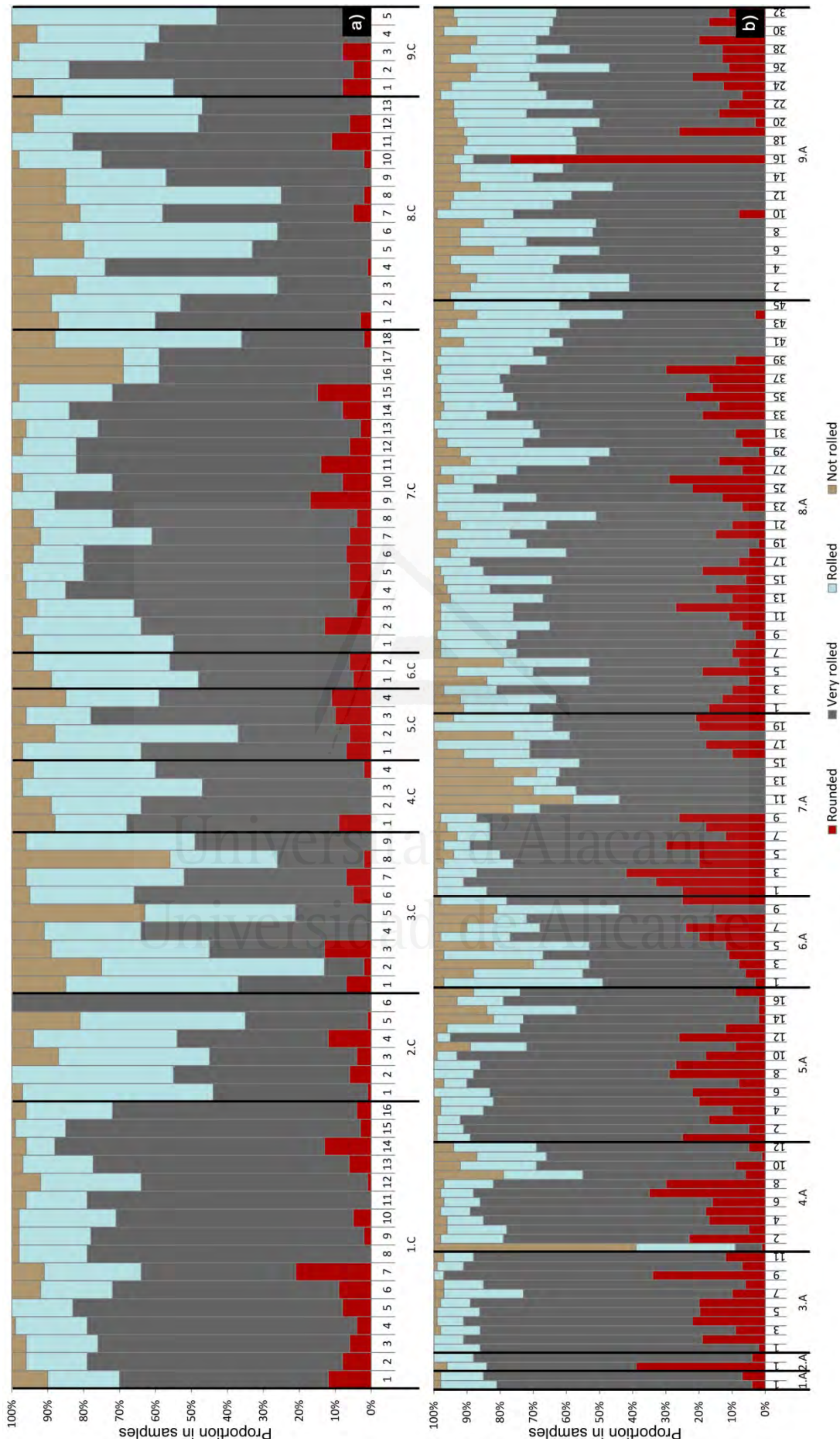
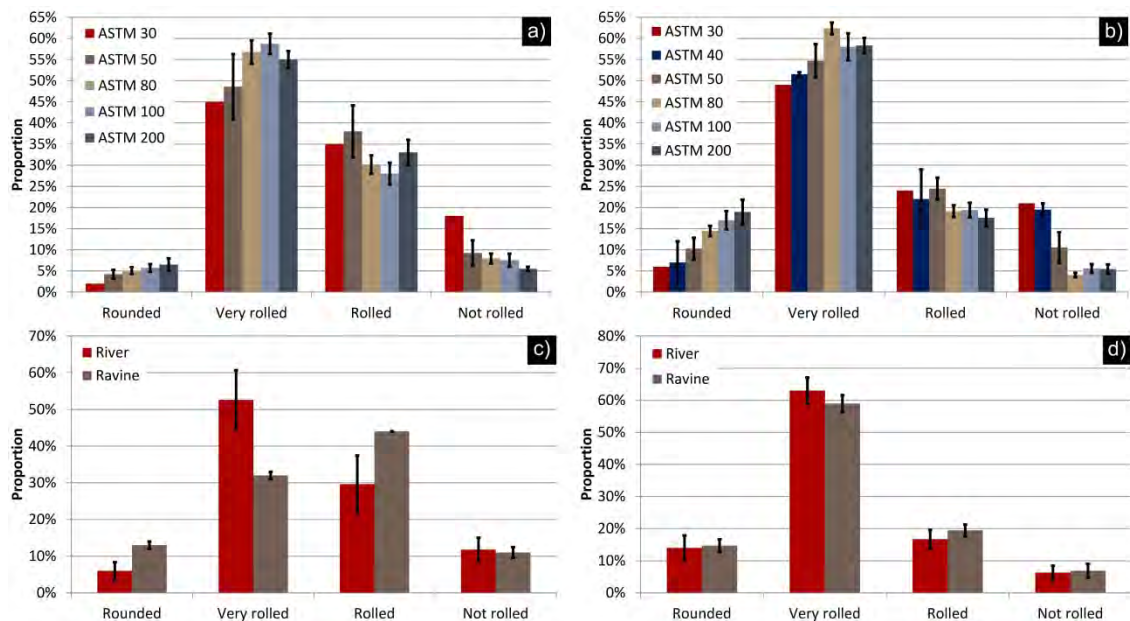


Figura 25. Grado de redondeo del cuarzo blanco. a) Zona norte del Golfo de Valencia. b) Zona de Alicante.



**Figura 26. Porcentaje grado de redondez para cada uno de los tamices en la zona de Castellón (a) y Alicante (b). Y en el entorno de la desembocadura (< 250 m) Castellón (c) y Alicante (d).**

Del análisis del cuarzo azul en la zona de Castellón-Valencia (Figura 27), se observa como su presencia en las unidades morfológicas va aumentando conforme disminuye su tamaño, así como su porcentaje dentro de la muestra. En el tamiz ASTM 50 tan solo 16 muestras distribuidas en 5 unidades morfológicas el porcentaje es mayor del 1%. Cabe destacar la unidad de Peñíscola (3.C) que se presenta en una proporción aproximada al 2%. El tamiz ASTM 80 se encuentra en todas las unidades, y es el que presenta un mayor porcentaje sobrepasando 15% en la unidad 1.C Por su parte el tamiz ASTM 100 retiene entorno al 1,3% en la unidad 1.C correspondiente a la desembocadura del Río Ebro, aumentado el contenido hasta un 7,7% en la unidad 4.C. Algo similar ocurre con el tamiz ASTM 200, cerca de las desembocaduras (Unidad C.1 Río Ebro y Unidad C.7) los porcentajes retenidos son muy bajos (del orden del 0,3% y 1%, respectivamente), aumentando conforme nos alejamos de la fuente de suministro, alcanzando valores del 6,6% en la unidad 4.C.



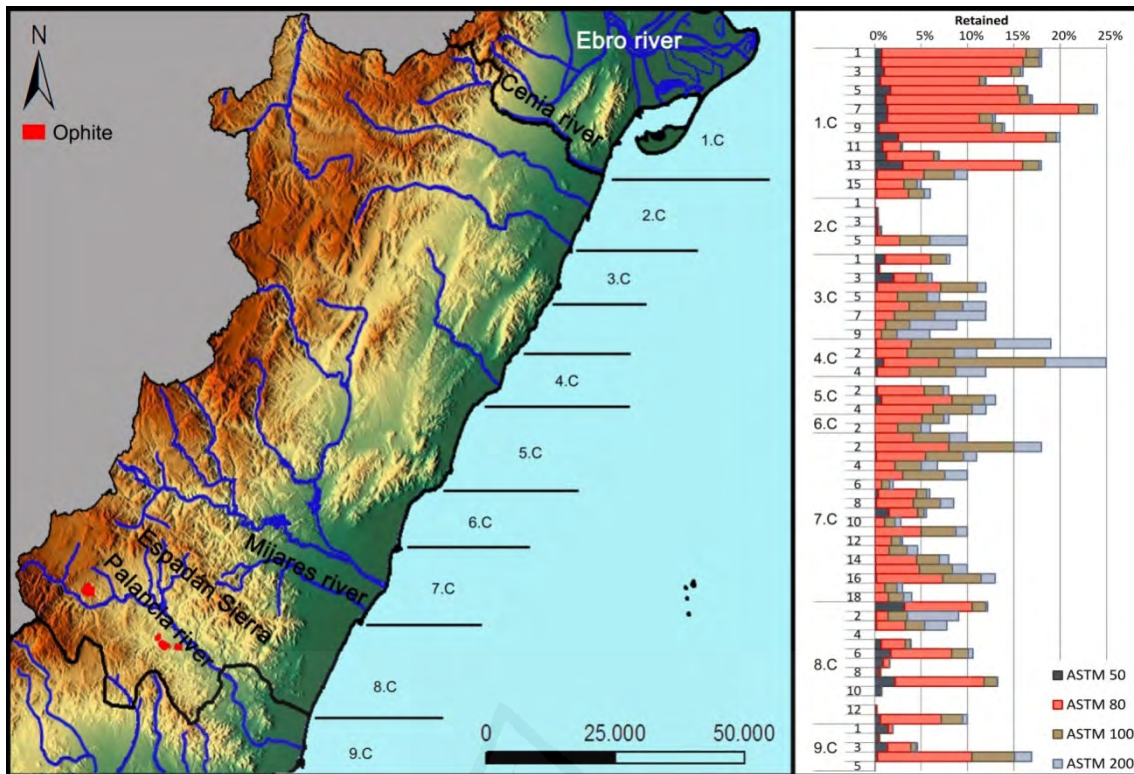


Figura 27. Porcentaje de cuarzo azul retenido en cada uno de los tamices con respecto a la muestra total para la zona norte del Golfo de Valencia.

Sin embargo, en la provincia de Alicante (Figura 28) el cuarzo azul únicamente es superior al 1% de la muestra en el entorno del Cabo de Santa Pola (unidad 8.A y unidad 9.A). En estas unidades se observa que los tamices más pequeños se retienen una mayor cantidad de cuarzo azul. Así los porcentajes medios retenidos son de 0,3%, 1,89%, 1,62% y 2,06% en los tamices ASTM 50, ASTM 80, ASTM 100 y ASTM 200, respectivamente. Estos valores se reducen hasta cuando nos desplazamos al sur de la unidad 9.A hasta el 0,09%, 0,47%, 0,28% y 0,07%, respectivamente.

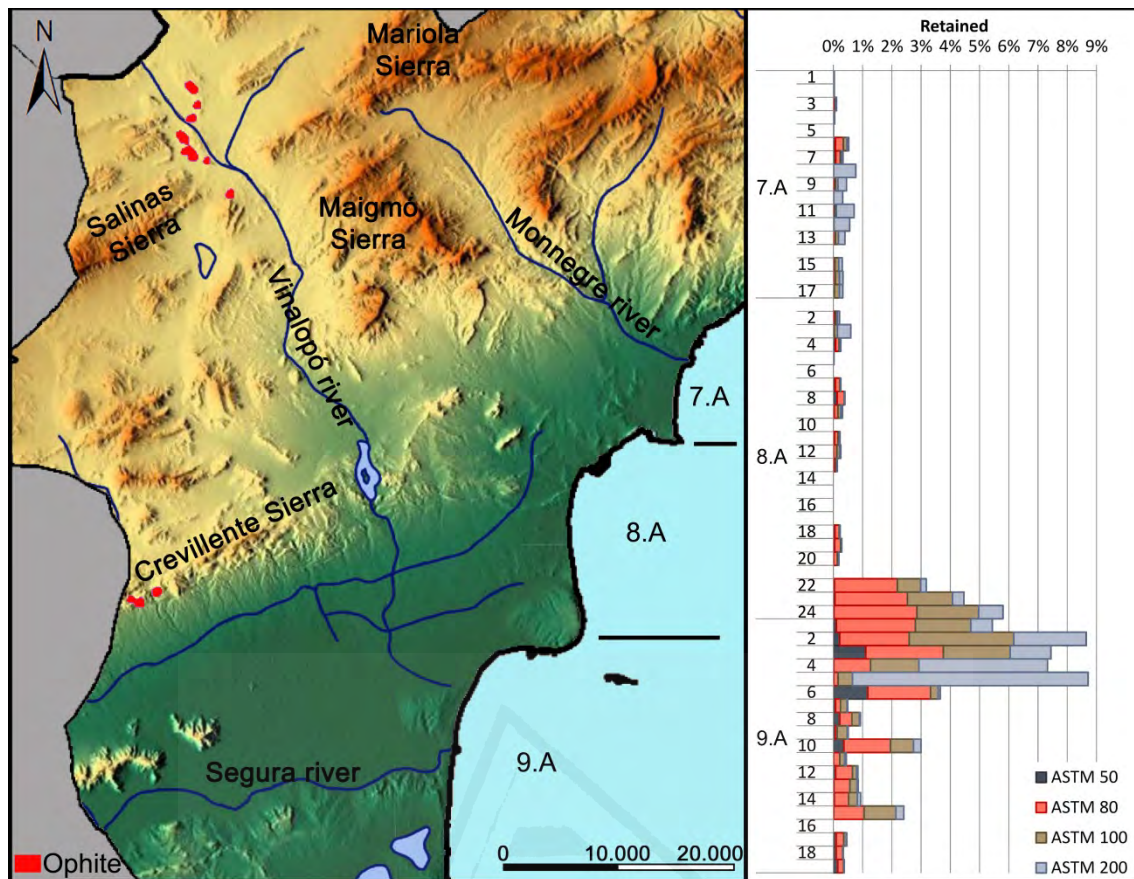


Figura 28. Porcentaje de cuarzo azul retenido en cada uno de los tamices con respecto a la muestra total para la zona sur de la Provincia de Alicante.

Tras la revisión de los mapas geológicos (Figura 27 y Figura 28) se han encontrado los siguientes afloramientos de ofita:

- Sierra de Salinas: es un afloramiento pequeño que se ubica entre los municipios de Villena y Sax, en la zona interior de la provincia.
- Sierra de Crevillente: este afloramiento de ofita es algo mayor, y como su nombre indica, se encuentra localizado en el municipio de Crevillente, en el interior de la provincia.
- Sierra del Espadán: es un afloramiento pequeño, pero que sin duda es causa de la presencia de cuarzo azul en la zona sur de la ciudad de Castellón de la Plana. En cambio, la presencia al norte de la misma se debe a los aportes del cauce del río Ebro, puesto que no hay más afloramientos en toda la provincia.

Una vez localizados los posibles yacimientos de ofita en la Comunidad Valenciana, se procedió a analizar las cuencas naturales que podrían transportar el

material a la costa, así como las unidades morfológicas en las que sería posible la aparición de cuarzo azul debido a ese transporte.

- Yacimiento de ofita en la provincia de Castellón: los ríos que permiten el aporte de sedimento que contiene cuarzo azul desde los afloramientos de ofita en la sierra de Espadán son los ríos Mijares y Belcaire. El primero desemboca entre las localidades de Almassora y Burriana, por lo que tendrían repercusión sobre la unidad morfológica de La Plana. El segundo río va a parar entre los municipios de Moncofa y Xilxes, posibilitando el aporte de cuarzo azul en la unidad morfológica de Nules (Figura 27).
- Yacimiento de ofita en la provincia de Alicante: el único medio de transporte natural de sedimentos que puede justificar la presencia de cuarzo azul en la costa alicantina es el río Vinalopó, el cual nace en la Sierra de Mariola (Bocairent), y atraviesa entre otros, los municipios de Villena, Sax y Crevillente, para desembocar finalmente en la antigua albufera de Elche, a la altura de las salinas de Santa Pola. Por tanto, si se produce presencia de cuarzo azul debido a estos afloramientos de ofita en la sierra de Salinas y en la Sierra de Crevillente, tendrán lugar en la unidad morfológica de Cabo Las Huertas – Cabo de Santa Pola (Figura 28).

Vemos por tanto que la erosión en las playas de arena es un problema a nivel mundial. Una de las causas es la falta de aportes por parte de los ríos por la construcción de embalses, presas, encauzamientos de ríos y barrancos (López Bermúdez y Gomaríz Castillo (2006). La gran cantidad de sedimentos que se aportan en periodos de avenida es uno de los factores más importantes que han generado una regulación del litoral debido a la importante erosión del suelo que registran en sus cuencas. Así, Serrato et al. (2013), afirma que el aporte de sedimentos a las playas procede básicamente de: (i) organismos marinos (conchas, corales etc.), (ii) erosión de la costa rocosa, (iii) sedimentos procedentes del intercambio duna-playa por acción del viento y (iv) aportes procedentes de la erosión de la playa ocasionada por temporales y sedimentos transportados por ríos y ramblas, siendo estos últimos los que constituyen la fuente de alimentación más importante. Esta escasez de sedimento tan valioso justifica la gran

importancia de saber los procesos que envuelven a la erosión de la arena para de este modo poder buscar y adoptar soluciones.

La acción conjunta de viento y agua modelan el sistema litoral, que condicionan la morfología, la distribución del sedimento y la presencia de ecosistemas biológicos propios que confieren nuestras playas (Jabaloy-Sánchez et al., 2010). Los vientos juegan el papel fundamental ya que son los que condicionan la dirección del oleaje y las corrientes litorales y, por tanto, el transporte de sedimentos (Serrato et al., 2013). Además de las características del clima marítimo, existen otros factores naturales relacionados con la morfología específica de cada playa que han de ser considerados en los procesos de erosión costera. Por ello podemos decir en un sentido amplio, que todos los problemas en la evolución costera son problemas morfodinámicos (Wright and Thom, 1977).

En general, el carácter de los sedimentos oceánicos no se determina solo por la fuente de la que se derivan, sino que hay factores físicos, químicos y biológicos que controlan la naturaleza de estos depósitos. En la costa, los factores físicos se relacionan con la pendiente, la forma y tamaño de la playa, la velocidad y dirección de las corrientes y la energía que alcanzan las olas. Los agentes transportadores determinan en gran parte el sitio donde se depositan, siendo los ríos y las corrientes marinas las que mueven grandes cantidades de sedimentos (Salazar, M. et al., 2004). Por lo tanto, la erosión de las costas no solo está dominada por la falta de suministro de sedimentos, o por la energía del oleaje o la elevación del nivel del mar (Corbella and Stretch, 2012), sino también a la disminución del tamaño del sedimento debido a la disolución y separación de carbonatos y al choque entre partículas (López et al., 2016). La disminución del tamaño de los sedimentos genera un movimiento transversal a la costa hacia las llanuras abisales entre otros (Aragonés et al., 2016a).

El tamaño de grano y la clasificación son parámetros texturales de los sedimentos modernos que constituyen una ayuda importante para inferir ambientes análogos de sedimentos antiguos (Friedman, 1961; Andrews and Van der Lingen, 1968; Dickinson, 1974; Ingersoll, 1990). La playa es un ambiente muy dinámico, que por lo general se ve afectada por corrientes litorales, olas, aportes fluviales, corrientes marinas, vientos, etc.

(Komar, 1976). Así, de los análisis granulométricos se observan valores de media y centiles, cuya relación para la zona de Castellón es de 4,64 y de 2,88 (Figura 22) para la zona de Alicante. Estos parámetros nos muestran la relación existente entre la naturaleza del sedimento y su origen. Valores superiores a 2,5 nos revelan, como en el caso de Castellón, que la muestra puede estar formada por sedimentos procedentes de diferentes fuentes, lo cual nos lleva a encontrarnos frente a arenas heterogéneas.

La mayor parte del sedimento arenoso está constituida por una mezcla variable de componentes mineralógicos de cuarzo y carbonato bioclástico; el primero procede de la erosión de la propia cuenca hidrográfica, de la deriva costera, de la erosión de los acantilados y del lavado de los sedimentos de la plataforma continental, mientras que el componente carbonatado bioclástico representa la propia aportación del medio costero; sin que se pueda establecer, por el momento, la proporción relativa de cada contribución (Flor, G. et al., 1994). En particular, en el Mar Mediterráneo las praderas de *Posidonia oceanica* contribuyen de forma muy positiva en la aportación de material carbonatado de origen bioclástico, tal y como se demostró en la Península de Sinis, Cerdeña (G. De Falcó et al., 2003).

El carbonato de calcio es el segundo sedimento más abundante acumulado en los océanos de todo el mundo, aproximadamente 3 millones de toneladas al año en comparación con aproximadamente 15-20 millones de toneladas de sedimentos derivados del flujo fluvial (Milliman y Syvitski 1992). Así, del estudio de su composición biológica y química, se observa como una gran parte de las mismas está formada por carbonato (Figura 23). Una de las principales fuentes de aportes de carbonatos la encontramos en el propio mar, concretamente en las praderas de *Posidonia oceanica*. Esta fanerógama tiene en sí misma unos mecanismos individuales de eliminación de sedimentos en suspensión y la absorción de nutrientes disueltos que han demostrado ser factores eficaces e importantes en la purificación de las aguas de los estuarios. En combinación, estos dos mecanismos pueden ayudar a mantener sano un estuario, así como mejorar las praderas de pastos marinos. El material sedimentario de grano fino eliminado por las algas marinas se deposita en el fondo del mar entre los brotes de hierbas marinas. Tal material está protegido de la resuspensión por los pastos marinos

y se convierte en una fuente de carbono orgánico y en barro de grano fino para bentos de pastos marinos (Short and Short 1984). Por otro lado, al desprenderse las hojas, los esqueletos calcáreos que en ella conviven se fragmentan y pasan a formar parte del sedimento (Gray, 1981; De Falco et al. 2000), llegando de este modo a producir de 60 a 70 g de carbonatos por m<sup>2</sup> de pradera (Canals and Ballesteros, 1997). En este estudio se ha observado que cuanto mayor es la profundidad de la Posidonia menor es el contenido de carbonatos en la playa seca (Figura 23), siendo el porcentaje medio de carbonatos en Castellón de un 38% situándose las praderas de Posidonia a una profundidad de 15,3 m, mientras que en Alicante el porcentaje asciende al 73% y la profundidad media se reduce hasta los 7,9 m. El elevado porcentaje de carbonatos en Alicante podría ser la causa por la cual encontramos menores tamaños de arena que en Castellón, confirmando así la disolución de los carbonatos como uno de los mecanismos de erosión costera propuestos por López et al. (2016).

Este hecho es importante ya que puede influir de forma decisiva en la erosión de aquellas playas con un contenido importante de carbonatos. Durante las últimas décadas, las investigaciones han proporcionado pruebas abrumadoras del cambio climático en la Tierra cuyas consecuencias son desastrosas, debido a unas emisiones antropogénicas de gases de invernadero desenfrenadas. La comunidad científica asegura que esas emisiones, especialmente las emisiones de CO<sub>2</sub>, pueden provocar que el planeta se caliente hasta siete grados centígrados a finales de este siglo (Hofmann, M., 2010). Estas emisiones, que provienen en gran medida de la quema de combustibles fósiles, están provocando que la presión parcial de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>) en la atmósfera presente una tasa de crecimiento. Este aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico sería aún más rápido si el océano no fuera capaz de actuar de forma relativamente rápida como sumidero de aproximadamente la mitad del exceso de CO<sub>2</sub> que se ha producido en estas últimas décadas debido a la acción antropogénica (Mackenzie et al, 2001; Sabine et al., 2004; Morse, J.W., 2006); Sabine y Feely, (2007), valoraron esta absorción en aproximadamente 127 Pg (Pg = 10<sup>15</sup> gC) de dióxido de carbono desde la época preindustrial.

Si bien esta absorción ha mitigado el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera entorno a un 55% (Sabine et al., 2004; Sabine y Feely, 2007), a su vez ha provocado que el océano presente mayores cantidades de CO<sub>2</sub>, con el consiguiente impacto en los procesos químicos (por ejemplo, Caldeira y Wickett, 2003; Andersson y Mackenzie, 2004; Feely et al., 2004; Orr et al., 2005; Millero, 2007) y en la vida marina (Andersson et al., 2007; Fabry et al, 2008, 2009.; Cooley y Doney, 2009; Feely et al., 2009).

Entre los impactos más importantes sobre la química del agua de mar encontramos el descenso del estado de pH y la saturación de agua de mar con respecto a los minerales de carbonato de calcio; proceso al que se hace referencia como “acidificación de los océanos” (por ejemplo, Kleypas et al., 1999, 2006; Andersson et al, 2005; Orr et al, 2005). El pH normal del agua de mar en superficie es 8,1 a 8,2. Las predicciones son que dentro de los próximos 100 años, la absorción del exceso de CO<sub>2</sub> en los océanos podría dar lugar a un descenso del pH oceánico a 7,9 (Feely et al., 2001) o incluso 7,8 (Gattuso et al., 1999). Algunos modelos de predicción prevén una disminución en el pH del océano de 0,7, lo que daría lugar al valor del pH oceánico más bajo en los últimos 300 millones de años (Caldeira y Wickett, 2003).

Debido a la disminución del grado de saturación del carbonato en el agua de mar, numerosas experiencias experimentales han demostrado que, para especies calcificantes de corales, foraminíferos, cocolitofóridos y algas coralinas y comunidades de carbonato, la tasa de calcificación disminuye (ver por ejemplo Gattuso et al., 1999; Riebesell et al, 2000; Langdon et al., 2000; Orr et al, 2005). Además de reducir la producción de mineral de carbonato marino biogénico, el bajo estado de saturación del agua de mar dará lugar a un aumento de la disolución de carbonato mineral (Andersson et al, 2003, 2005). De hecho, la disolución de minerales de carbonato jugará un papel cada vez mayor en el futuro de los cambios en la química del océano y la capacidad de los océanos para absorber el CO<sub>2</sub> atmosférico (por ejemplo, Garrels y Mackenzie, 1980; Andersson et al, 2003, 2005).

A pesar de que es sabido que la acidificación de los océanos aumenta en cierta medida la disolución de carbonato, este hecho ha recibido relativamente poca atención en comparación con el efecto sobre la capacidad de los organismos a calcificarse (Andersson et al, 2003).

Por otro lado, si analizamos las partículas que componen una muestra de arena se observa como una partícula de mayor tamaño necesita más flujo o energía para mantenerse en suspensión. La suspensión es el medio más frecuente de transporte de sedimentos hasta que la velocidad de la corriente disminuye, momento en el que comienza la deposición. Se trata de un proceso selectivo, ya que los materiales que asentarán en primer lugar serán los más gruesos y a medida que va disminuyendo la energía continuará el proceso cada vez hacia partículas más finas. El transporte de sedimento costero en la zona de rompientes es el resultado de la forma de rotura de la ola al alcanzar la playa y de su combinación con patrones horizontales y verticales de las corrientes. Este transporte es uno de los procesos más importantes, que controlan la morfología de las playas y determinan si se encuentra en regresión, en acreción o si la playa permanece en equilibrio (Van Rijn, 1993). Así del análisis mineralógico de las muestras, se puede entender parte de los procesos erosivos de los sedimentos. Inicialmente, este estudio se centró en el análisis del cuarzo blanco, debido a su mayor presencia (Figura 24) frente al resto de minerales hallados en las muestras. Pilkey (1964) observó que el grado de redondez en muestras compuestas por cuarzos y carbonatos, por una parte, que en algunas muestras con la disminución de tamaño de grano (dentro de la gama de arena) la redondez de la fracción de carbonato disminuye. Esto supone un aumento de la angulosidad de los tamaños inferiores lo cual indica que este material no se deriva principalmente por desgaste de partículas más gruesas, sino más bien por la fragmentación de las mismas. Por otra parte, en el resto de las muestras, observó una relación opuesta entre la redondez y el tamaño de grano, que se corresponde con la idea de Chave (1960), que defiende que los fragmentos de esqueletos gruesos (muestra pura de carbonatos) se desgastan por abrasión gradual en lugar de por la fragmentación en partículas de tamaño mayor. Por tanto, la relación entre el tamaño y la redondez se puede explicar suponiendo que el tamaño del material se produce por una fragmentación inicial en zona de rompientes de pequeñas conchas frágiles, y que dicha



fragmentación tiene lugar tanto en entornos de alta y baja energía, la cual conlleva un posterior redondeo de los fragmentos. En cuanto a los granos de cuarzo, la disminución de la redondez con la disminución del tamaño es un fenómeno bien establecido y generalmente se atribuye al diferencial de las tasas de desgaste de los granos gruesos y finos. Los granos gruesos se redondean más rápido debido a un mayor impacto y una tendencia a ser transportados por rodadura en lugar de la suspensión (Pettijohn, 1957; Folk, 1965). Es probable que esta explicación se aplique a la relación tamaño-redondez de la fracción de carbonato.

De este análisis obtuvimos resultados que nos relacionaron el grado de rodadura con su tamaño (Figura 26). Tanto para Castellón, como para Alicante, cerca del 60% de la muestra retenida por el tamiz ASTM 200 presentaba un grado de redondez alto (muy rodado), es decir, la redondez aumenta conforme disminuye el tamaño del grano, sin embargo, no encontramos ningún tipo de relación a medida que nos alejamos de la fuente de suministro (río o rambla), lo cual puede ser debido a que la fuente de cuarzo blanco es diversa, pudiendo haber suministros en puntos diferentes a los ríos y ramblas considerados. Por ello, se decidió estudiar el cuarzo azul, un mineral cuya procedencia es mucho más puntual, localizándose en puntos muy concretos de la zona de estudio, y cuyos mecanismos de transporte pueden ser claramente identificables.

Del estudio del cuarzo azul, se observa que la proporción de los tamaños más pequeños aumenta conforme nos alejamos de la fuente. Analizando la zona de Castellón-Valencia, observamos que el transporte de los sedimentos en la zona septentrional del Óvalo Valenciano es de norte a sur (Figura 21), encontrándose el cuarzo azul de forma significativa en las playas próximas a los ríos aportadores de sedimentos, sin embargo, no se encuentra en las unidades iniciales. Posiblemente la causa de ello haya sido que al ser el Ebro un río en el que se han realizado muchas construcciones en su cauce (presas, azudes, encauzamientos...) hayan impedido el aporte de este sedimento a la playa. Esto unido al desgaste (por parte del oleaje), ha facilitado su transporte hacia otras playas. Así observamos como en las muestras situadas más al Norte, las proporciones en el tamiz ASTM 80 se encuentran próximas al 21% (Figura 27). Conforme nos vamos alejando de la fuente se observa que tanto su

tamaño como su proporción (tamiz ASTM 100 - 11%) van disminuyendo progresivamente (Figura 27) hasta el tamiz ASTM 200 donde su proporción tan solo supone un 6.6% en la unidad 4.C y tan solo un 1,8% en la unidad 9.C (Nules) (Figura 27). Por lo tanto, se puede deducir que este mineral ha tenido un transporte longitudinal de sentido N-S durante el que ha disminuido tamaño y proporción a lo largo de su recorrido. Por otro lado, la práctica ausencia de tamaños inferiores de cuarzo azul se puede relacionar con el transporte transversal que sufren las partículas, de modo que aquellas de menor tamaño tienen una tendencia más transversal y son transportadas off-shore no regresando a la costa (Aragonés et al., 2016a). Por lo que, podemos afirmar que el cuarzo azul llegó al Delta del Ebro con un tamaño superior, sufre desgaste debido al medio natural costero, y reduce su tamaño, favoreciendo de este modo su transporte longitudinal hacia subunidades localizadas más al sur y transversal fuera de la zona de influencia del oleaje (off-shore).

En cuanto a la provincia de Alicante, al igual que en Castellón, el porcentaje de su contenido en muestra aumenta con la disminución del tamaño, llegando a valores del 8% para el tamiz más pequeño. Sin embargo, al contrario que en la zona anterior, al tener su salida en una zona totalmente protegida por el Cabo de Santa Pola y la Isla de Tabarca, hace que su presencia esté concentrada prácticamente dentro de la misma unidad morfológica (A.9) haciendo que este tipo de sedimentos se mantengan aún en la zona on-shore. En esta zona, por tanto, no se puede afirmar el desgaste del cuarzo azul debido al transporte longitudinal, ya que todas las posibles muestras se encuentran demasiado cerca de la fuente. En este caso podríamos decir que el desgaste que se produce en el sedimento es debido a la antigüedad del mismo, produciéndose escaso transporte longitudinal, hasta alcanzar los sedimentos sus tamaños más pequeños que es cuando son transportados transversalmente.

La antigüedad del sedimento es un factor importante a tener en cuenta, y por lo tanto debe ser estudiado con mayor detenimiento. Ya que, actualmente, el aporte de nuevos sedimentos por parte de los ríos o barrancos se ve interrumpido por las actuaciones antrópicas llevadas a cabo en sus cuencas (presas, encauzamientos, etc.). Por otro lado, en el lado marino la composición de las praderas marinas de Posidonia

oceánica afecta al patrón sedimentario, siendo el sedimento más ordenado y menos fangoso dentro de la pradera, lo que implicaba que el lodo era inducido fuera de los pastos marinos (De Falco et al. 2000). Por lo tanto, la pérdida de estos pastos marinos cambiaría sustancialmente el control del patrón sedimentario lo que generaría la movilización del material fino tras la erosión del prado aumentando su turbidez y causando un deterioro de la calidad del agua y por otro lado la pérdida a largo plazo un retroceso progresivo de todo el ecosistema costero (Jeudy de Grissac 1984, Shepherd et al. 1989). Estos dos factores dan lugar a la disminución del sedimento de manera que cuando se alcanzan tamaños inferiores a 0.125 mm, las partículas presentan una tendencia transversal dirigiéndose hacia mar adentro, hasta que traspasan la profundidad de cierre y se dirijan a las llanuras abisales (Aragonés et al., 2016a). Siendo este transporte transversal, una de las principales causas de la erosión costera.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **6.3. CAPÍTULO 3: INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN EL DESGASTE DEL SEDIMENTO**

---

### **6.3.1. INTRODUCCIÓN**

---

La erosión costera es un fenómeno natural que se está convirtiendo en un problema creciente. Durante las últimas décadas, ha habido un cambio gradual en cuanto a las técnicas de defensa costera, tendiendo en los últimos años a la regeneración de las playas como mitigación de la erosión (Dean, 2003; Trembanis y Pilkey, 1999). Por otra parte, la alimentación periódica artificial es ampliamente considerada como un método aceptable de protección de las playas y restauración de dunas (Hanson et al., 2002).

Para poder realizar regeneraciones duraderas en el tiempo es necesario tener un conocimiento profundo de los factores involucrados en el proceso. Para ello conocer la profundidad de activación, que es el grosor de la columna de arena que se moviliza cuando es afectada por procesos hidrodinámicos, principalmente olas y corrientes marinas durante periodos de tiempo cortos y largos (King, 1951; Otvos, 1965; Williams, 1971; Greenwood y Hale, 1980; Wright, 1981; Sunamura y Kraus, 1985; Fucella y Dolan, 1996; Ciavola et al, 1997), nos permite una mejor comprensión de los procesos erosivos cercanos a la costa. Así mismo, es necesario conocer cómo la granulometría de la arena aportada en dichas regeneraciones influye en el proceso erosivo. En este estudio hacemos un análisis de veinticuatro playas, sometidas al ensayo de desgaste acelerado de partículas, del que se obtienen datos interesantes como la cantidad de material que colapsa y por tanto, en la realidad, es arena que se desplaza hacia el fondo sobrepasando la profundidad de cierre, y por tanto no vuelve a la costa, produciéndose el retroceso de la línea de costa.

### **6.3.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

El conocimiento de las causas que producen la erosión costera requiere un profundo estudio de los distintos factores involucrados y su interrelación. Lopez. et al, 2016 validó el ensayo de erosión acelerada de partículas, en el que se demostraba el

desgaste de la arena debido principalmente a dos mecanismos: i) separación de las partículas y ii) disolución de los carbonatos. Este ensayo fue realizado en muestras procedentes de cuatro playas y conchas. En este estudio analizamos veintitrés muestras pertenecientes a nueve playas distintas, que han sido sometidas al ensayo anteriormente citado, y en las que se han empleado distintas cantidades de arena (60 g, 75 g, 100 g, 120 g y 150 g). En la Tabla 3 quedan resumidos todos los datos obtenidos. El objetivo planteado es relacionar la erosión de las partículas en función de la capa de activación que se produce en las playas, la cual está directamente relacionada con la energía del oleaje (Ciavola et al, 2006; Ciavola et al 2013).

**Tabla 3. Resumen datos obtenidos**

Denominación muestras	Ciclos (n)	Granulometría										CaCo <sub>3</sub>
		D50				Masa				Superficie		
		D0	Dn	D01	Du	M0	Mn	M01	Mu	S0	Sn	
		mm	mm	%	%	g	g	%	%	mm <sub>2</sub>	mm <sup>2</sup>	
1 Deveses (60)	6	0,194	0,028	7	69,8	59,7	3,18	4	90,1	713	4958	1,08
2 Deveses (75)	3	0,198	0,027	3,6	61	74,5	1,6	5,5	94,6	862	6370	3,19
3 Deveses (100)	3	0,208	0,064	19	44,7	98,2	39,03	12,2	36,4	123	4790	0
4 El Conde (60)	6	0,233	0,035	7,4	79,8	59,2	7,39	14,1	82,1	632	4336	2,88
5 El Conde (75)	4	0,236	0,028	5,6	35,5	74,7	0,5	10,2	96,8	723	6343	0
6 El Conde (100)	1	0,238	0,077	67	67,6	99,2	43,7	56	56	100	3576	0
7 Guardamar (60)	7	0,238	0,03	0,5	57,9	59,7	5,3	5,5	80,9	591	4740	2,51
8 Guardamar (75)	3	0,249	0,033	41	75,5	74,3	5	8,1	92,4	733	5690	6,62
9 Guardamar comprobación	2	0,238	0,073	2,2	68,8	74,9	32,11	4,4	55,2	721	969	6,62
10 Guardamar (100)	3	0,246	0,069	16	55	97,4	41,6	10,4	43,3	112	4832	0
11 Marineta Casiana (60)	7	0,268	0,036	3,6	14,9	59,8	16,9	5,9	5,4	545	3930	0
12 Marineta Casiana (75)	4	0,279	0,041	5,6	81,8	75	7,4	3,9	88	647	4895	0
13 Marineta Casiana (100)	7	0,268	0,027	13	50	99,4	1,4	8,7	96,6	947	8447	0
14 Arenales del Sol(75)	6	0,242	0,051	6,4	27	75	25,6	7,7	26,2	712	4119	10
15 Arenales del Sol (150)	7	0,273	0,026	84	6,9	148,4	1,68	60,7	61,9	125	1286	2,87
16 Levante (75)	5	0,321	0,088	1	59,2	75	40,4	2,6	38,2	542	3025	1,36
17 Levante (120)	7	0,288	0,031	34	25,9	119,9	8,77	46,5	79,1	948	9255	2,11
18 Molinos y Palmeras(75)	4	0,322	0,029	12	70,9	74,8	2,7	7,5	93,6	634	6025	8,57
19 Molinos y Palmeras (100)	10	0,365	0,03	44	32	99	9,5	41,4	72,2	686	7664	3,38
20 Portet de Moraira (75)	9	0,313	0,039	5,3	75,4	74,9	3,16	6,4	92,7	559	5163	4,97
21 Portet de Moraira(150)	12	0,327	0,033	88	2,7	149,1	33,4	67,4	9,9	106	1049	0,99
22 San Juan (75)	5	0,22	0,069	2,7	36,9	75	30,2	3,7	33,1	775	3786	0
23 San Juan (100)	9	0,267	0,035	20	28,8	99,1	2,9	29,3	92,5	916	7385	2,92

Como hemos comentado en el párrafo anterior, el total de playas analizadas ha sido nueve, realizando el ensayo con distintas cantidades de arena para una misma

playa. El primer análisis se centra en la pérdida de material tras el primer ciclo de ensayo. Así, se observa que, para las muestras de mayor cantidad, es en éste ciclo cuando se produce la mayor pérdida de masa, por ejemplo, El Portet de Moraira ensayada con 150 g, pierde en el primer ciclo un 67,4% de masa, mientras que la misma playa ensayada con 75 g pierde únicamente un 6,4%, con una diferencia de más del 60%. Otro ejemplo a destacar es Arenales del Sol, ensayada con 150 g y 75 g, perdiendo un 60,7% y un 7,7% respectivamente (Tabla 4). Por lo que podemos decir que, en general, a mayor cantidad de muestra empleada, mayor pérdida de masa durante el primer ciclo para una misma playa. Por lo tanto, queda demostrado que a mayor energía mayor desgaste de las partículas, por lo que uno de los factores en el que el ingeniero costero puede influir en la reducción de dicha erosión es reduciendo la energía y como consecuencia de ello, la reducción de la capa de activación. Este proceso es el que habitualmente realiza el ingeniero costero en las playas con la realización de espigones, diques exentos o aumentando el tamaño medio del sedimento ( $D_{50}$ ). Sin embargo, usar la misma cantidad de muestra no implica la misma pérdida de masa durante el primer ciclo si las muestras provienen de distintas fuentes (playas), este sería el caso de El Conde (0.238 mm  $D_{50}$ ) y Deveses (0.208 mm  $D_{50}$ ), ambas ensayadas con 100 g, presentan pérdidas iniciales del 56% y 12,2% respectivamente, lo que nos indica que no por tener mayor tamaño medio va a desgastarse más tarde. Esto nos lleva a pensar que el tipo de material influirá notablemente en la cantidad de la muestra perdida en el primer ciclo más incluso que su  $D_{50}$ .

Si trasladamos a la realidad lo que sucede en el laboratorio, la mayor o menor cantidad de muestra empleada en el ensayo se relaciona directamente con el espesor de la capa de activación que se podrá poner en suspensión debido al oleaje. De acuerdo con diversos estudios se deduce que cuanto mayor es la energía del oleaje que incide sobre la playa mayor es el espesor la capa de activación (Ciavola et al, 2006; Ciavola et al 2013), siendo, por tanto, el desgaste del sedimento mayor, al igual que sucede en laboratorio. Además, dado que la cantidad de sedimento que se pone en suspensión es mayor (cuando existe mayor energía) para un mismo volumen de agua, habrá más posibilidades de partículas chocando entre sí, dando lugar a un mayor desgaste de las partículas, y por ende a una mayor erosión de la playa.

*Tabla 4. Porcentaje de masa perdida tras el primer y segundo ciclo de ensayos*

Denominación playas	Ciclos	% masa perdida ciclo 0-1	% masa perdida ciclo 1-2
1 Deveses (60)	6	-4,0%	-6,6%
2 Deveses (75)	3	-5,5%	-58,5%
3 Deveses (100)	3	-12,2%	-28,8%
4 El Conde (60)	6	-14,1%	-3,1%
5 El Conde (75)	4	-10,2%	-18,0%
6 El Conde (100)	1	-56,0%	
7 Guardamar (60)	7	-5,5%	-7,9%
8 Guardamar (75)	3	-8,1%	-3,8%
9 Guardamar comprobación	2	-4,4%	-55,2%
10 Guardamar (100)	3	-10,4%	-16,0%
11 Marineta Casiana (60)	7	-5,9%	-1,3%
12 Marineta Casiana (75)	4	-3,9%	-3,5%
13 Marineta Casiana (100)	7	-8,7%	-6,7%
14 Arenales del Sol (75)	6	-7,7%	-8,2%
15 Arenales del Sol (150)	7	-60,7%	-4,7%
16 Levante (75)	5	-2,6%	-1,3%
17 Levante (120)	7	-46,5%	0,2%
18 Molinos y Palmeras (75)	4	-7,5%	-34,9%
19 Molinos y Palmeras (100)	10	-41,4%	-0,5%
20 Portet de Moraira (75)	9	-6,4%	-4,3%
21 Portet de Moraira (150)	12	-67,4%	-0,5%
22 San Juan (75)	5	-3,7%	-8,5%
23 San Juan (100)	9	-29,3%	-2,7%

Por otro lado, ya sabemos que, tras el primer ciclo en el agitador, parte de la masa de las muestras es perdida. En el caso de las playas de Molinos y Palmeras (100 g) y Arenales (150 g) comienzan el siguiente ciclo (2º ciclo) con 57,97 g y 58,30 g, respectivamente. Estos valores son similares a las playas que comienzan su ensayo con 60 g, por lo que podemos comparar qué sucede partiendo de la misma masa, desde ciclos distintos. Así, las muestras que parten desde el principio de 60 g, presentan una pérdida inferior al 15% en el primer ciclo de ensayo, lo que se asemeja a lo que ocurre durante el segundo ciclo de las muestras mencionadas arriba, ya que Molinos y Palmeras pierde únicamente un 0,5% y Arenales del Sol un 4,7% de masa. Estos resultados nos hacen pensar que la pérdida de masa inicial que se produce en la arena es debido principalmente a los siguientes motivos: (i) uniones frágiles, las cuales hacen que en un momento dado la energía provoque la separación de los distintos componentes de la partícula y que ésta se convierta en limos (Chiva, et al. 2018), y (ii) desgaste inicial del

material o partículas más frágiles, perdurando durante más tiempo el resto del material, desgastándose progresivamente el tamaño medio del grano.

Por lo tanto, si como se observa en muchas de las playas analizadas, las mayores pérdidas se producen al inicio del ensayo de desgaste ¿Cómo se explica que la erosión de las playas se haya acelerado en los últimos años? La primera respuesta que explicaría este hecho es que la carencia y la energía de los oleajes incidentes en las playas hayan aumentado debido, entre otras causas, al calentamiento global. Sin embargo, en estudios anteriores llevados a cabo en las playas de estudio (López et al, 2016, Aragonés et al, 2016, Pagán et al, 2016, Pagán J.I, et al , 2018a, Pagán et al, 2018b) se observó que la energía y frecuencia de los oleajes apenas ha cambiado a lo largo del tiempo (Pagán et al, 2018 a), entonces ¿a qué se debe el aumento de la velocidad de erosión? Para poder responder a esta pregunta, debemos introducir el concepto de durabilidad del material. Si nos fijamos de nuevo en la Tabla 3 vemos que hay muestras que con la misma cantidad inicial de muestra (lo que implicaría en la realidad, la misma energía del oleaje incidente) y similares tamaños medios, muestran pérdidas iniciales de masa completamente distintas. Éste sería el caso, por ejemplo, de San Juan y Marineta Cassiana, ensayadas con 100 g y con tamaños medios iniciales de 0,267 mm y 0,268 mm, respectivamente. La pérdida de masa de estas muestras tras el primer ciclo es de un 29,3% en San Juan y un 8,7% en Marineta Cassiana. Como hemos dicho, esto se puede explicar con la durabilidad del material, ya que como se puede observar en la Tabla 3 el material llega un momento que se convierte en tamaños inferiores a 0,063 mm con la única diferencia de que en cada uno de ellos se produce en ciclos diferentes frente al agitador magnético. Por lo tanto, un material llega al agotamiento antes que otro, de ahí que veamos que dos playas con idéntico tamaño y energía tienen comportamientos diferentes en la realidad con respecto al retroceso de su línea de costa (Pagán et al. 2018)

Así, si aceptamos la hipótesis de la durabilidad del material, podemos explicar la aceleración de la erosión de las playas en las últimas décadas, ya que, debido a la construcción de presas y canalizaciones, se ha reducido la cantidad de aportes naturales por parte de ríos y barrancos al mar. Por lo que, al no haber renovación de sedimentos,



es el mismo material el que está expuesto de forma continuada al envite del oleaje. Esto hace que el material llegue a su límite de durabilidad, convirtiéndose en limos y siendo transportados por las corrientes en primera instancia y por los movimientos gravitacionales en segunda instancia hacia las llanuras abisales.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **6.4. CAPÍTULO 4: MINERALOGÍA DE LA ARENA DE LAS PLAYAS: CARACTERÍSTICA CLAVE DE ESTE MATERIAL USADO EN LA REGENERACIÓN DE PLAYAS.**

### **6.4.1. INTRODUCCIÓN**

Para seleccionar el material más adecuado para ralentizar el retroceso del litoral debido a la erosión, se ha estudiado el comportamiento de 26 muestras de arena de diversas características y procedencias (natural, dragado y cantera), con especial incidencia en su evolución de desgaste y mineralogía. Para la caracterización de las arenas se han aplicado diversas técnicas: distribución granulométrica, contenido en carbonatos, fases minerales y morfología. Los resultados mostraron que el desgaste de la arena está influenciado por parámetros como su tamaño, mineralogía y morfología.

### **6.4.2. MATERIAL EMPLEADO**

La Tabla 5 muestra la denominación y procedencia de las 26 muestras de árido utilizadas en el presente capítulo, en todos los casos son arenas recogidas en la playa. Se seleccionaron 19 playas localizadas en la provincia de Alicante (España), a las que se añadió para su estudio y comparación otras pertenecientes a diversas partes del mundo: 2 de la isla de Mallorca (España) y 5 más procedentes de otros países. Así mismo, se han seleccionado aquellas playas que puedan representar a diversos orígenes y características: playa natural, regeneración artificial con origen en dragado o regeneración artificial con origen en cantera. Para su análisis, cada muestra fue sometida a ensayo de desgaste, microscopía y DRX.

*Tabla 5 Denominación y procedencia de las muestras de áridos utilizadas en el estudio. Siendo su origen: i) Natural, playa regenerada de forma natural; ii) Cantera, playa regenerada artificialmente con origen en una cantera; iii) Dragado, playa regenerada artificialmente dragado de zona cercana*

Denominación playa	Origen árido	Municipio (Provincia) / País
1 Acapulco	Natural	/ México
2 Aguamarina	Natural	Orihuela (Alicante) / España
3 Albir	Natural	Alfaz del Pi (Alicante) / España
4 Arenal	Dragado	Calpe (Alicante) / España
5 Arenales del Sol	Natural	Elche (Alicante) / España
6 Bol Nou	Natural	La Vila Joiosa (Alicante) / España
7 Caló des Moro	Natural	Santanyí (Mallorca) / España

8	Caribe	Natural	/ República Dominicana
9	Carrer la Mar	Dragado	El Campello (Alicante) / España
10	Deveses	Cantera	Dénia (Alicante) / España
11	El Conde	Natural	Pilar de la Horadada (Alicante) / España
12	El Cura	Natural	Torre Vieja (Alicante) / España
13	Fustera	Cantera	Benissa (Alicante) / España
14	Guardamar	Natural	Guardamar del Segura (Alicante) / España
15	Krabi	Natural	/ Tailandia
16	La Caleta	Dragado	Cádiz (Cádiz) / España
17	Levante	Natural	Benidorm (Alicante) / España
18	Marineta Cassiana	Dragado	Dénia (Alicante) / España
19	Molinos y Palmeras	Cantera	Dénia (Alicante) / España
20	Portet de Moraira	Dragado	Teulada (Alicante) / España
21	Phi Phi	Natural	/ Tailandia
22	Playa Centro	Dragado	Benidorm (Alicante) / España
23	Playa Lisa	Dragado	Santa Pola (Alicante) / España
24	S'Amarador	Natural	Santanyí (Mallorca) / España
25	San Juan	Dragado	Alicante (Alicante) / España
26	Sottomarina	Natural	Chioggia (Venecia) / Italia

### 6.4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### TAMAÑO MEDIO ( $D_{50}$ ) Y SUPERFICIE ESPECÍFICA

El ingeniero costero para los estudios de la regeneración de una playa, por lo general tiene en cuenta: el tamaño medio de las partículas ( $D_{50}$ ), la velocidad de caída del sedimento, así como la energía, representada por la altura de ola y el periodo, con estos tres parámetros se obtiene el perfil de equilibrio (EBP) y su límite inferior la DoC (Dean, 1977; Aragonés et al. 2018, Hallermeier 1981, 1987). De manera que en general si el tamaño de sedimento aportado es mayor que el sedimento original en la playa, la regeneración será estable (James, 1975). Sin embargo, se observa en la Tabla 6 que muestras de arena con tamaños  $D_{50}$  iniciales ( $D_0$ ) superiores a otras, soportan un número de ciclos menor, o lo que es lo mismo, presentan un desgaste mayor en el agitador magnético, lo que supondría una menor duración de la regeneración. Como ejemplo encontramos las muestras: (7) Caló des Moro (0.286 mm - 3 ciclos) o (19) Molinos y Palmeras (0.322 mm - 4 ciclos), que soportan un número de ciclos inferior que otras muestras con tamaño igual o inferior como: (22) Playa Centro (0.286 mm - 13 ciclos) o (4) Arenal (0.237 mm - 7 ciclos). De hecho, la muy fuerte correlación lineal revelada en la matriz (Tabla 7) entre las variables  $D_0$  y Ciclos ( $r=0.94$ ,  $R^2=0.89$ ) está

altamente influenciada por las muestras (3) Albir, (6) Bon Nou, (13) Fustera y (22) Playa Centro; ya que si se realiza el modelo de regresión no lineal que mejor se ajusta a ambas variables (Figura 29), no incluyendo dichas muestras (identificadas todas ellas como valores atípicos), se observa que la fuerza de correlación disminuye débilmente (Figura 29),  $R^2=0.18$ ), mientras que la correlación no lineal disminuye considerablemente (Figura 29  $R^2=0.47$ ).

Algo parecido, se puede apreciar también, aunque de manera más acusada, en la relación entre las variables  $D_0$  y  $D_n$  (diámetro del árido después del último ciclo del ensayo de desgaste acelerado): fuerte correlación lineal en Tabla 7 ( $r=0.86$ ,  $R^2=0.74$ ) muy influenciada por los valores atípicos y correlación muy débil si no se incluyen en el modelo las muestras 3, 6 y 13 ( $r=0.31$ ,  $R^2=0.09$ ).

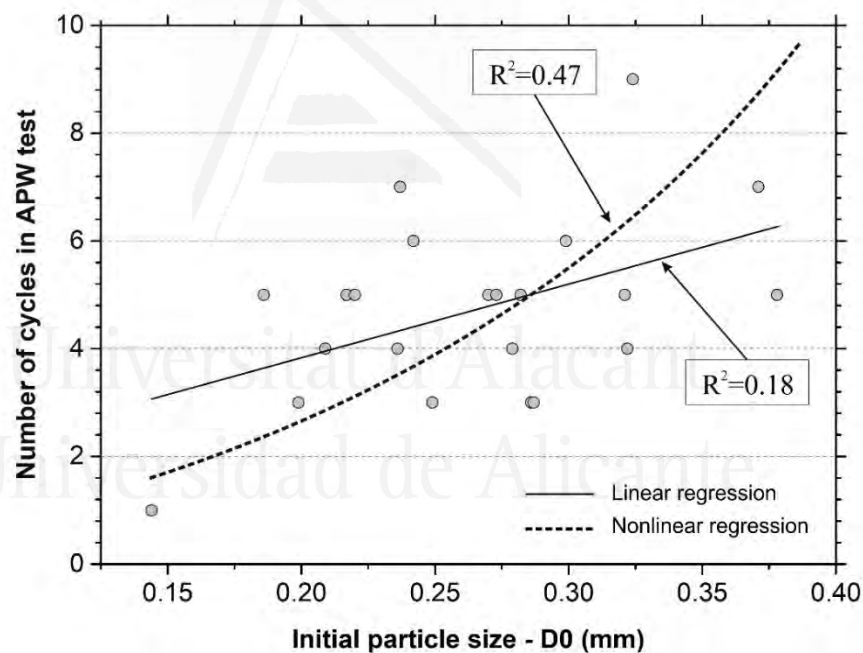


Figura 29. Gráfica de regresión de las variables  $D_0$  ( $D_{50}$  antes del primer ciclo) y Ciclos ( $n^\circ$  de ciclos en ensayo de desgaste acelerado), sin incluir las muestras atípicas 3, 6, 13 y 22.

Tabla 6. Resumen de las principales características de la muestra

Denominación muestras	Ciclos (n)		Granulometría												CaCO <sub>3</sub>		Mineralogía								
	D <sub>50</sub>			Masa						Superficie						Cuarzo	Calcita	Dolomita	Aragonito	Albita	Calcita magnésiana	Silvita			
	D <sub>0</sub>	D <sub>01</sub>	D <sub>n</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>n</sub>	M <sub>01</sub>	M <sub>u</sub>	M <sub>0n</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>n</sub>	S <sub>0n</sub>	%	%	%	%										
	mm	mm	%	g	g	%	%	%	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%										
1	Acanulco	5	0.270	0.036	4.2	75.6	87	74.9	14.3	9.0	71.4	81	656	5335	713	0	79.5	-	-	-	-	20.5	-	-	
2	Aguamarina	5	0.217	0.069	4.9	50.7	68	74.7	28.2	11.4	43.0	62	814	3650	349	0	52.2	24.8	22.9	-	-	-	-	-	
3	Albir	17	0.584	0.308	10.6	5.6	47	74.8	41.4	13.7	41.4	41	341	2924	759	0.59	-	64.2	35.8	-	-	-	-	-	
4	Arenal	7	0.237	0.075	19.7	42.9	68	74.9	33.6	20.6	26.7	55	717	3306	361	1.21	61.0	39.0	-	-	-	-	-	-	
5	Arenales del Sol	6	0.242	0.051	6.4	27.0	79	75.0	25.6	7.7	26.2	66	712	4119	478	10	28.8	47.5	-	-	9.5	14.2	-	-	
6	Bol Nou	35	1.421	0.483	1.9	23.1	66	75.0	40.5	2.2	3.4	46	135	3206	2284	0.08	2.2	97.8	-	-	-	-	-	-	
7	Caló des Moro	3	0.286	0.036	61.0	19.3	87	75.0	14.5	40.8	45.9	81	616	5187	742	13.62	-	66.7	-	-	12.8	-	-	20.5	
8	Caribe	7	0.371	0.034	8.8	10.8	91	75.0	17.9	5.6	22.5	76	475	5264	1008	7.24	-	46.4	-	-	53.6	-	-	-	
9	Carrer la Mar	6	0.299	0.057	14.1	61.1	81	74.9	25.1	6.6	49.4	67	558	3903	599	0.06	69.8	29.9	-	-	-	-	-	0.3	
10	Deveses	3	0.199	0.027	3.6	61.0	86	74.5	1.6	5.5	94.6	98	862	6370	639	3.19	55.6	44.4	-	-	-	-	-	-	
11	El Conde	4	0.236	0.028	5.6	35.5	88	74.7	0.5	10.2	96.8	99	723	6343	777	0	53.8	31.7	13.7	-	-	-	-	-	
12	El Cura	5	0.186	0.049	7.9	63.5	74	74.9	13.0	4.1	76.5	83	931	4554	389	0.87	30.8	34.1	35.0	-	-	-	-	-	
13	Fustera	22	1.085	0.888	1.2	0.8	18	74.7	61.1	0.0	18.1	17	177	1341	659	0.12	-	100.0	-	-	-	-	-	-	
14	Guardamar	3	0.249	0.033	41.6	75.5	87	74.3	5.0	8.1	92.4	93	733	5690	676	6.62	30.9	24.5	44.6	-	-	-	-	-	
15	Krabi	4	0.209	0.070	5.4	53.9	67	74.5	26.6	3.9	54.5	64	914	3674	302	1.43	67.8	-	-	32.2	-	-	-	-	
16	La Caleta	9	0.324	0.045	20.2	32.6	86	74.9	20.9	1.5	34.4	72	588	4512	667	0.94	83.3	16.7	-	-	-	-	-	-	
17	Levante	5	0.321	0.088	1.0	59.2	73	75.0	40.4	2.6	38.2	46	542	3025	458	1.36	73.6	26.4	-	-	-	-	-	-	
18	Marineta Cassiana	4	0.279	0.041	5.6	81.8	85	75.0	7.4	3.9	88.0	90	647	4895	657	0	65.9	34.1	-	-	-	-	-	-	
19	Molinos y Palmeras	4	0.322	0.029	12.0	70.9	91	74.8	2.7	7.5	93.6	96	634	6025	851	8.57	36.3	45.9	-	-	17.8	-	-	-	
20	Portet de Moraira	5	0.378	0.039	23.7	14.5	90	74.8	25.5	13.8	18.6	66	496	4568	822	5.63	17.0	83.0	-	-	-	-	-	-	
21	Phi Phi	5	0.282	0.041	22.7	35.9	85	75.0	19.5	9.1	41.0	74	635	4772	651	22.8	-	29.7	-	-	70.3	-	-	-	
22	Plava Centro	13	0.268	0.035	6.5	20.7	87	75.0	7.6	5.9	72.0	90	625	5407	764	0.51	52.5	34.8	12.8	-	-	-	-	-	
23	Plava Lisa	1	0.144	0.070	50.8	50.8	51	73.8	25.7	65.2	65.2	65	1196	3379	183	4.89	43.5	56.5	-	-	-	-	-	-	
24	S'Amarador	3	0.287	0.046	19.3	68.2	84	75.0	21.9	10.0	54.5	71	619	4511	629	8.56	-	53.4	-	-	15.2	-	-	31.4	
25	San Juan	5	0.220	0.069	2.7	36.9	69	75.0	30.2	3.7	33.1	60	775	3786	389	0	64.0	36.0	-	-	-	-	-	-	
26	Sottomarina	5	0.273	0.061	8.6	71.4	78	75.1	21.1	6.8	66.4	72	656	3943	502	1.39	51.3	15.0	33.6	-	-	-	-	-	-

Tabla 7. Resumen estadístico de toda la serie (se incluyen todas las variables y todas las muestras).

	Granulometría											CaO's						Mineralogía					
	D50				Masa				Superficie			CaO's	CaO's	CaO's	CaO's	CaO's	CaO's	CaO's	CaO's	CaO's	CaO's		
	D0	Dn	D01	Du	D0n	M0	Mn	M01	Mu	M0n	S0											Sn	S0n
	mm	mm	%	%	%	g	g	%	%	%	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Recuento	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Promedio	7.3	0.4	0.1	14.2	44.2	75.9	74.8	10.7	52.6	70.4	645	4373	666	3.8	51.0	41.6	28.3	17.4	26.0	0.3	0.3	0.3	0.3
Desviación	7.6	0.3	0.2	15.4	24.0	16.7	0.3	14.3	13.6	19.4	221	1179	383	5.4	21.3	25.3	12.1	23.3	4.5	7.7	0	0	0
Coef. Variación	1.0	0.8	1.7	1.1	0.5	0.2	0.0	0.6	1.3	0.5	0.3	0.3	0.6	1.4	41.8	60.8	42.7	77.3	25.7	29.7	0	0	0
Mínimo	1	0.1	0.0	1	0.8	18	73.8	0.5	0	3.4	17	135	1341	183	0	2.2	0	12.8	14.2	20.5	0.3	0.3	0.3
Máximo	35	1.4	0.9	61	81.8	91	75.1	61.2	65.2	96.8	99	1196	6370	2284	22.8	83.3	100	44.6	70.3	20.5	31.4	0.3	0.3
Rango	34	1.3	0.9	60	81	73	1.3	60.7	65.2	93.4	82	1061	5029	2101	22.8	81.1	100.0	31.8	60.8	6.3	10.9	0.3	0.3
Sesgo	5.8	6.4	7.3	3.9	-0.4	-4.2	-4.7	1.4	6.5	0.4	-1.5	-0.4	-0.7	6.5	4.3	1.6	-0.3	1.1	-	-	-	-	-
Curtosis	8.8	9.9	13.4	3.4	-1.2	5.1	6.2	0.9	11.2	-1.0	1.0	1.6	0.3	13.7	5.1	0.6	-0.8	-0.2	-	-	-	-	-
Muestra Estadístico	6	13	7	13	13	23	13	13	23	6	13	23	13	6	21	6	14	21	-	-	-	-	-
Valor-P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
Muestra Estadístico	13	13	6	23	3	14	7	7	7	7	7	7	23	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Valor-P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Muestra Estadístico	3	3	3	14	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Valor-P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Muestra Estadístico	22	20	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Valor-P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Muestra Estadístico	16	2.52	2.23	2.00	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
Valor-P	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

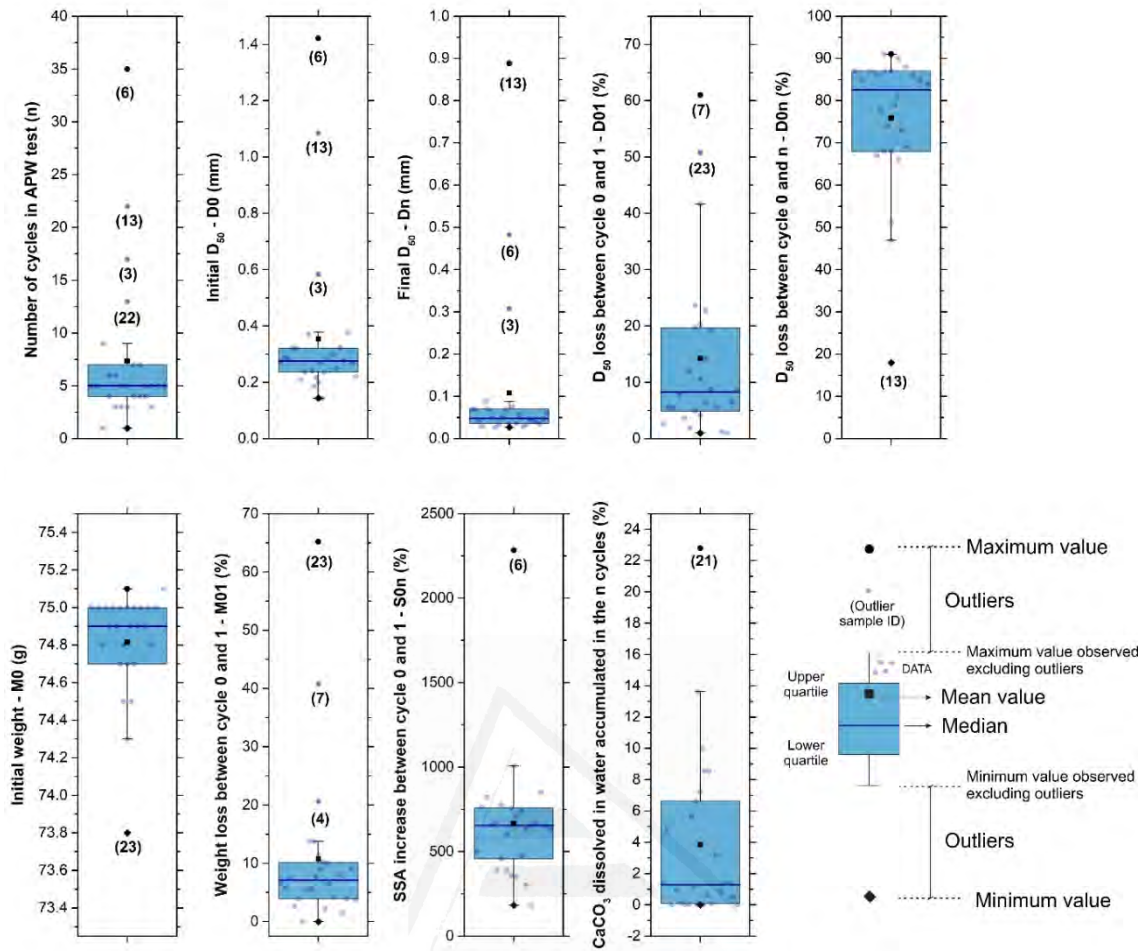


Figura 30. Gráficas de Caja y Bigotes de las variables con estadísticos fuera de rango normal

Universitat d'Alacant  
 Universidad de Alicante

Tabla 8. Matriz de correlaciones lineales de toda la serie (se incluyen todas las variables y todas las muestras). Sobre la diagonal, en cada celda el valor superior indica correlaciones momento producto de Pearson y el inferior valor-P del análisis Anova; bajo la diagonal, celda con coeficiente R<sup>2</sup> coloreada según escala de Evans.

	Ciclos	D0	Dn	D01	Du	D0n	M0	Mn	M01	Mu	M0n	S0	Sn	S0n	CaCo <sub>3</sub>	Cuarzo	Calc Mag	Dol	Avag	Albita	Calc Magn	Silvita	Origen
Ciclos		0.94	0.79	-0.34	-0.53	-0.49	0.22	0.57	-0.29	-0.53	-0.58	-0.76	-0.49	0.75	-0.28	-0.37	0.60	-0.01	-0.15	-0.08	-0.17	-0.04	0.04
D0	0.89		0.86	-0.25	-0.47	-0.51	0.16	0.60	-0.25	-0.53	-0.60	-0.81	-0.49	0.78	-0.18	-0.47	0.70	-0.11	-0.10	-0.10	0.40	0.85	0.85
Dn	0.62	0.74		-0.25	-0.49	-0.82	-0.02	0.74	-0.17	-0.46	-0.75	-0.65	-0.68	0.37	-0.25	-0.41	0.65	-0.04	-0.16	-0.10	0.74	0.85	0.69
D01	0.11	0.06	0.06		-0.03	0.13	-0.41	-0.19	0.78	0.07	0.19	0.29	0.15	-0.15	0.51	-0.27	0.14	0.05	0.08	-0.17	0.40	0.00	-0.08
Du	0.29	0.23	0.24	0.00		0.37	-0.14	-0.48	-0.06	0.67	0.49	0.51	0.34	-0.31	-0.11	0.53	-0.62	0.16	-0.16	0.14	0.06	0.14	-0.03
D0n	0.24	0.26	0.67	0.02	0.13	0.07	0.49	0.01	0.76	0.02	0.01	0.01	0.09	0.13	0.61	0.01	0.00	0.44	0.44	0.50	0.79	0.48	0.89
M0	0.05	0.03	0.00	0.17	0.02	0.09		0.08	-0.56	-0.33	-0.06	-0.53	0.01	0.29	0.06	-0.08	-0.02	-0.13	0.15	0.13	0.19	0.06	-0.22
Mn	0.33	0.36	0.55	0.04	0.24	0.66	0.01	0.71	0.00	-0.79	-1.00	-0.50	-0.96	0.07	-0.22	-0.25	0.46	-0.13	-0.11	-0.06	-0.06	0.04	-0.00
M01	0.08	0.06	0.03	0.61	0.00	0.02	0.31	0.00		0.05	0.03	0.46	-0.04	-0.26	0.26	-0.14	0.19	-0.09	-0.05	-0.05	0.24	-0.06	-0.01
Mu	0.28	0.28	0.21	0.00	0.45	0.15	0.11	0.63	0.00		0.30	0.15	0.24	-0.25	-0.19	0.06	-0.48	0.43	-0.24	-0.05	-0.07	-0.06	0.30
M0n	0.33	0.36	0.56	0.04	0.24	0.67	0.00	1.00	0.00	0.61	0.14	0.46	0.23	0.22	0.36	0.76	0.01	0.03	0.24	0.80	0.74	0.77	0.14
S0	0.58	0.66	0.43	0.08	0.26	0.05	0.28	0.24	0.21	0.29	0.24		0.33	-0.70	0.06	0.45	-0.55	0.10	-0.02	0.04	-0.04	-0.08	-0.02
Sn	0.24	0.24	0.47	0.02	0.11	0.73	0.00	0.92	0.00	0.46	0.92	0.11	0.11	0.00	0.76	0.02	0.00	0.62	0.94	0.83	0.86	0.70	0.92
S0n	0.56	0.60	0.14	0.02	0.10	0.01	0.09	0.01	0.07	0.08	0.01	0.49	0.01	0.00	0.16	0.53	0.08	0.79	0.39	0.58	0.63	0.69	1.00
CaCo <sub>3</sub>	0.08	0.03	0.06	0.26	0.01	0.10	0.00	0.05	0.07	0.00	0.05	0.00	0.08	0.00	-0.01	-0.42	0.51	-0.12	0.04	-0.04	0.01	-0.04	-0.09
Cuarzo	0.14	0.22	0.17	0.07	0.28	0.04	0.01	0.06	0.02	0.12	0.06	0.20	0.02	0.17	0.30		-0.72	-0.10	-0.41	0.20	-0.39	0.22	0.18
Calcita	0.36	0.49	0.43	0.02	0.38	0.19	0.00	0.21	0.04	0.23	0.21	0.31	0.12	0.26	0.01	0.52		-0.19	-0.12	-0.25	0.05	0.29	0.38
Dolomita	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.01	0.12	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.35	0.58	0.21	0.34	0.65	0.16
Aragonito	0.02	0.01	0.03	0.00	0.03	0.05	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.54	0.16	0.01	0.07	0.21	-0.07	0.45	0.59	0.06
Albita	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.06	0.02	0.00	0.74	-0.08	-0.06	-0.22
Calc Mag	0.02	0.00	0.01	0.16	0.00	0.03	0.04	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.13	0.15	0.04	0.02	0.01	0.01		-0.06	-0.22
Silvita	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13
Origen	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.08	0.14	0.06	0.05	0.05	0.02	0.52



Por último, la variable mejor explicada por  $D_0$ , y como consecuencia también por  $S_0$ , es la ganancia de superficie específica a lo largo de los ciclos de vida útil del árido ( $S_0n$ ), de forma que, a mayor diámetro medio inicial mayor ganancia de superficie específica tras el último ciclo. Si se aplica el modelo mejor ajustado a las variables  $D_0$  y  $S_0n$  tanto si se incluyen como si no las muestras atípicas (3,6,13), el resultado será una correlación similar entre ambas variables: i) con muestras atípicas  $r=0.85$  y  $R^2=0.73$ ; ii) sin muestras atípicas  $R^2=0.54$  para correlación lineal y  $R^2=0.69$  para correlación no lineal (Figura 31).

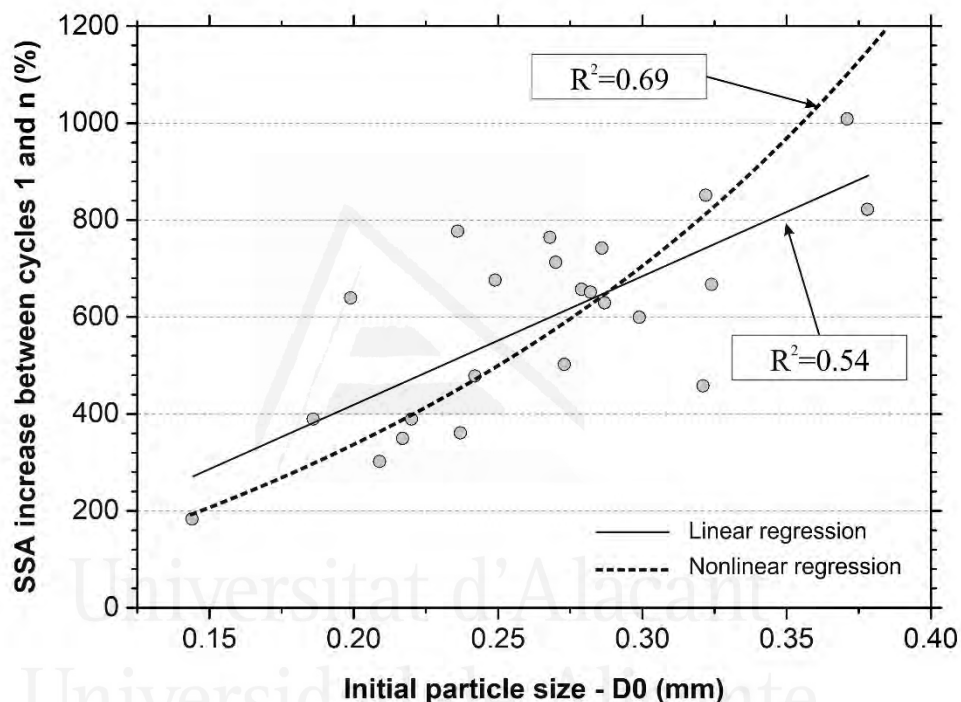


Figura 31. Gráfica de regresión de las variables  $D_0$  ( $D_{50}$  antes del primer ciclo) y  $S_0n$  (ganancia de superficie específica entre ciclos 0 y n), sin incluir muestras atípicas 3, 6, 13.

Por tanto, podría decirse que el  $D_{50}$  y la superficie específica iniciales de los áridos (antes del primer ciclo de desgaste acelerado), o lo que es lo mismo  $D_0$  y  $S_0$ , son factores que por lo general influyen en la durabilidad de una playa. Sin embargo, tal como se observa en estudios previos como el de Chiva, L. et al, 2018 aun siendo factores influyentes, no son determinantes.

---

## CARBONATOS

---

Los sedimentos marinos tienen una elevada proporción de carbonatos, siendo el segundo elemento más abundante en los océanos de todo el mundo (Milliman and Syvitski, 1992). El cuarzo y el carbonato bioclástico constituyen los principales componentes del sedimento (De Falco et al., 2003). Si se observa la composición mineralógica de los áridos estudiados (Tabla 6) es fácil comprobar que, efectivamente, en conjunto el cuarzo es el mineral con mayor presencia y el  $\text{CaCO}_3$  forma parte, en mayor o menor medida, de casi todos los minerales identificados en las muestras. Por tanto, sería razonable evaluar de forma indirecta el desgaste de los áridos ensayados, debido a la pérdida de dicho componente, midiendo el  $\text{CaCO}_3$  en suspensión en el agua tras cada ciclo.

Observando la Tabla 8 (matriz de correlaciones lineales) se podrían realizar las siguientes consideraciones:

- Son pocas y de baja fuerza las correlaciones destacables entre  $\text{CaCO}_3$  (acumulado durante los "n" ciclos) y otras variables. Esto va en contra de lo esperado por ejemplo en el caso de los Ciclos de vida útil o en otras variables que miden la variación de las características de las partículas desde el inicio hasta el final de su vida útil, como la disminución de diámetro medio ( $D0n$ ), disminución de la masa ( $M0n$ ) o aumento de la superficie específica ( $S0n$ ). Esta circunstancia se debe a que, aunque el agua utilizada en el ensayo de desgaste acelerado no es cambiada tras cada ciclo, parte del  $\text{CaCO}_3$  se mantiene en suspensión y parte sedimenta, por lo que el ensayo de calcimetría no detecta todo el carbonato desprendido de los áridos; del valor del  $\text{CaCO}_3$  (%) acumulado en el agua de agitación de cada una de las muestras y en cada ciclo del ensayo de desgaste acelerado, se observa que, en general, no existe un aumento progresivo de este dato, con excepciones como por ejemplo en las muestras 7, 10, 14 y 24 (las que resisten menor número de ciclos) y en los ciclos iniciales de varias muestras con mayor vida útil. Estos resultados están avalados por los trabajos realizados por López et. al 2016 en los que el carácter oscilatorio del % de  $\text{CaCO}_3$  en la fase acuosa sugieren que no solo se produce una disolución de los carbonatos, sino que se produce un paso a dispersión coloidal.

- La mayor correlación lineal detectada entre el  $\text{CaCO}_3$  y el resto de variables es con el Aragonito ( $r=0.73$ ,  $R^2=0.54$ ), de forma que al aumentar la cantidad de este mineral aumenta el carbonato disuelto; en el caso de aplicar un modelo no lineal la fuerza de relación es mayor, pasando de moderada a fuerte ( $r=0.81$ ,  $R^2=0.66$ ).
- Se apunta una débil relación entre la presencia de cuarzo y la baja cantidad de  $\text{CaCO}_3$  desprendido de las muestras, obteniendo en el modelo mejor ajustado (lineal) los siguientes resultados:  $r=-0.55$ ,  $R^2=0.30$ .
- La última de las relaciones destacables en este sentido, igualmente débil, es la que indica que se produce un aumento de los carbonatos disueltos cuando se produce una pérdida del diámetro medio en el primer ciclo (D01).

Por tanto, tampoco se encuentra un patrón claro de comportamiento en relación al  $\text{CaCO}_3$  en suspensión en el agua de ensayo, por lo que la presencia de Aragonito y de Cuarzo, aun siendo factores influyentes, no son determinantes.

---

### **PÉRDIDAS BRUSCAS DE TAMAÑO POR DEBAJO DE 0.063 MM AL INICIO O AL FINAL DE LA VIDA ÚTIL**

---

En muchas ocasiones, tras la regeneración de una playa, se produce un fuerte retroceso de la línea de costa en los primeros años. Alguno de los factores que pueden producir este efecto son: i) formación del perfil natural de la playa regenerada (Roeland and Piet, 1995) o; ii) proceso natural de la formación de una barra de arena después de un temporal (Grunnet and Ruessink, 2005). Sin embargo, esto podría ser debido al brusco desgaste del sedimento, ya que como se observa en la *Tabla 2* hay áridos que transforman gran parte de su material después del primer ciclo en el agitador magnético en tamaños inferiores a 0.063 mm, por lo que en una situación real tenderían a desplazarse muy rápidamente a profundidades superiores a la DoC (Aragonés et al. 2018 and Isabel et al. 2017), provocando el retroceso de la línea de costa. Se podrían destacar las siguientes muestras: i) Playa Lisa (23) con un 65.2% de pérdida de masa en el primer ciclo (M01) y un 50.8% de pérdida de diámetro medio en el primer ciclo (D01); ii) Caló des Moro (7) con M01 igual a 40.8% y D01 de 61%; iii) Arenal (4) con M01 igual a 20.6% y D01 de 19.7%; Guardamar (14) con M01 igual a 8.1% y D01 de 41.6%.

Al margen de las particularidades, se puede apreciar una tendencia generalizada en la Tabla 8 (matriz de correlación lineal) entre D01 y M01: al aumentar la pérdida de diámetro medio de todas las partículas, aumenta la pérdida de masa de las partículas superiores a 0.063 mm, con un coeficiente de correlación lineal  $p=0.78$  y  $R^2= 0.61$ . En el caso de eliminar las muestras fuera del rango normal detectadas en la *Tabla 3* (7, 14, 23) y mediante un ajuste no lineal, la fuerza de correlación disminuye hasta un valor de  $r=0.62$  y  $R^2= 0.39$ .

Pero esta pérdida no es proporcional al tamaño inicial del árido, lo que se demuestra en la Tabla 7 con un coeficiente de correlación débil entre D0 y M01 ( $r=-0.25$ ) y entre D0 y D01 ( $r=-0.25$ ). Como consecuencia, existen playas con una proporción importante de partículas inferiores a 0.063 mm (D0 con valor bajo), con D01 inferior a otras muestras con mayor diámetro medio inicial: este es el caso de Aguamarina (2) 4.2%, Acapulco (1) 4.9% o Playa de San Juan (25) 2.7% (*Tabla 2*).

El último proceso observado es el cambio radical que se produce al final de la vida útil de algunas de las muestras, al reducir su tamaño a partículas inferiores a 0.063 mm de forma brusca en el último ciclo del ensayo de desgaste. Aunque en la matriz de correlaciones Tabla 8 no existen factores de relación destacables entre el conjunto de variables y las pertenecientes al último ciclo, es decir, la pérdida de masa de las partículas con tamaño superior a 0.063 mm ( $M_u$ ) o la pérdida de diámetro medio ( $D_u$ ), y entre ambas esta correlación es débil ( $p=0.29$ ), se podría destacar el comportamiento de algunas de las muestras:

- Elevados valores de  $M_u$ : Deveses (10) con un 94.6% o El Conde (11) con un 96.8% de pérdida de partículas superiores a 0.063 mm en el último ciclo con respecto al ciclo anterior
- Elevados valores de  $D_u$ : Acapulco (1) y Guardamar (14) con pérdida de diámetro medio en el último ciclo superior al 75% con respecto al ciclo anterior, o Sottomarina (26) con un 71.4 %.
- Por último, podrían ser destacadas playas con un buen comportamiento en el último ciclo o, dicho de otra forma, en las que el desgaste se ha producido en todos los tamaños progresivamente a lo largo de su vida útil. Este es el caso, por ejemplo, de

Bol Nou (6) ( $\text{Mu}=3.4\%$  y  $\text{Du}=23.1\%$ ), Portet de Moraira (20) ( $\text{Mu}=18.6\%$  y  $\text{Du}=14.5\%$ ) o Arenales del Sol (5) ( $\text{Mu}=26.2\%$  y  $\text{Du}=27.0\%$ ). En esta última, se observa como su reducción están correlacionados el tamaño, el peso y la superficie hasta el último ciclo. Sin embargo, en el último ciclo el cambio que se produce se debe a la disolución de carbonatos (10% de  $\text{CaCO}_3$  en el último ciclo) producidos por la calcita y el aragonito de la muestra.

---

## MINERALOGÍA Y SEM

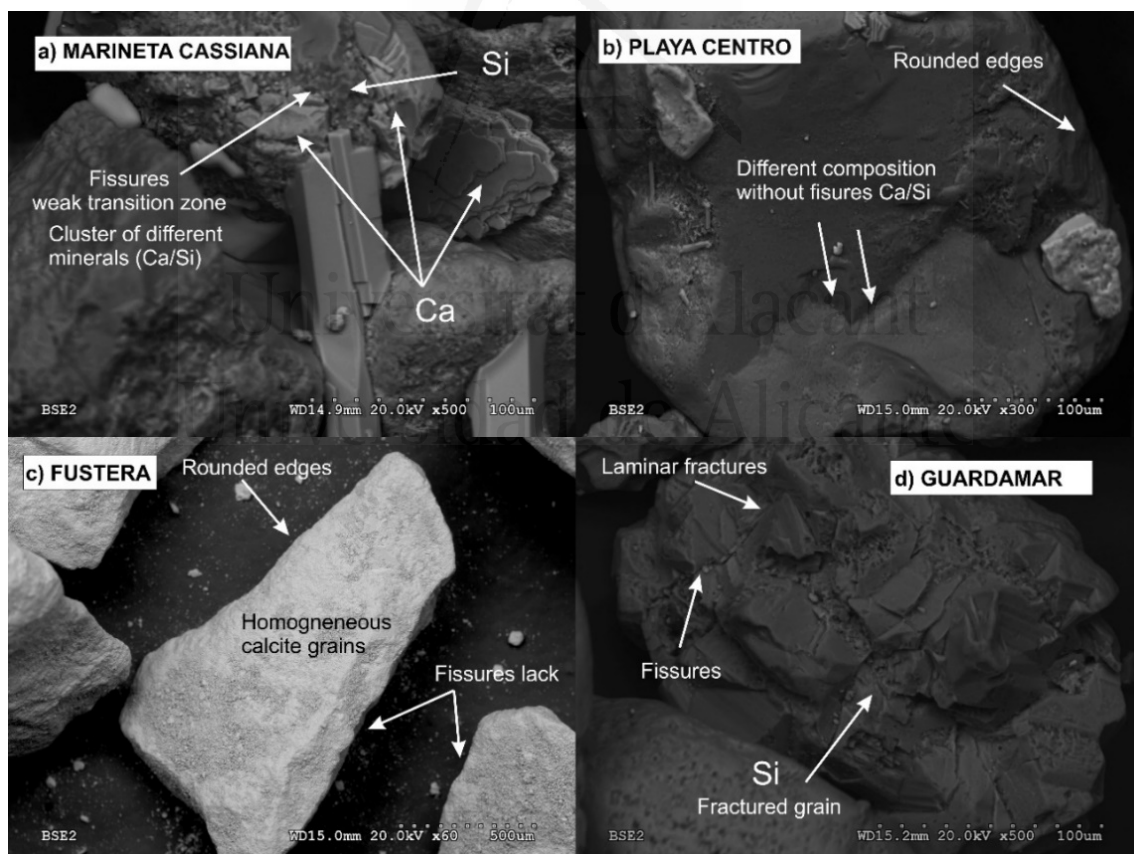
---

En base a lo discutido hasta el momento, el  $\text{D}_{50}$  y el  $\text{CaCO}_3$  no deben ser los únicos factores que influyen en el comportamiento de los áridos frente a la erosión. Además, la matriz de correlación (Tabla 8) no muestra una correlación significativa entre la variable "Origen" y el resto de las variables. Esto supone que la procedencia del árido (natural, dragado o cantera), no tiene influencia o es independiente de las variables analizadas, lo cual concuerda con lo observado por Pagán et al. 2017 que un mismo sedimento proveniente de una misma fuente de dragado su comportamiento frente al oleaje es diferente al provenir este de distintos estratos dentro de un mismo préstamo. Por lo que sería interesante profundizar en la composición mineralógica y morfología de los áridos.

En la Tabla 6 destacan muestras que sufren un desgaste muy influenciado por la disolución de los carbonatos contenidos en su composición, lo que se revela de la siguiente forma: altos porcentajes  $\text{CaCO}_3$  disuelto en agua al final de su vida útil, elevadas pérdidas de  $\text{D}_{50}$  a lo largo de todos los ciclos ( $\text{D0n}$ ), cercanas al 90%, y bajas pérdidas de  $\text{D}_{50}$  en el último ciclo ( $\text{Du}$ ). Este es el caso de las siguientes arenas, en las que la simple observación de su diversa mineralogía no permite dilucidar su comportamiento:

- i) Phi Phi (21) con 22.8% de  $\text{CaCO}_3$  (considerado valor significativamente alejado de la media en *Tabla 3*),  $\text{D0n}=85\%$ ,  $\text{Du}=35.9\%$  y 70.3% de Aragonito;
- ii) Caló des Moro (7) con  $\text{CaCO}_3=13,62\%$ ,  $\text{D0n}=87\%$ ,  $\text{Du}=19.3\%$  y 66.7% de Calcita;
- iii) Caribe (8) con  $\text{CaCO}_3=7,24\%$ ,  $\text{D0n}=91\%$ ,  $\text{Du}=10.8\%$ , aproximadamente 50% de Aragonito y 50% de Calcita;
- iv) Portet de Moraira (20) con  $\text{CaCO}_3=5,63\%$ ,  $\text{D0n}=90\%$ ,  $\text{Du}=14.5\%$  y 83% de Calcita.

Además de los casos anteriores, si se observa de nuevo Tabla 6 ¿cómo se puede explicar el diferente comportamiento entre las siguientes dos playas?: Playa Centro (22) con D50 inicial de 0.268 mm, poco aporte de carbonatos al agua (0.51%) y 13 ciclos de resistencia frente al agitador magnético, y Marineta Cassiana (18) con un D50 inicial similar de 0.279 mm, CaCO<sub>3</sub> de 0.0% y tan solo 4 ciclos. Como se observa en la mineralogía, Playa Centro tiene un 52.5% de Cuarzo, 12.8% de Dolomita y 34.8% de Calcita, frente al 65.9 % de Cuarzo y 34.1% de Calcita en Marineta Cassiana. Esto podría ser debido a que Marineta Cassiana (Figura 32a) presenta clústeres ricos en Ca y Si, con zonas de transición débiles, y además existen granos angulares con estructura laminar, lo que podría acelerar el proceso de desgaste. Sin embargo, en Playa Centro (Figura 32b) las diferencias entre los distintos minerales presentan uniones mucho más homogéneas y redondeadas.



*Figura 32. Imágenes SEM de algunas de las muestras.*

Para intentar generalizar, sobre la Tabla 8 (matriz de correlación lineal) se podrían hacer las siguientes consideraciones:

- Es identificada una débil correlación entre la Calcita y el número de Ciclos de vida útil. En el modelo lineal la mayor presencia del mineral hace aumentar la vida útil de los áridos ( $p=0.60$ ,  $R^2=0.36$ ), sin embargo, este resultado está altamente influenciado por las muestras fuera del rango de normalidad: (3) Albir, (6) Bon Nou, (13) Fustera y (22) Playa Centro. Si son eliminadas dichas muestras en un modelo de regresión no lineal, la fuerza de correlación se mantiene igual de débil ( $r=-0.30$ ,  $R^2=0.09$ ) pero el signo cambia: al aumentar la Calcita disminuye el número de Ciclos (*Figura 6*).
- Otras correlaciones lineales destacables son las identificadas entre Calcita y D0 ( $r=0.70$ ) y Dn ( $r=0.65$ ). En los dos casos, si son eliminadas las muestras fuera de rango de normalidad (3, 6 y 13) la fuerza de correlación prácticamente desaparece. La mayor duración de las muestras 3, 6 y 13 con un alto contenido en Calcita puede ser debido a que sus partículas presentan una gran homogeneidad y una ausencia total de fisuras (*Figura 32c*, muestra 13 - Fustera).
- La presencia del Cuarzo supone una influencia, en menor medida que la Calcita, sobre prácticamente las mismas variables que dicho mineral y siempre en sentido contrario. La única variable en la que la supera es en la variación del  $D_{50}$  en el último ciclo ( $D_u$ ). Sin embargo, si las partículas de cuarzo se presentan con muchas fracturas laminares y fisuras como se observa en la *Figura 32d*, muestra 14 - Guardamar, puede influir en su rápido desgaste.

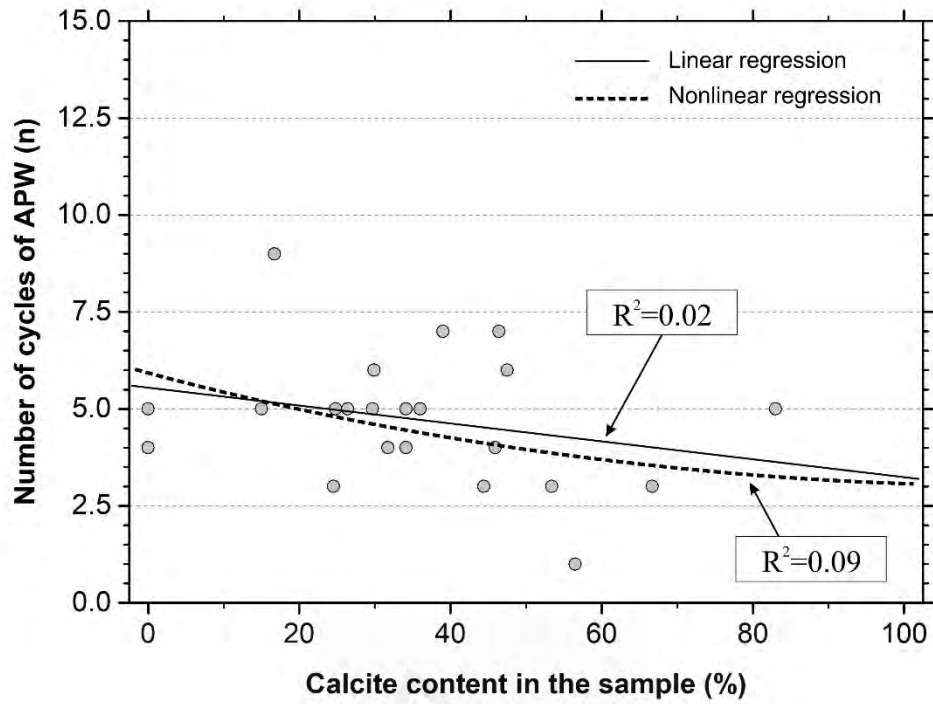


Figura 33. Gráfica de regresión del % de Calcita y el número de ciclos.





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **6.5.CAPÍTULO 5: CASO PRÁCTICO. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE UNA PLAYA INICIALMENTE DE GRAVA, REGENERADA CON ARENA.**

---

### **6.5.1.INTRODUCCIÓN**

---

En este capítulo se analizaron tres playas de grava que fueron regeneradas con arenas procedentes de la misma fuente. Sin embargo, analizada la evolución de su línea de costa fue diferente en cada una de ellas. Para su análisis, se estudiaron diferentes factores como la evolución de la línea de costa y perfil transversal, clima marítimo, sedimentología y mineralogía. De los resultados obtenidos, se destaca que playa centro es la más estable con una pérdida de superficie tras la primera regeneración del 12,8%, siendo Carrer de mar, con un 20,9% la menos estable. Del análisis de los resultados se observa como la posidonia oceánica es el factor que hace que playa Centro sea la más estable y eso a pesar de ser una de las playas que mayor energía recibe. Otro factor es su mineralogía y más concretamente la composición de las partículas que forman la muestra. Así se observa como la fisuración o la formación de partículas por diferentes minerales con una unión frágil, son factores que hacen que dos playas se comporten de forma diferente frente a la erosión.

### **6.5.2.ÁREA DE ESTUDIO**

---

Este estudio se centra en tres playas de grava, situadas en zonas urbanas de la provincia de Alicante, situadas en el sureste de España en el litoral del mar Mediterráneo. Estas 3 playas han sido regeneradas con arena de dragado procedente de Sierra Helada (Benidorm) en distintos periodos de tiempo. Sus características principales son:

(i) Playa Carrer de mar, (Campello). Esta playa está situada entre el espigón del Puerto Pesquero y el Río Seco. Su longitud total es de 1,444.35 m y una anchura media de 68.66 m (Figura 34). Se trata de una playa abierta con campo de espigones cuya arena

es grisácea y su tamaño medio es de 0.32 mm. Esta playa ha tenido diferentes actuaciones con el tiempo:

- La construcción de un espigón perpendicular a la línea de costa situado junto a la desembocadura del río Seco en 1973
- La construcción del puerto en 1978, situado al norte.
- En 1981 se construyen tres espigones en la parte sur.
- En 1986 se completó la obra con tres espigones más, rematados en forma de martillo.
- En 1986 y hasta 1990 se añade un cuarto espigón entre el puerto y los espigones existentes.
- Entre 1990-1992 se retira uno de ellos y se vierten 400.000 m<sup>3</sup> de arena.
- En 2002 se vuelve a modificar la configuración de los espigones, alargando los mismos y se realiza el relleno de arena de 470.000 m<sup>3</sup>.

(ii) Playa Centro, (Villajoyosa). Se encuentra entre del puerto de Villajoyosa, entre dos espigones artificiales. Tiene una longitud total de 1219.15 m y una anchura media de 67.75 m (Figura 34). Se trata de una playa abierta cuya arena es grisácea y su tamaño medio es de 0.31 mm. Las actuaciones de regeneración realizada en esta playa son:

- Entre 1990-1992 los espigones al norte y sur de la playa y regenera con arena de dragado de 373.000 m<sup>3</sup>.
- En 2002 se produce una segunda regeneración con el aporte de 90.000 m<sup>3</sup>.

(iii) Playa del Arenal, (Calpe): Es una playa con gran amplitud y longitud, ubicada en el centro de la pequeña bahía que se forma entre el cabo del Morro de Toix, al sur, y del Peñón de Ifach al norte. Esta playa tiene una longitud total de 1,379.64 m y una anchura media de 45.60 m (Figura 34). Se trata de una playa abierta cuya arena es grisácea y su tamaño medio es de 0.25 mm. Las actuaciones realizadas en dicha playa son:

- En 1993 fue regenerada mediante el vertido de 228.000 m<sup>3</sup> de arena, así mismo se construyeron dos espigones de apoyo, de notables dimensiones, para sustentar el aporte y garantizar la estabilidad de la playa. Ambos espigones

apunten ligeramente al interior de la playa, y se encuentran semi sumergidos en su mitad más exterior, para causar menor impacto visual, y para facilitar la renovación de las aguas interiores.

- En el año 2002 se volvió a regenerar con 90,391 m<sup>3</sup> de arena del mismo tamaño medio a la existente.

Otro aspecto a destacar es su diferente orientación, lo que conlleva a que cada una de las playas tenga una diferente energía de entrada. Carrer de Mar está orientada hacia el E (96°), playa Centro presenta una orientación ESE (139°), y por último la playa Arenal está orientada hacia el SSW (179°).

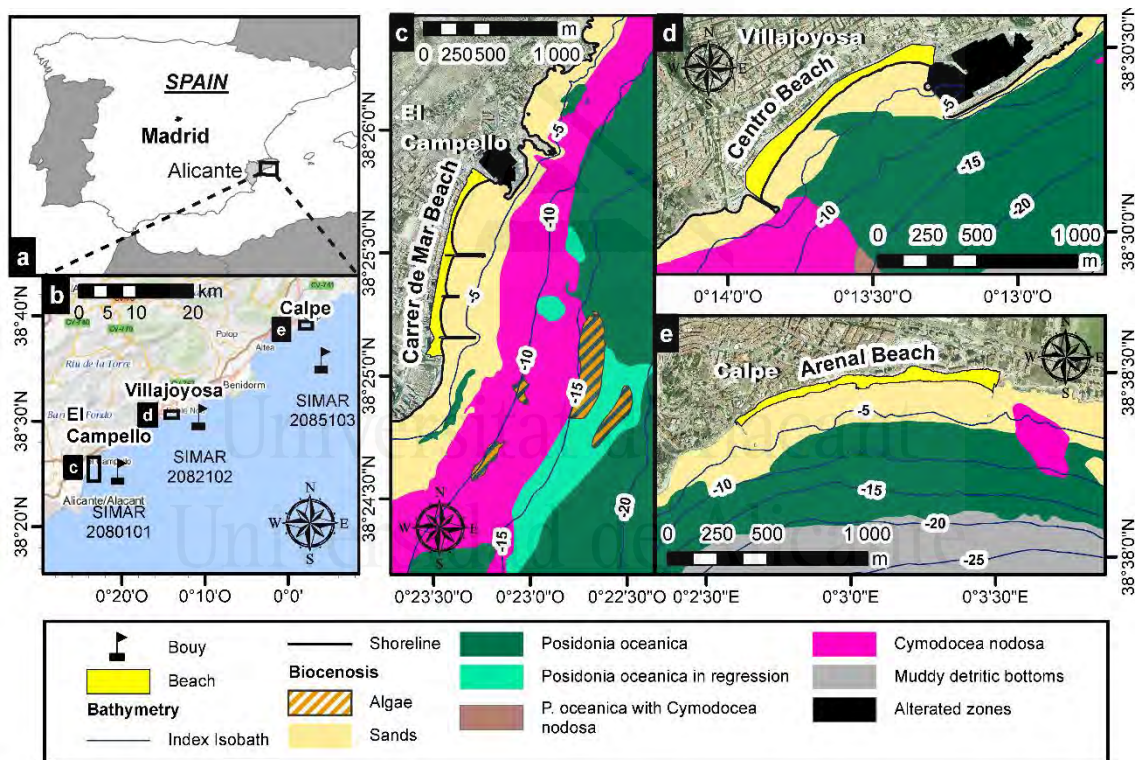


Figura 34. a) Localización del área de estudio. b) Playas estudiadas y posición nodos SIMAR. c) Carrer de Mar beach. d) Centro Beach. e) Arenal Beach.

En el área estudiada, las mareas apenas tienen relevancia, llegando incluso a ser más importantes las oscilaciones debidas a la presión atmosférica que las mareas en sí mismas, siendo el valor de las mareas astronómicas alrededor de 0.3 m, mientras que

las mareas meteorológicas pueden alcanzar valores de hasta 0.45 m (<http://www.puertos.es> , and Ecolevante (2006)).

### 6.5.3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Siguiendo el método propuesto, se ha obtenido la evolución de la línea de costa (Figura 34). Tras la primera regeneración, se observa como en los primeros años se perdieron en Carrer un 20,9%, Centro 12,8%, y Arenal 8,9% de superficie de playa. Al tratarse de 3 playas de grava regeneradas con arena puede provocar que parte de los sedimentos aportados de menor tamaño, se infiltren entre los granos más grueso de grava, perdiéndose así parte del material aportado (Nielsen et al., 2001). Así mismo, otra causa derivada del cambio en tamaño medio del sedimento  $D_{50}$ , es la formación de un nuevo perfil en los primeros años (James, 1974).

Dado que ha habido un segundo aporte de arena en todas las playas, siguiendo con su evolución, se ha observado, como la playa Centro a partir del año 2002, estabiliza su superficie. Por el contrario, tanto la playa Arenal (2007) y Carrer de Mar (2002) han continuado disminuyendo su área (Figura 35).

Para entender su evolución no solo es necesario el estudio de sus superficies, sino también el volumen aportado. Así observamos como en la Figura 35 como hay un 234,78% de diferente volumen entre la que menos arena recibió (playa Arenal) y la que más (Carrer de Mar), aunque también es la que más superficie obtuvo.

Pagán, 2018, obtuvo diferentes resultados en la evolución de la línea de costa de estas tres playas. Para entender mejor el porqué de esta diferencia, analizó diferentes factores entre ellos la energía del oleaje, llegando a la conclusión de que en aguas profundas no era un factor determinante a la hora de justificar la erosión en la costa.

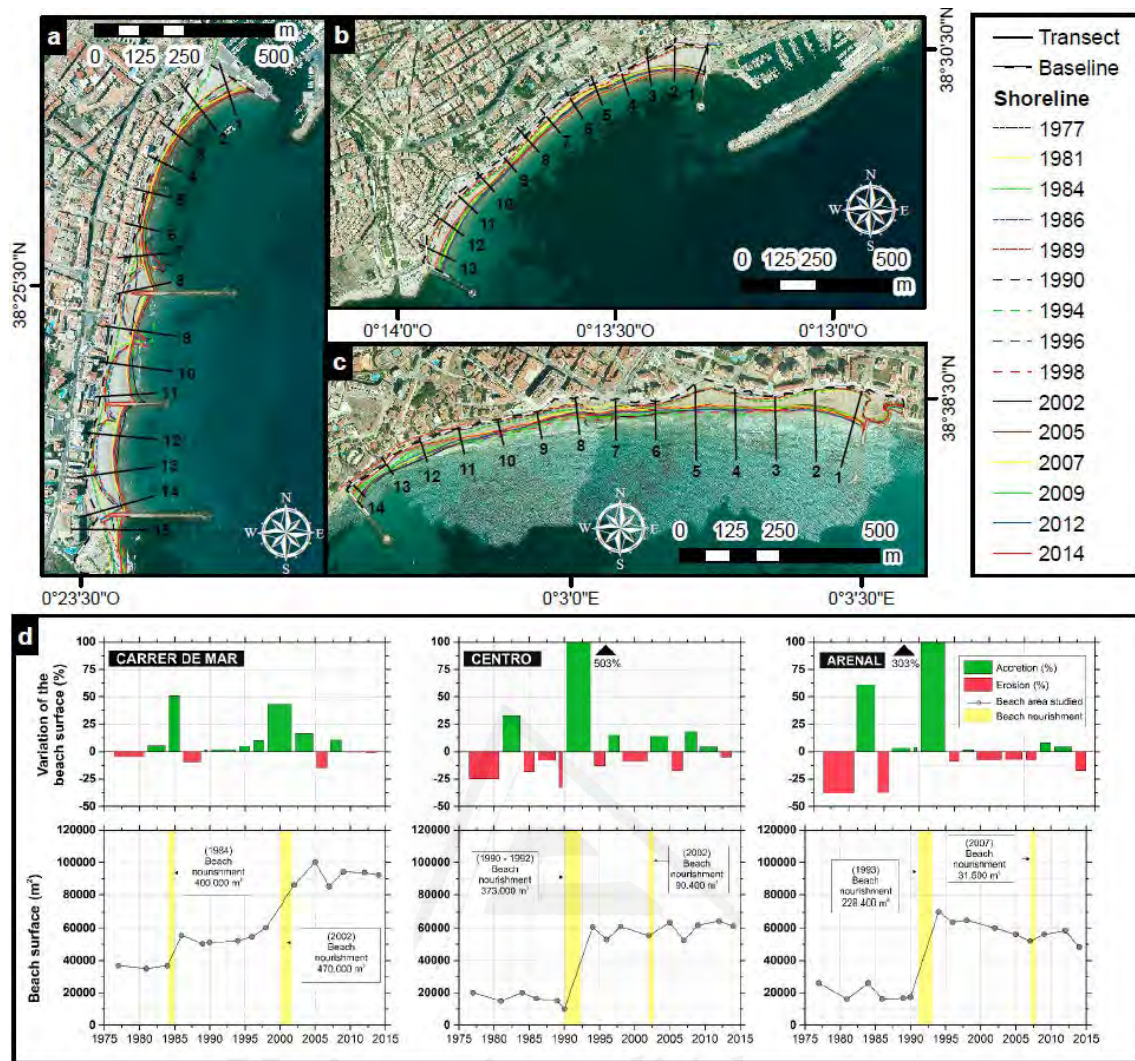


Figura 35. Evolución línea de costa a) carrer de mar, b) centro, c) arenal d) ratio evolucion superficie y volumen de playas regeneradas

Otro factor que analizó fue la presencia de praderas de *Posidonia oceanica*. Esta fanerógama marina, tiene entre otras cualidades la reducción de la energía y la estabilidad del perfil, como consecuencia de la densidad haces, altura del tallo y la profundidad a la que está situada (Koftis et al., 2013; Prinos et al., 2010). La cantidad de volumen que se vertió en las regeneraciones fue clave, así como su profundidad de cierre, para saber si se pudo producir la muerte de la fanerógama y por tanto desestabilización del perfil.

Para el cálculo del volumen de regeneración los ingenieros costeros, emplean habitualmente el perfil de equilibrio que depende según diversos autores, de la energía, velocidad de caída del sedimento, del tamaño medio  $D_{50}$  o del peso específico del sedimento (Bernabeu et al., 2003; Dai et al., 2007; Dean, 1991; Larson et al., 1999;

Romanczyk et al., 2005). Sin embargo, Pagán (2018) en su tesis analizó la evolución de los perfiles transversales concluyendo que eran prácticamente iguales. Es esto lo que nos lleva a preguntarnos hacia donde se produce la pérdida de volumen de regeneración de las playas. Esto nos lleva a analizar en profundidad el sedimento que compone la playa.

Las arenas empleadas para la regeneración fueron todas de Sierra Helada. Utilizando el método de desgaste acelerado de partículas (López et al., 2016) se analiza que la playa Centro, es la playa que mejor se comporta, pues pierde menos peso y D50 por ciclo, siendo la playa Carrer de mar la que peor Figura 36. Esto puede ser debido a la diferente mineralogía que presentan las 3 playas (Figura 37). Sin embargo, la que mayor proporción presenta de cuarzo (Carrer de Mar) es la que peor se comporta frente al agitador, mientras que playa Centro aun teniendo la menor proporción es la que mejor se comporta, lo que puede ser debido a la presencia de dolomita que presenta una mayor resistencia (Kushnir et al., 2015). En la Figura 37 queda patente que las muestras proceden de la misma fuente (Solamente Carrer de Mar no tiene Dolomita). Aunque, al analizar la fuente y relacionar esta con los periodos de vertido, se observa como la muestra podrían tener diferentes naturalezas geológicas, ya que, durante todos los periodos de dragado realizados, se profundizó hasta 10 m (Figura 38). Esto podría ser también la causa de los diferentes  $D_{50}$ .

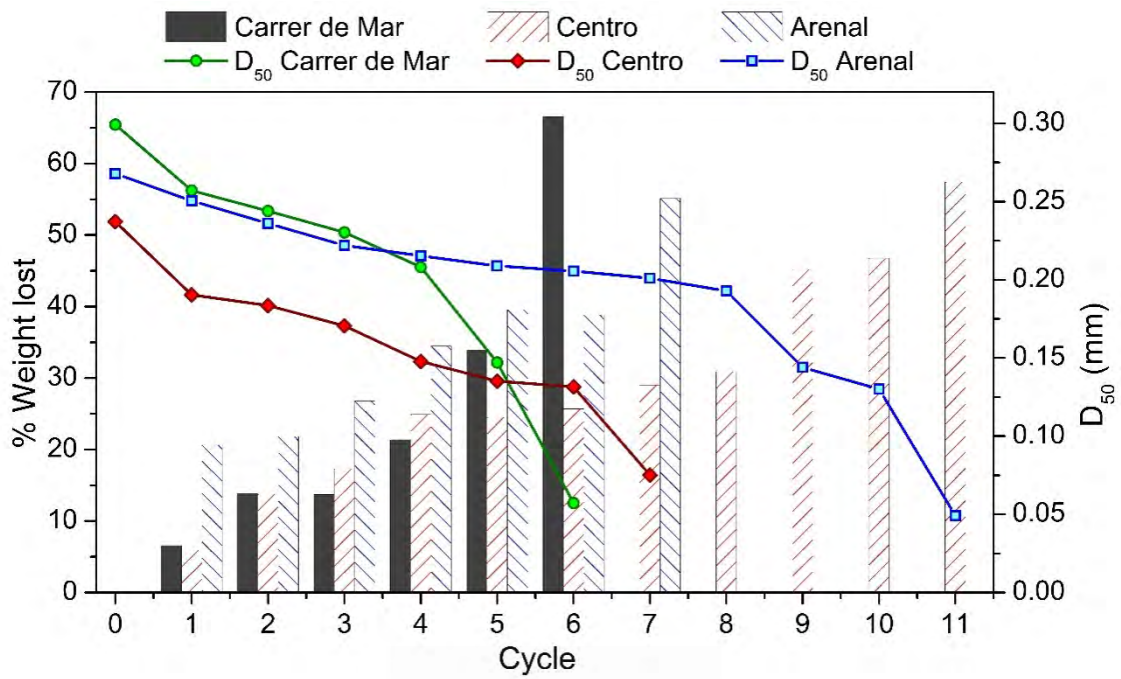


Figura 36. Evolución de la pérdida de peso y tamaño medio del sedimento durante el ensayo de desgaste acelerado de partículas

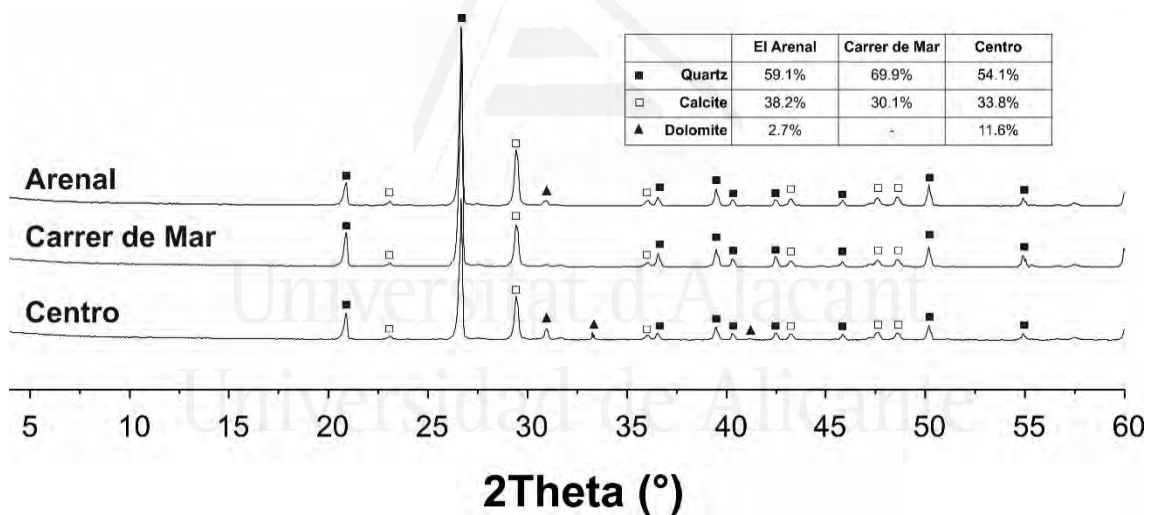
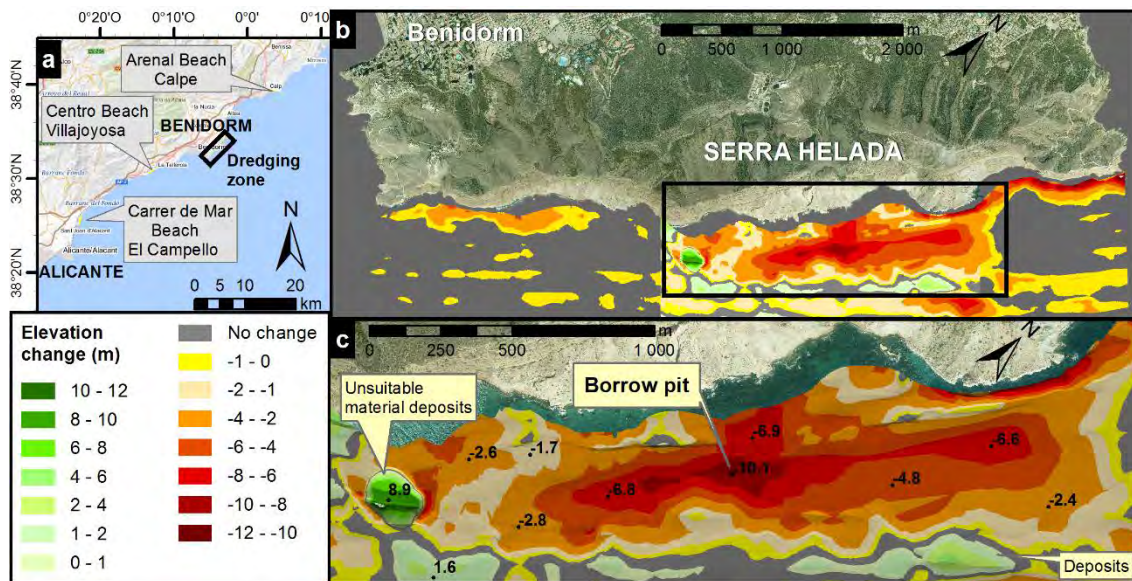


Figura 37. DRX y composición mineralógica de la arena de cada playa

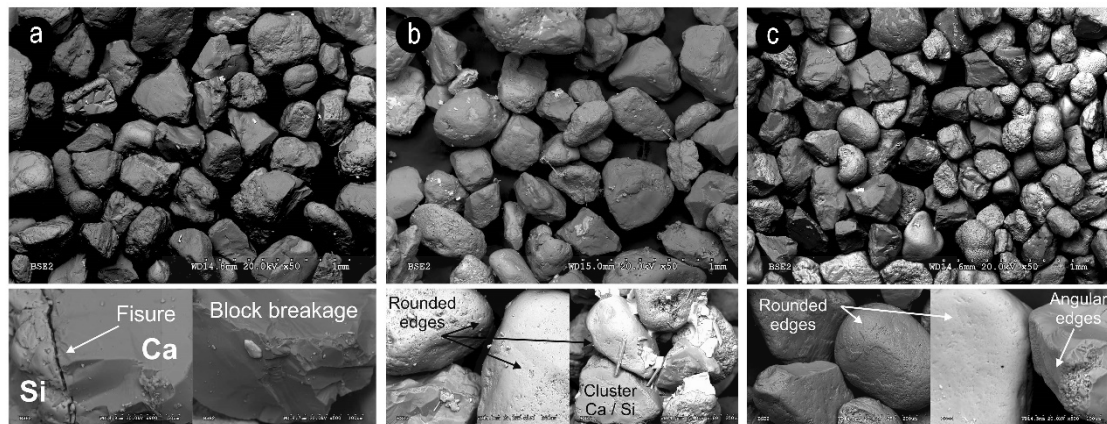




*Figura 38. a) zona de dragado b) zoon de las areas de prestamos frente a sierra helada c) DEM fosa de préstamo con el cambio de elevación en el lecho marino.*

Finalmente se analizó la morfología de las partículas que conforman las muestras de arena. De las imágenes obtenidas a partir de la microscopía vemos como hay una diferencia importante en el número de partículas redondeadas y homogéneas. Esta podría ser una de las causas de su diferente comportamiento frente al desgaste. Así se observa como Carrer de Mar (Figura 39b) presenta uniones muy débiles entre los minerales que la componen la partícula lo que podría llevar a la separación de las dos fases minerales y la consecuente pérdida de tamaño (López et al., 2016). Así mismo, la presencia de números planos de fractura, fracturas conchoides y abrasión en los bordes de las partículas, podría justificar la pérdida de D50 en el 4º ciclo (Figura 36). Por otro lado, de forma distinta la evolución del D50 de Playa Centro presenta una disminución progresiva, posiblemente debido a que la mayoría de las partículas que conforman su muestra son homogéneas, redondeadas y con pocas partículas con fisuras (Figura 39c), sin embargo una de las causas que puede provocar la pérdida de D50 observada en la Figura 36, puede deberse a la disgregación de los clústeres de partículas (Figura 39c). Por otro lado, la playa del arenal (Figura 39a) presente una proporción de partículas angulares inferior a Carrer de Mar, lo que puede justificar su mejor comportamiento frente a ella.

Como último análisis del comportamiento de las arenas frente al ensayo de desgaste, es el cambio brusco que se producen en las 3 playas (Figura 36), en periodos diferentes, en su  $D_{50}$ , esto posiblemente lo que nos esté indicando es el final de su vida útil. Todo esto junto con movimientos gravitacionales que transportan el material hacia las llanuras abisales (Aragonés et al., 2016), puede explicar la desaparición de los volúmenes de arena perdidos.



**Figura 39. Morfología de las arenas (SEM) a) Carrer de mar b) Centro c) Arenal**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **6.6. CAPÍTULO 6: CAUSAS DEL DIFERENTE COMPORTAMIENTO ENTRE PLAYAS CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES. CASO DE ESTUDIO DE LAS PLAYAS DE SAN JUAN Y GUARDAMAR DEL SEGURA**

---

### **6.6.1.INTRODUCCIÓN**

---

Las borrascas pueden alterar la forma de la berma de la playa, reubicando grandes volúmenes de sedimentos y generando drásticos cambios en el litoral costero. Aunque los datos nos estén informando que la energía que llega a nuestras costas sea muy parecida en estos últimos 60 años, sin embargo, observamos cómo hay playas que se comportan de manera diferente frente a este agente. Por lo tanto, es importante comprender cuáles son los agentes que intervienen y afectan a las costas arenosas para una mejor gestión futura. En esta investigación, se han estudiado dos playas situadas en los términos municipales de Guardamar del Segura y Alicante en el sureste de España. Separadas por tan solo 40 km de distancia, en el que el retroceso de la línea de costa ha sido diferente. Como datos de partidas, que dieron lugar a este estudio son: (i) orientaciones similares, (ii) playas abiertas al oleaje con longitudes de 9,8 km y 6,6 km y (iii) tamaños medios ( $D_{50}$ ) de arena similares. Sin embargo, de la simple observación de ambas playas se deduce que su comportamiento es diferente.

Para su estudio, se ha analizado la evolución de la línea de costa en 61 años (1956-2017). El análisis se ha realizado para todos los años, pero la influencia de regeneraciones entre los años 1990-1992 en ambas playas, hizo que su estudio se centrara antes y después de ese periodo. De los resultados obtenidos se desprende que: (i) Entre 1992-2017 se ha perdido tan solo un 3% de su superficie, cuando en el periodo precedente (1956-1990) fue de un 50%, y (ii) en Guardamar de 1992-2017 es de un 18% y en su periodo anterior es de un 14%. Es por ello por lo que el método seguido para el análisis de los agentes que intervienen en ambas playas consistió en el análisis del perfil transversal (volumen), estudio del clima marítimo, estudio de la biocenosis y estudio sedimentológico. Los resultados obtenidos nos informaron que la altura de ola, periodo y frecuencia era muy similar. La biocenosis no había cambiado mucho en el periodo

analizado, sin embargo, la morfología del fondo marino (al haber aumentado su profundidad) en Guardamar había influido algo en la pérdida sufrida. Sin embargo, del estudio sedimentológico había diferencias importantes entre ambas playas y dentro de la misma playa entre periodos analizados.

### 6.6.2.ÁREA DE ESTUDIO

---

El presente trabajo se centra en dos playas situadas en el sureste español, en el litoral Mediterráneo. Estas playas son: i) la playa de San Juan-Muchavista, situada a unos 7 km al noroeste de la ciudad de Alicante. Tiene una banda arenosa que supera los 100 m de anchura en varios de sus tramos, y cuya longitud total es de 7 km de arena fina, repartidos entre los términos municipales de Alicante y El Campello. Se encuentra encajada entre el Cabo de las Huertas al sur y el Cabo Azul al Norte, manteniendo una orientación norte-sur.

La playa de San Juan tiene una longitud total de 6,6 km y una anchura media de 80,9 m, alcanzando un máximo de 131 m. Su superficie total es de 53,28 Ha. Se trata de una playa abierta cuya arena es grisácea y su tamaño medio es de 0,24 mm. Esta playa ha tenido diferentes actuaciones a lo largo del tiempo:

- Entre los años 1990-1991 se realizó una regeneración masiva con 4.284.324 m<sup>3</sup> de arena procedente de Sierra Helada.

ii) Las otras playas de estudio son Viveros, Babilonia Centro, La Roqueta y Moncayo, El Campo y Les Ortigues todas situadas en el municipio de Guardamar del Segura, en el sureste de la provincia de Alicante. Linda en su extremo norte con la desembocadura del río Segura, y limita al Sur con el Canal de La Mata. Esta playa tiene una longitud total de 9,8 m y una anchura media de 58,7 m, alcanzando un máximo de 120,8 m. Su superficie total es de 23,40 Ha. Se trata de una playa abierta cuya arena es dorada y su tamaño medio es de 0,271 mm. Las actuaciones llevadas a cabo en esta playa fueron:

- 1986-1992: construcción del dique sur del Rio Segura

- 1990-1992 Regeneración con 397.253 m<sup>3</sup> distribuidos entre la playa de Viveros y Centro.
- 1996-1998: construcción del puerto fluvial

En el área estudiada, las mareas apenas tienen relevancia, llegando incluso a ser más importantes las oscilaciones debidas a la presión atmosférica que las mareas en sí mismas, siendo el valor de las mareas astronómicas alrededor de 0,3 m, mientras que las mareas meteorológicas pueden alcanzar valores de hasta 0,45 m (<http://www.puertos.es>, and Ecolavante (2006)).

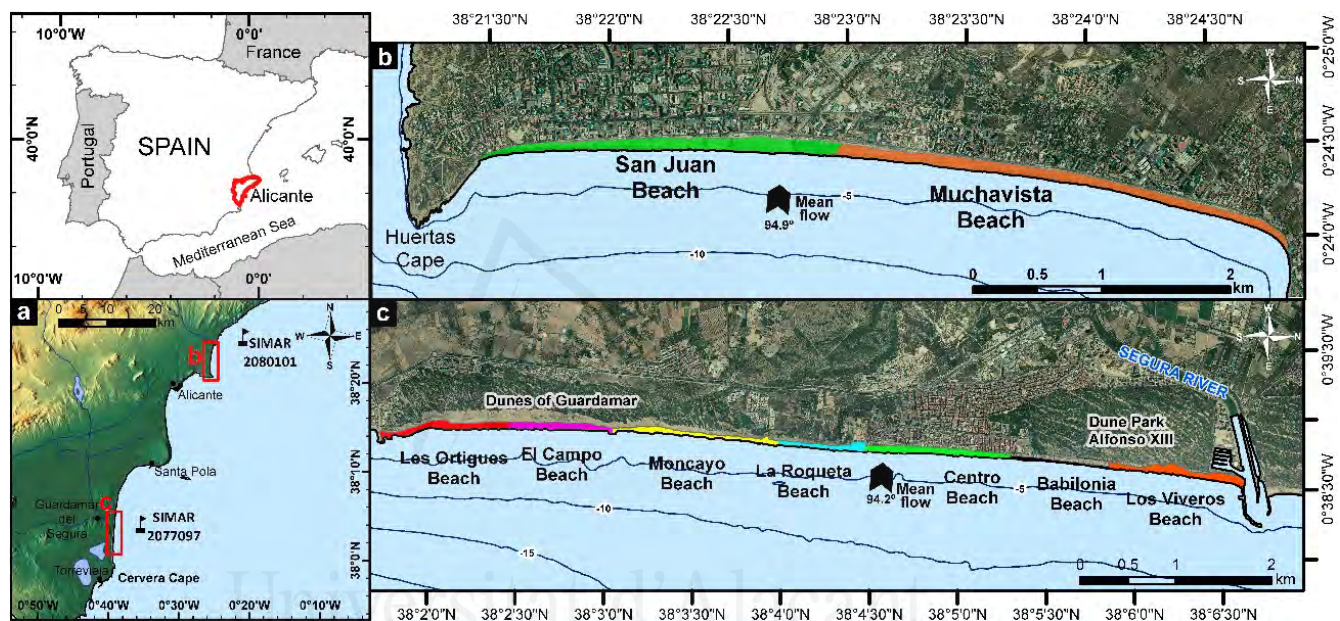
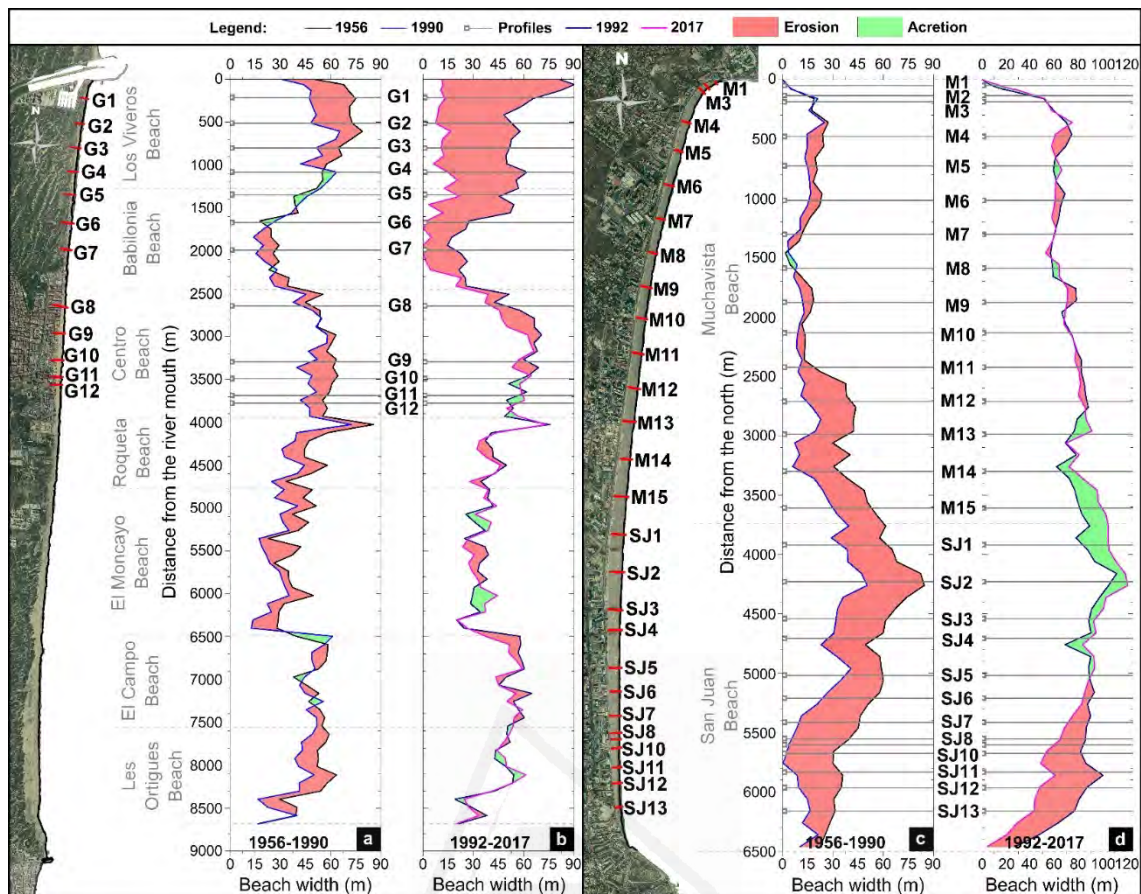


Figura 40. Ubicación de la zona de estudio, el flujo medio y orientación, y los nodos SIMAR. a) Playa de San Juan–Muchavista. b) Playa de Guardamar del Segura.

### 6.2.3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la evolución de la línea de costa realizada por Pagán (2018) observó un diferente comportamiento a lo largo del tiempo en ambas playas. Se requiere así de un profundo análisis de las causas que provocan esta diferente evolución, con el fin de conseguir que las futuras regeneraciones sean más estables con el tiempo.



**Figura 41.** Evolución de la línea de costa y la superficie de playa de las zonas de estudio. a) Guardamar 1956-1990. b) Guardamar 1992-2017. c) San Juan-Muchavista 1956-1990. d) San Juan-Muchavista 1992-2017.

Según diversos autores, uno de los principales factores que influyen en la evolución de la línea de costa es la energía del oleaje (Bakhtyar et al., 2009; Yoshikawa and Nemoto, 2010). San Juan y Guardamar, son playas que presentan una orientación similar ( $96,1^\circ$  Guardamar y  $94,5^\circ$  San Juan). Sin embargo, la pequeña diferencia entre el flujo medio y la orientación de Guardamar ( $94,9^\circ$  FM vs.  $96,1^\circ$  orientación), según (Pagán et al , 2018) genera una cierta tendencia a girar para ponerse perpendicular al flujo medio, de ahí que como se observa en la Figura 41 la zona más al sur de Guardamar tengan una cierta estabilidad en su superficie (gracias al transporte longitudinal que se produce) y sin embargo en San Juan las mayores tasas de erosión (aunque pequeñas) se presentan cerca del Cabo de las Huertas, precisamente por las corrientes producidas por la difracción del oleaje en el mismo. Es por ello, que se puede decir que el oleaje produce un transporte de sedimentos generalmente transversal. Si se observa, las alturas de olas, periodos y frecuencia de ambas playas son similares (Tabla 7) pero como se ha demostrado la evolución de su superficie es diferente. Es por ello que, aunque la energía

es un factor determinante en el desgaste de las partículas que conforma la arena de la playa (López I, et al. 2016), esta no influye de igual manera en la evolución de ambas playas, ni entre periodos en la misma (como es el caso de la playa San Juan).

*Tabla 7. Alturas de ola, periodos correspondientes al flujo medio en aguas profundas y a la profundidad de cierre (DoC) para cada uno de los periodos de estudio.*

		San Juan		Guardamar	
		1956-1990	1992-2017	1956-1990	1992-2017
Aguas	MF (°)	96,2	95,8	90,9	93,0
	H <sub>s,12</sub> (m)	2,20	2,20	2,40	2,17
	T <sub>p</sub> (s)	9,6	10,2	9,0	8,7
DoC	MF (°)	95,3	94,9	93,5	94,2
	H <sub>s,12</sub> (m)	2,50	2,56	2,78	2,52
	T <sub>p</sub> (s)	10,3	10,9	10,1	9,8

Observamos, por tanto, que la energía es similar en ambas playas. Además, al analizar el sedimento se observa que su tamaño medio también es similar (0,249 mm en Guardamar vs. 0,220 mm en San Juan, Figura 42), entonces ¿qué diferencias justifican la distinta evolución de la línea de costa en ambas playas?

Los estudios realizados sobre el desgaste del sedimento por López et al, 2016 muestran como dos muestras de arena con tamaños similares disminuyen su tamaño, pero en ciclos diferente frente al ensayo desgaste acelerado de partículas. Estos autores llegan a la conclusión que el choque de partículas, la disolución de los carbonatos y la separación de las partículas son las causas de esa disminución de tamaño. Según la Figura 42 en el caso de Guardamar se comprueba que en tan solo 3 ciclos se convierte en tamaño inferior a 0,063 mm siendo 5 ciclos la de San Juan. En la realidad y dentro del área de estudio (Guardamar) Aragonés et al. 2016 concluyó que este tamaño de partículas tiene una tendencia a desplazarse, mediante movimientos gravitacionales, hacia las llanuras abisales, lo que puede explicar la desaparición de parte de los volúmenes de arena perdidos. Además, la muestra de Guardamar es la que mayor peso y D<sub>50</sub> pierde por ciclo. Posiblemente uno de los factores que hace que Guardamar reduzca su tamaño con mayor rapidez sea la disolución de los carbonatos. Efectivamente, si se analiza Guardamar y San Juan (Figura 42) en su primer día de ciclo frente al agitador, la primera pierde 3 veces más carbonatos que San Juan (0,93 %



Guardamar y 0,30%, San Juan). Esto puede ser debido a la distinta mineralogía (Figura 43), la playa de Guardamar presenta cuarzo (30%), calcita (25,5%), y dolomita (44,6%), mientras que la playa de San Juan solo presenta cuarzo (64%) y calcita (36%).

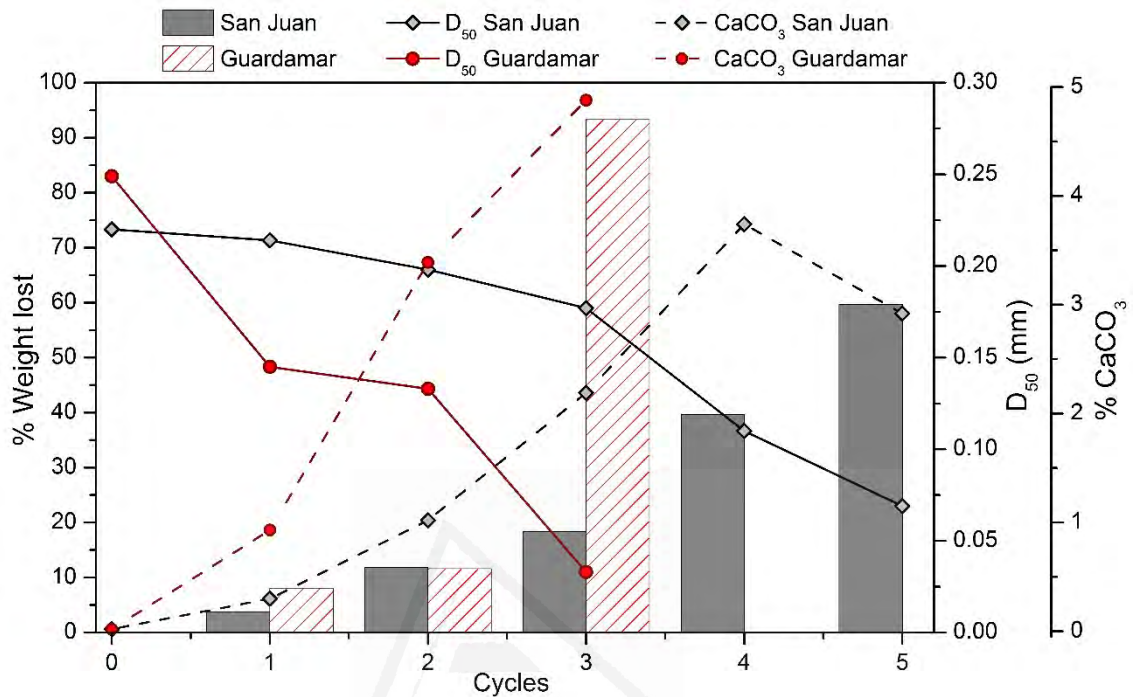


Figura 42. Evolución del tamaño medio, el peso perdido y los CaCO<sub>3</sub> durante el ensayo de desgaste acelerado de partículas entre las playas de San Juan y Guardamar.

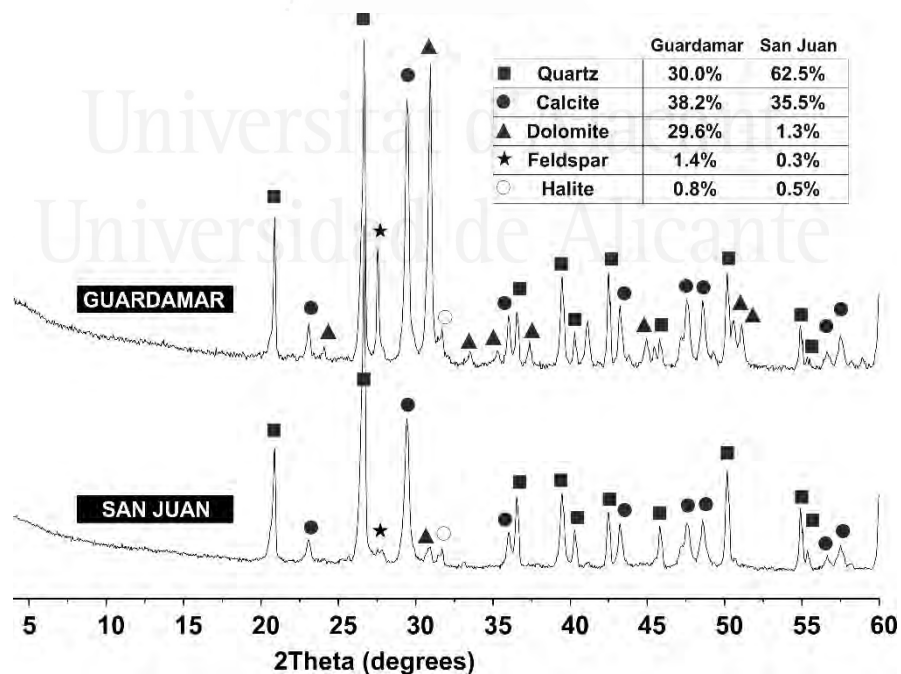


Figura 43. DRX de las playas de Guardamar y San Juan.

Al ser Guardamar la playa con mayor pérdida de superficie y volumen, del estudio mineralógico por fracciones (Tabla 8) realizado, se desprende que: (i) inicialmente la fracciones más grandes son las que presentan mayores porcentajes de

calcita y las fracciones intermedias se encuentra el mayor contenido de dolomita, (ii) tras la realización del desgaste acelerado de partículas, se observa un incremento en la proporción de cuarzo en los granos. Esto indicaría el posible desgaste continuo de la fracción carbonática (calcita y dolomita). En las fracciones más finas (0,063 – 0,125) se observa que la calcita es el mineral que menos se desgasta tras el ensayo acelerado de desgaste (ver el aumento de su porcentaje en la Tabla 8) que podría explicar la disolución de los carbonatos, que se observa en el ensayo al incrementar a un 4,88% el  $\text{CaCO}_3$  en el último ciclo.

*Tabla 8. Composición mineralógica de cada una de las muestras de sedimentos analizadas.*

		Tamaño de las partículas (mm)		
		0,063 - 0,125	0,125 - 0,200	0,200 - 0,250
Antes del ensayo	Cuarzo (%)	32,7	30,3	36,7
	Calcita (%)	30,1	25	46,1
	Dolomita (%)	36,5	43,7	16,7
	Feldespatos (%)	0,6	0,9	0,5
Después del ensayo	Cuarzo (%)	29,7	58	49
	Calcita (%)	40,5	21,5	28,2
	Dolomita (%)	29,3	19,4	22,3
	Feldespatos (%)	0,5	1,2	0,6

Otro factor, quizás más determinante lo encontramos en el estudio morfológico realizado a ambas muestras de arena. La microscopía de su estudio nos indica como las partículas de Guardamar presentan planos de foliación, todo lo contrario, en San Juan donde las partículas se redondeadas, homogéneas y aunque se observa algunas partículas formadas por un conglomerado de minerales, estas son las mínimas de la muestra (Figura 44). Efectivamente, en los estudios realizados por Chiva, L. et al. 2018 se observa como este tipo de conglomerados o uniones débiles en las que está formada las partículas, son los factores fundamentales de la formación de una pluma coloidal en suspensión en la playa relacionada con el oleaje o el diferente comportamiento de una arena procedente de una misma fuente, pero de estratos geológicos diferentes. Esto podría explicar el peor comportamiento de una arena frente a otra.

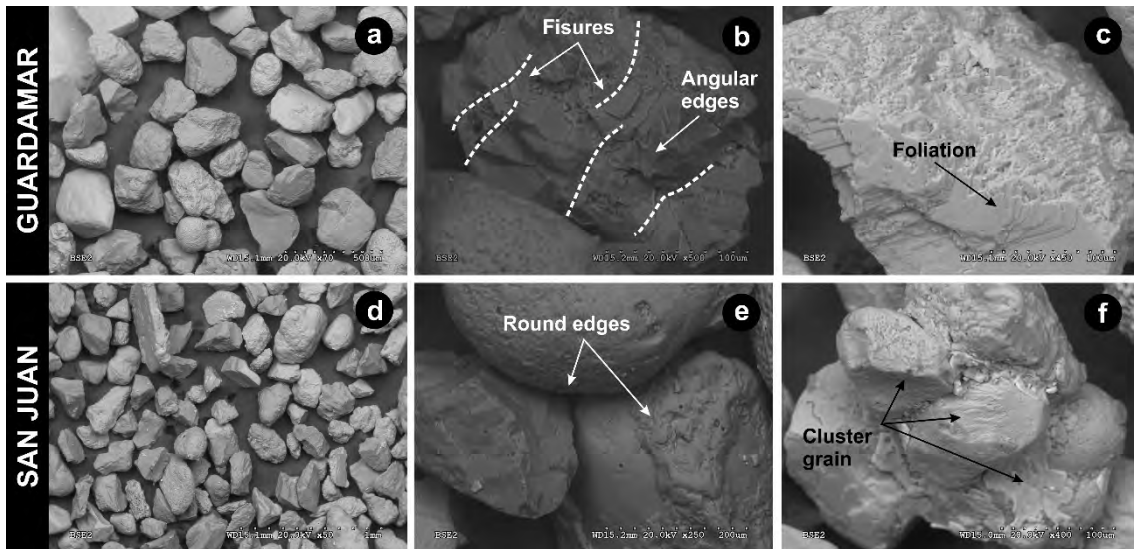


Figura 44. Morfología de las partículas de Guardamar (a, b y c) y San Juan (d, e y f).

Al ser la fuente de dragado en San Juan el mismo que en el estudio realizado por Pagán et al., 2018 (Sierra Helada), se han comparado los resultados del ensayo de desgaste acelerado de todas playas. De su comparación (Figura 45) se observa cómo su comportamiento frente al acelerador magnético es muy similar a la playa de Carrer de Mar, siendo esta la que peor se comporta de las otras 2 playas analizadas (Centro, y Arenal). Por lo tanto, una relación directa que se podría extrapolar es que la playa San Juan si se hubiera regenerado con arena similar a la playa Centro, su comportamiento hubiera sido aún mejor.

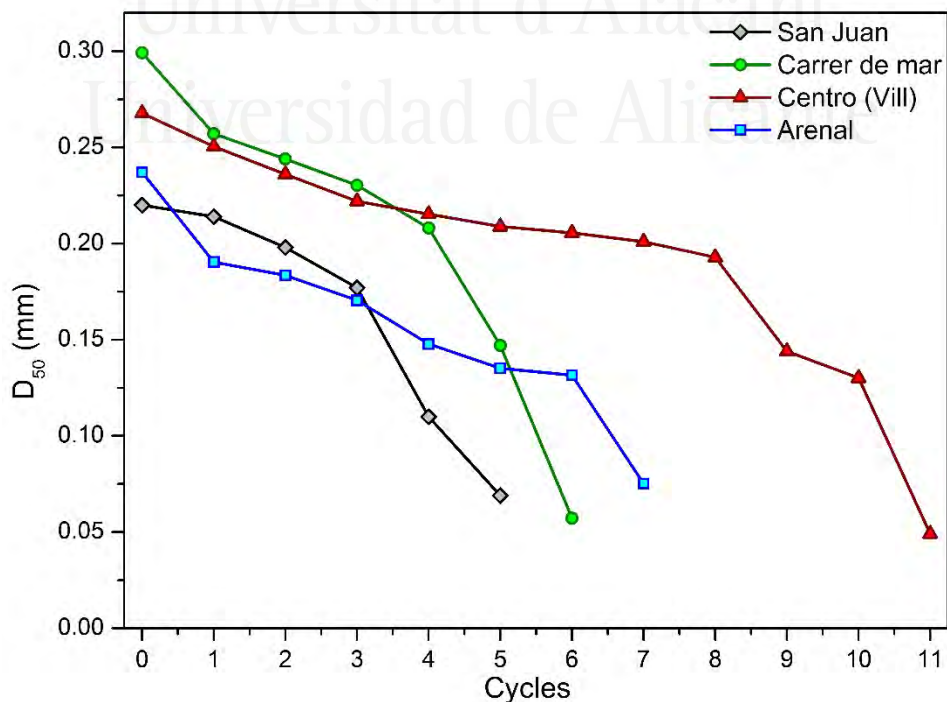


Figura 45. Evolución del tamaño medio durante el ensayo de desgaste acelerado de partículas entre las playas de San Juan, Carrer de mar, Playa Centro y Arenal.

Como último análisis y no menos importante es el análisis comparativo de las muestras de San Juan antes y después de la regeneración. Antes de la regeneración de la playa de San Juan, el sedimento analizado por DRX presentaba un 73,6% de calcita y un 26,4% de cuarzo (Serra,1988) frente al 35,5% de calcita y 62,5% de cuarzo que presenta el sedimento en la actualidad. La gran diferencia que se encuentra en cuanto a la evolución de la línea de costa entre ambos periodos junto con la diferente mineralogía de ambas playas nos está indicando que: (i) Posiblemente había una mayor proporción de disolución de los carbonatos y (ii) Aunque no se dispone de los datos morfológicos es posible que hubiera muchas de las partículas que conformaban la muestra, formadas por uniones débiles, lo que hacía que esta playa se erosionara con mayor rapidez.

Por lo tanto, en este estudio se ha evidenciado la importancia de la morfología y la mineralogía de la partícula que compone la muestra de arena, como elemento clave en la erosión costera. Es por ello, que son necesarios estudios previos para la búsqueda de la arena óptima para cada regeneración, lo que estará directamente relacionado con la duración o mantenimiento de la línea de costa.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 7. CONCLUSIONES

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## CONCLUSIONES

---

---

### CAPÍTULO 1

---

1. Al someter las muestras de las playas al ensayo de desgaste acelerado de partículas, hemos evidenciado que el sedimento costero sufre tres fenómenos diferenciados: (i) desgaste de las partículas por choque, (ii) disolución de la fracción carbonatada, y (iii) rotura y separación entre la fracción mineral y la parte carbonatada que conforman inicialmente el sedimento. Si se evalúan de forma conjunta los tres fenómenos demostrados, conllevan a una alteración en su composición de las arenas y una disminución del tamaño de las partículas, que implican a su vez, un cambio en la distribución de la muestra del sedimento.

---

### CAPÍTULO 2

---

2. En la zona de Castellón, el desgaste que sufren los sedimentos, observado a partir del desgaste de la fracción mineral, es producido por el movimiento de los sedimentos ocasionado por la energía del oleaje que provoca un transporte longitudinal en dirección a su flujo medio. Durante este proceso se constata una disminución en su tamaño a medida que nos alejamos de la fuente.
3. En cuanto a la zona estudiada de Alicante, nos encontramos en una zona protegida naturalmente por cabos e isla, por lo que el material no llega a ser transportado, y su desgaste es producido por la antigüedad del mismo
4. Aquellas playas, en las que podemos encontrar a poca profundidad *Posidonia oceanica*, presentan arenas con mayor cantidad de carbonatos y por tanto mayor facilidad a ser desgastadas.

---

### CAPÍTULO 3

---

5. Es necesario reducir la energía que llega a la costa, con el fin de prolongar la durabilidad del material



6. Durante el proceso de regeneración es necesario que el material escogido presente una buena calidad frente al agitador, lo cual nos dará información de su comportamiento en el mar
7. El tamaño medio es importante para marcar la forma que tendrá el nuevo perfil de equilibrio, pero no para controlar el retroceso de la línea de costa, para esto debemos de tener en cuenta la calidad del sedimento, a través del estudio de su mineralogía, morfología y estratigrafía

---

#### CAPÍTULO 4

---

8. En general al aumentar el porcentaje de Calcita aumenta el desgaste de la muestra, mientras que al aumentar el porcentaje de cuarzo aumenta la resistencia de la misma.
9. La morfología de la partícula (redondeo, fracturas, etc) puede influir positiva o negativamente en el desgaste de la muestra.

---

#### CAPÍTULO 5

---

10. La energía del oleaje no parece ser un factor determinante en el diferente comportamiento de las playas si la estudiamos en aguas profundas. Pero si la observamos en aguas reducidas, la *Posidonia oceanica*, es un factor que reduce la energía y estabiliza el perfil.
11. La mineralogía de los sedimentos que conforman la muestra de arena es un factor que juega un papel muy importante en la erosión y retroceso de la línea de costa. A pesar de parecer prácticamente el mismo sedimento y provenir estos del mismo préstamo, la presencia de dolomita en playa centro y Arenal puede favorecer una mayor durabilidad de la posición de la línea de costa. Además, los granos de cuarzo presentes en los sedimentos de Carrer de mar están altamente fracturados, lo que provoca fragilidades y facilidad de pérdida de tamaño al dividirse en partículas más pequeñas.

## CAPÍTULO 6

---

12. La energía influye pero que no es un factor determinante.
13. La morfología del sedimento puede ser el factor más determinante a la hora de la conservación de la línea de costa, obteniendo del estudio de microscopía de Guardamar, planos de foliación, todo lo contrario en San Juan, donde las partículas son redondeadas y homogéneas, haciendo que su proceso erosivo sea diferente.

## CONCLUSIONES GENERALES

---

Este estudio nos ha permitido llegar a saber que para la selección de una arena de regeneración no sólo se debe tener en cuenta el tamaño y la mineralogía de la muestra, sino que se debe realizar un estudio de la morfología de las partículas que componen dicha arena. Así mismo, es necesario el conocimiento previo del área estudiada, el análisis en profundidad del material con el que se pretende regenerar y la posible afección a los ecosistemas, ya que de ello dependerá el comportamiento futuro de la línea costera. Por último, es clara la necesidad de incluir el ensayo desgaste acelerado de partículas previo a la utilización de cualquier arena en una regeneración. Aunque actualmente se dispone de una gran cantidad importante de datos sobre la erosión costera, se debe investigar sobre qué tipo de arenas tenemos en el mundo y así hacer un inventario que permita analizar los riesgos en cada zona.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 8. FUTURAS INVESTIGACIONES

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## FUTURAS INVESTIGACIONES

---

Esta Tesis Doctoral ha sido el comienzo de una línea de investigación y a pesar de haber sido desarrollada y haber obtenido resultados, debe de continuar mediante futuras investigaciones para conseguir varios objetivos:

- a) Obtener una relación entre la erosión obtenida en el ensayo de desgaste acelerado y la erosión real producida en la costa,
- b) Conseguir alternativas a las arenas procedentes de ríos, barrancos y ramblas
- c) Producir un producto que mejore la cohesión de la composición mineral que compone la partícula de arena frente a la energía del oleaje.

Como desarrollo de estas futuras líneas de investigación se debería tener un conocimiento amplio del comportamiento de las arenas actuales frente al agitador magnético y la posibilidad de usar los residuos alternativos como son los procedentes del mármol, vidrio, cerámicos, etc., o la fabricación procedente de plantas de machaqueo. Por otro lado, una vez analizados dichos materiales y comparados, debemos relacionarlos con la evolución real que sufre la línea de costa donde realmente están colocados (como es el caso de las arenas de las playas estudiadas y ensayadas). Es de intuir que si del estudio de los materiales alternativos, su comportamiento frente al agitador magnético es diferente, habrá un diferente comportamiento a su vez de la línea de costa. Por tanto, hay que relacionar los ensayos en el agitador magnético con la realidad, esto obliga a realizar ensayos en canal y piscina que implicarían tiempo y dinero, no obstante, a partir de sus resultados, se podría obtener un gran avance en el conocimiento de la evolución temporal de la línea de costa en función del material que compone la playa.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## 9. APÉNDICE

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 9.1. ARTÍCULOS DERIVADOS DE LA PRESENTE TESIS DOCTORAL

---

- I. López, **M. López**, L. Aragonés, J. García-Barba, M.P. López, I. Sánchez (2016). The erosion of the beaches on the coast of Alicante: Study of the mechanisms of weathering by accelerated laboratory tests. *Science of the Total Environment* 566–567 (2016) 191–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.026>
- **M. López**, I. López, L. Aragonés, J.C. Serra, V. Esteban (2016) The erosion on the east coast of Spain: wear of particles, mineral composition, carbonates and *Posidonia oceanica*. *Science of the Total Environment* 572 (2016), 487–49 <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.076>
- Pagán, J.I., **López, M.**, López, I., Tenza-Abril, A.J., Aragonés, L., (2018). Study of the evolution of gravel beaches nourished with sand. *Science of The Total Environment*, 626, 87-95, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.015>
- Pagán, J. I., **López, M.**, López, I., Tenza-Abril, A. J., & Aragonés, L. (2018). Causes of the different behaviour of the shoreline on beaches with similar characteristics. Study case of the San Juan and Guardamar del Segura beaches, Spain. *Science of The Total Environment*, 634, 739-748. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.037>
- **M. López**, F. Baeza-Brotons, I. López, A.J. Tenza-Abril, L. Aragonés, (2018). Mineralogy and morphology of sand: Key parameters in the durability for its use in artificial beach nourishment. *Science of The Total Environment*, 639, 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.024>

## 9.2. COMUNICACIONES A CONGRESOS

---

- **López-López Mercedes**; López-Úbeda, Isabel; Villacampa-Esteve, Yolanda; Aragonés-Pomares, Luis Nuevos métodos computacionales aplicados a la ingeniería de costas”. *XIV Jornadas españolas de ingeniería de costas y puertos*.

- Y.Villacampa, I.López, L.Aragonés, C.García, **M.López** & A.Palazón. Water quality of the beach in an urban and not urban environment. *International Journal Sustainable Development Planning*. Volume. 12, No. 4 (2017) 713–723. *11th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability (12-14 July 2016, Alicante, Spain)*
- J. Garcia-Barba, L. Aragonés, I. López, **M. López**, A. Tenza-Abril & J.I. Pagán. Alicante beach- city sustainable development. *Sustainable Development and Planning Journal* – Volume 12 Issue 4. ISSN: 1743-7601. *11th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability (12-14 July 2016, Alicante, Spain)*.
- **M. López**, J.I. Pagán, I. López, L. Aragonés, A.J. Tenza-Abril & J. García-Barba Factors influencing the retreat of the coastline. *Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas.*, Vol. 5, No. 5 (2017) 741–749. *2nd International Conference on Coastal Cities and their Sustainable Future (24-26 April 2017, Cádiz, Spain)*.
- López, I., Aragonés, L., **López, M.**, Palazón, A., & GÓMEZ-MARTÍN, M. E. (2017). Relative Position Of The Size Of Sediments In The Cross-shore Profile. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(7), 1215-1222.

---

## 10.ANEJO: FICHAS DE PLAYAS

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ANEJO: FICHAS DE PLAYAS

---

En este anejo se incluye la ficha de todas las playas analizadas en cada uno de los capítulos de estudio de esta tesis. En cada una de las fichas aparece información sobre su ubicación, la evolución del porcentaje de pérdida de su tamaño medio ( $D_{50}$ ) tras cada uno de los ciclos de ensayo sin incluir los valores menores de 0,063 mm, por considerar que en la realidad son tamaños que se desplazan hacia el fondo del mar y no vuelven a la línea de costa, y por tanto no están involucrados en el proceso de desgaste. Otro dato que encontramos será la evolución del porcentaje de pérdida de masa tras cada uno de los ciclos del ensayo, sin incluir nuevamente la parte correspondiente a los tamices inferiores a 0,063 mm. También añadimos la evolución del porcentaje desprendido de  $\text{CaCO}_3$  tras cada uno de los ciclos de ensayo. Así mismo aparece la mineralogía y microscopía realizada a algunas de las playas.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



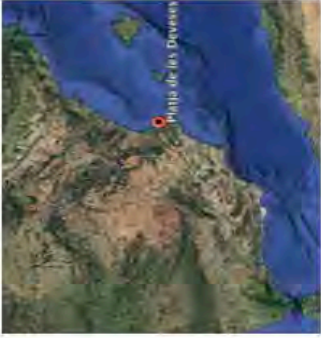
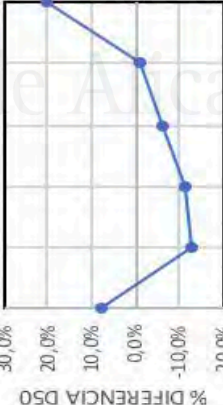
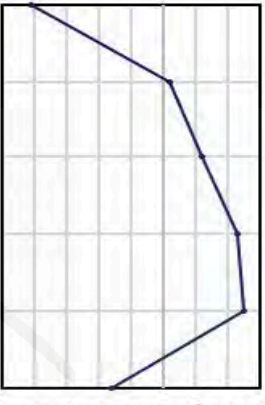
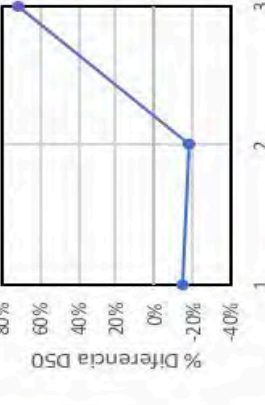
Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

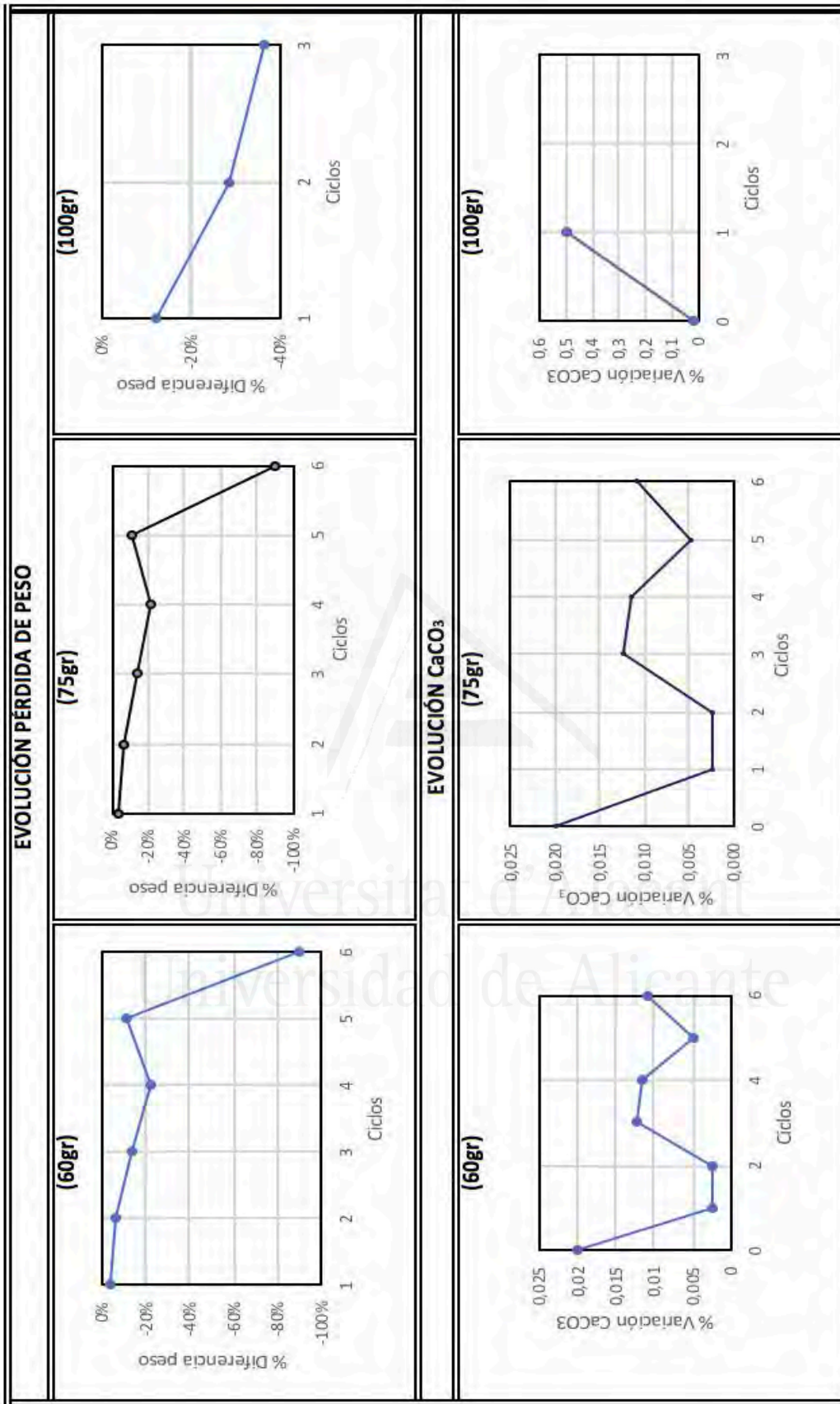
## **10.1.PLAYAS BAÑADAS POR EL MAR MEDITERRÁNEO**

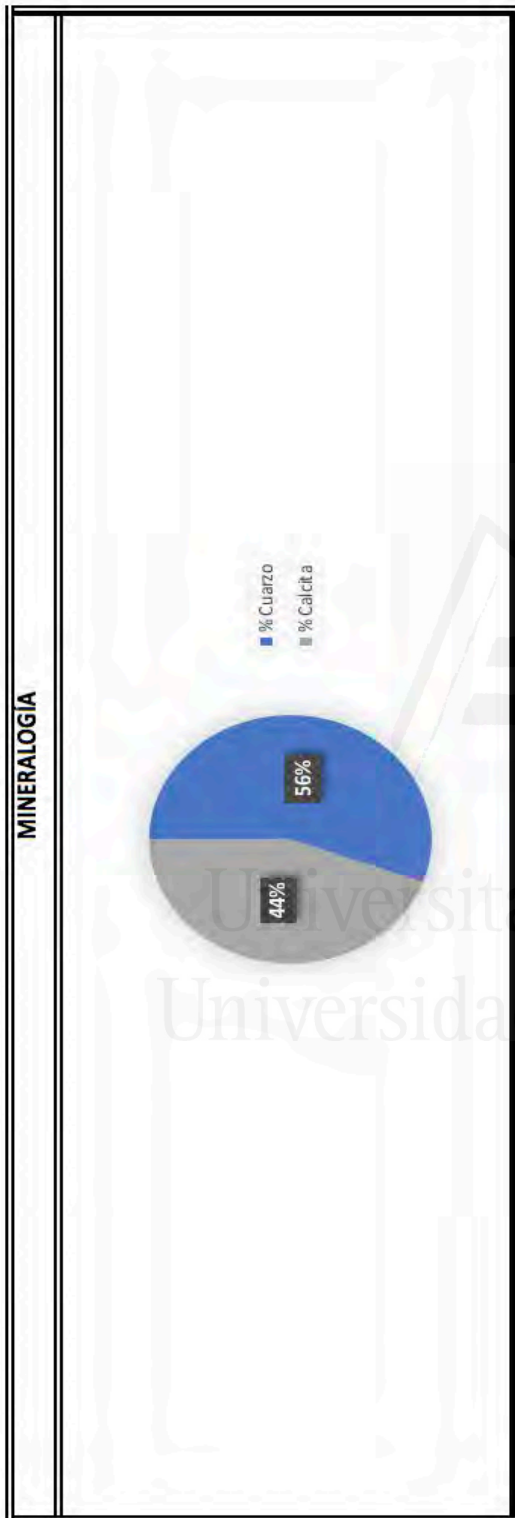


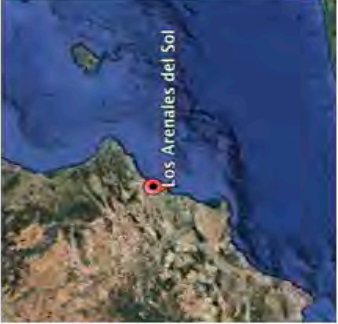

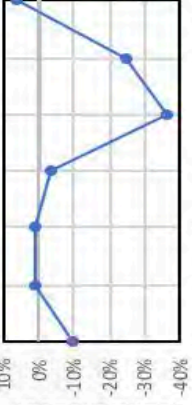
Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

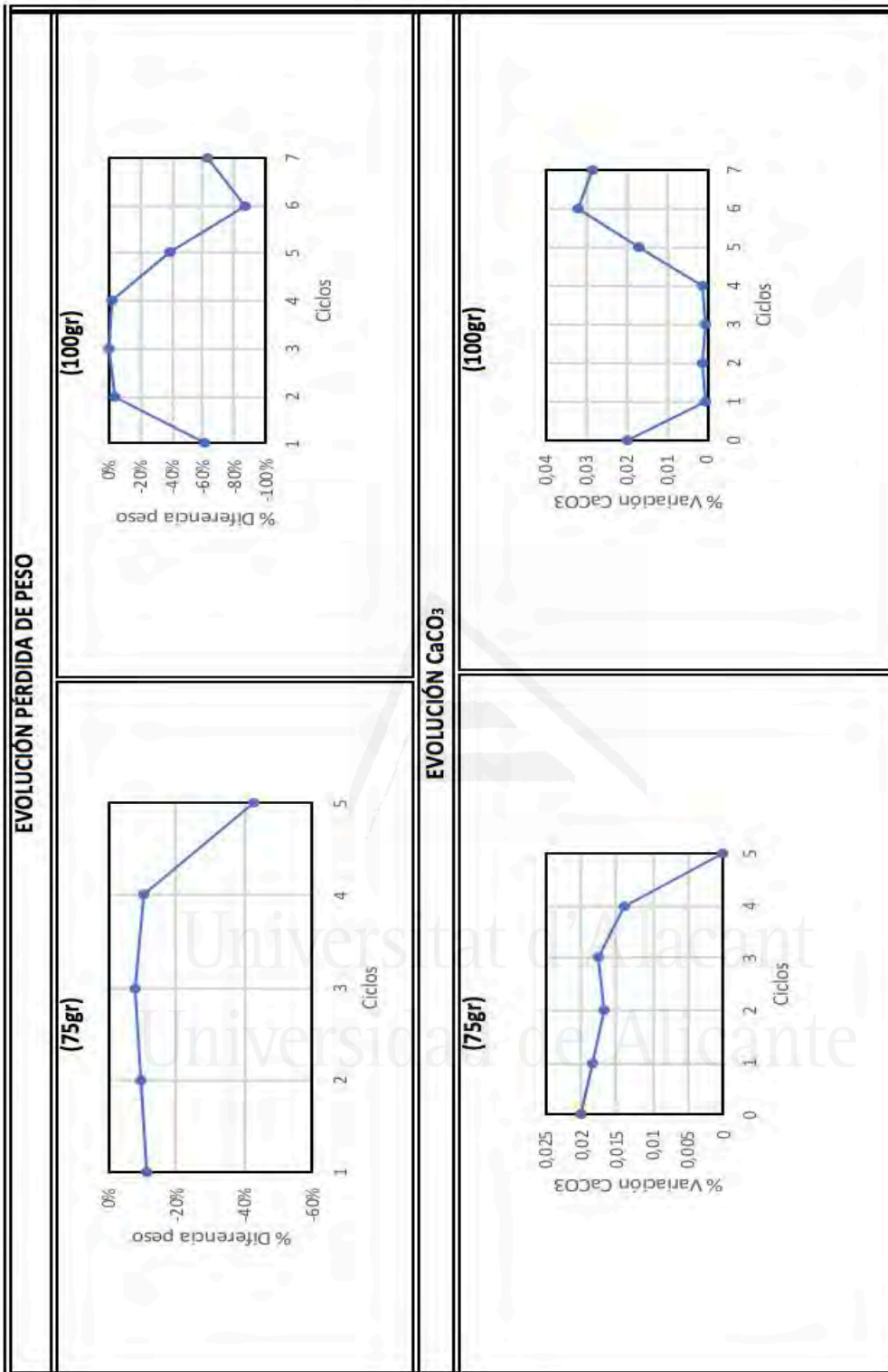


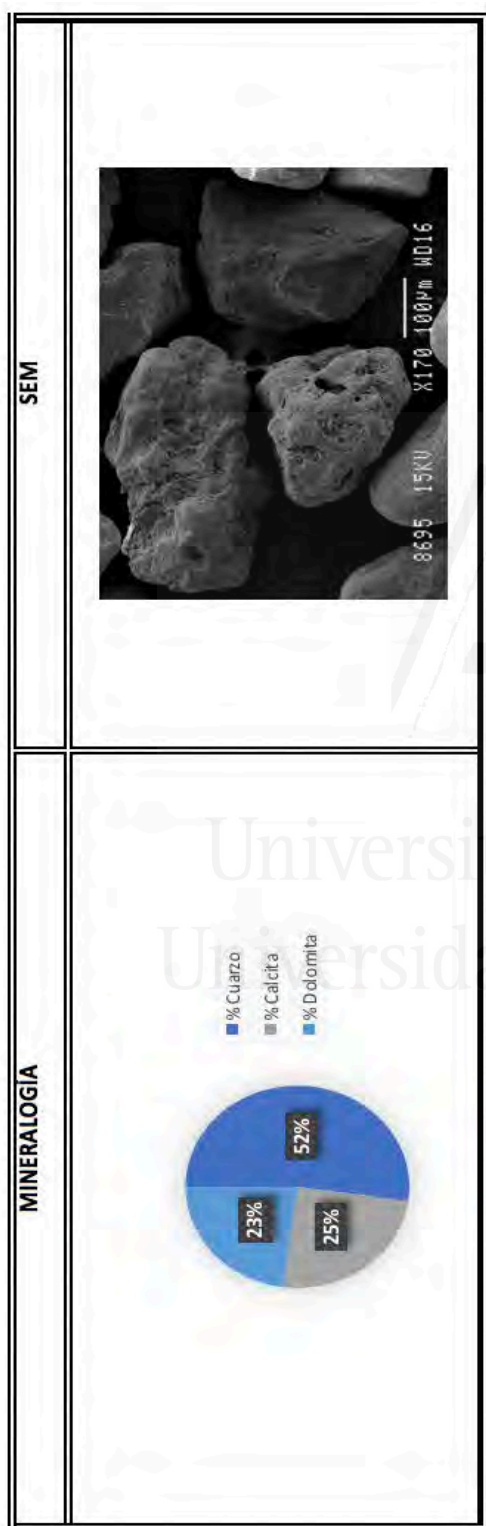
<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Les Deveses (Denia)  <b>PAÍS:</b> España  <b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p> 																																				
<p><b>EVOLUCIÓN D<sub>50</sub></b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="756 1232 1203 1756"> <p><b>(60gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (60gr) D50 Evolution</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% DIFERENCIA D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10,0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-10,0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-10,0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>20,0%</td></tr> <tr><td>6</td><td>20,0%</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="756 694 1203 1223"> <p><b>(75gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (75gr) D50 Evolution</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-15%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>5</td><td>15%</td></tr> <tr><td>6</td><td>25%</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="756 215 1203 685"> <p><b>(100gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (100gr) D50 Evolution</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-2,0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-2,0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>80%</td></tr> </tbody> </table> </div> </div>		Ciclos	% DIFERENCIA D <sub>50</sub>	1	10,0%	2	-10,0%	3	-10,0%	4	0,0%	5	20,0%	6	20,0%	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	1	-10%	2	-15%	3	-10%	4	-5%	5	15%	6	25%	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	1	-2,0%	2	-2,0%	3	80%
Ciclos	% DIFERENCIA D <sub>50</sub>																																				
1	10,0%																																				
2	-10,0%																																				
3	-10,0%																																				
4	0,0%																																				
5	20,0%																																				
6	20,0%																																				
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																				
1	-10%																																				
2	-15%																																				
3	-10%																																				
4	-5%																																				
5	15%																																				
6	25%																																				
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																				
1	-2,0%																																				
2	-2,0%																																				
3	80%																																				

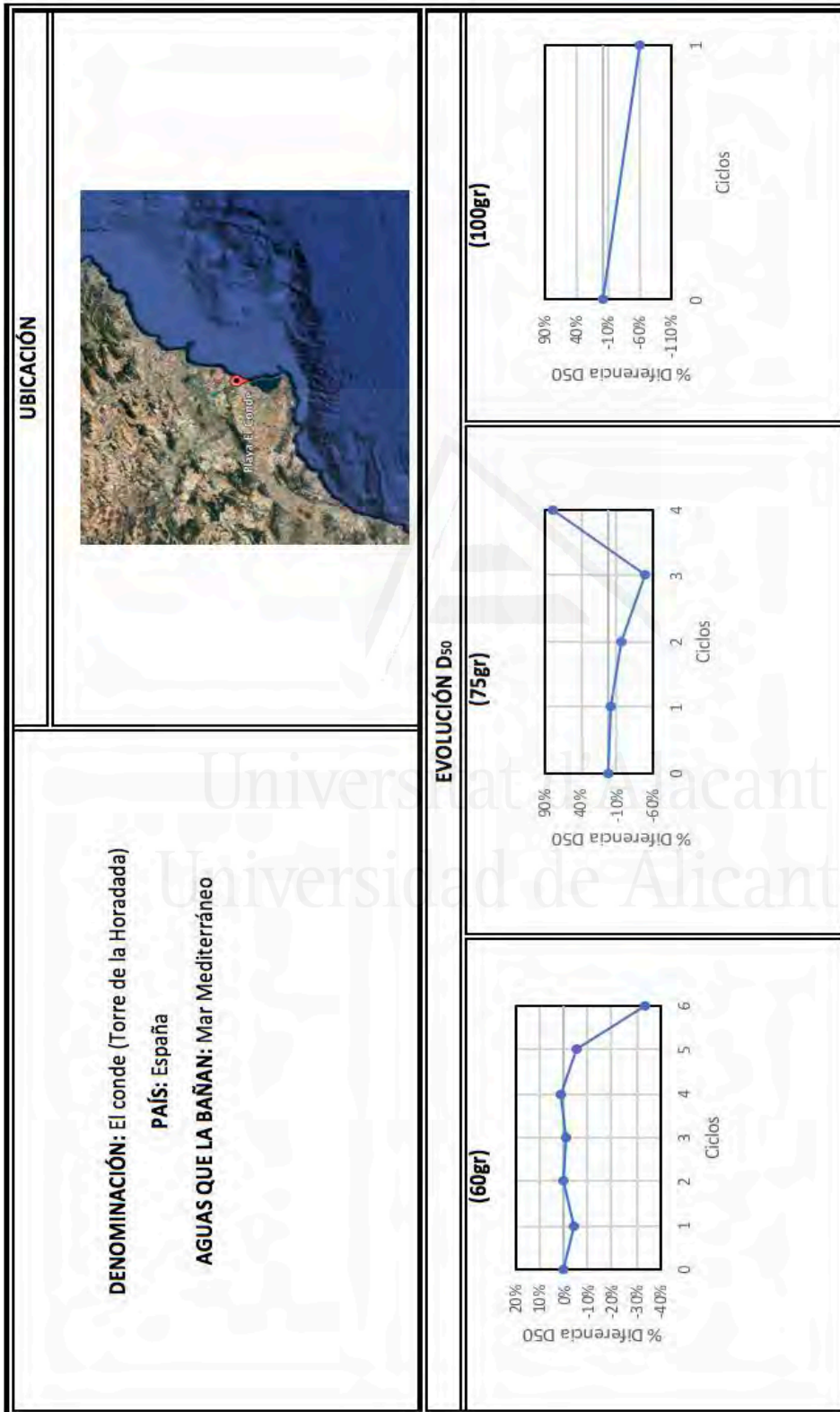


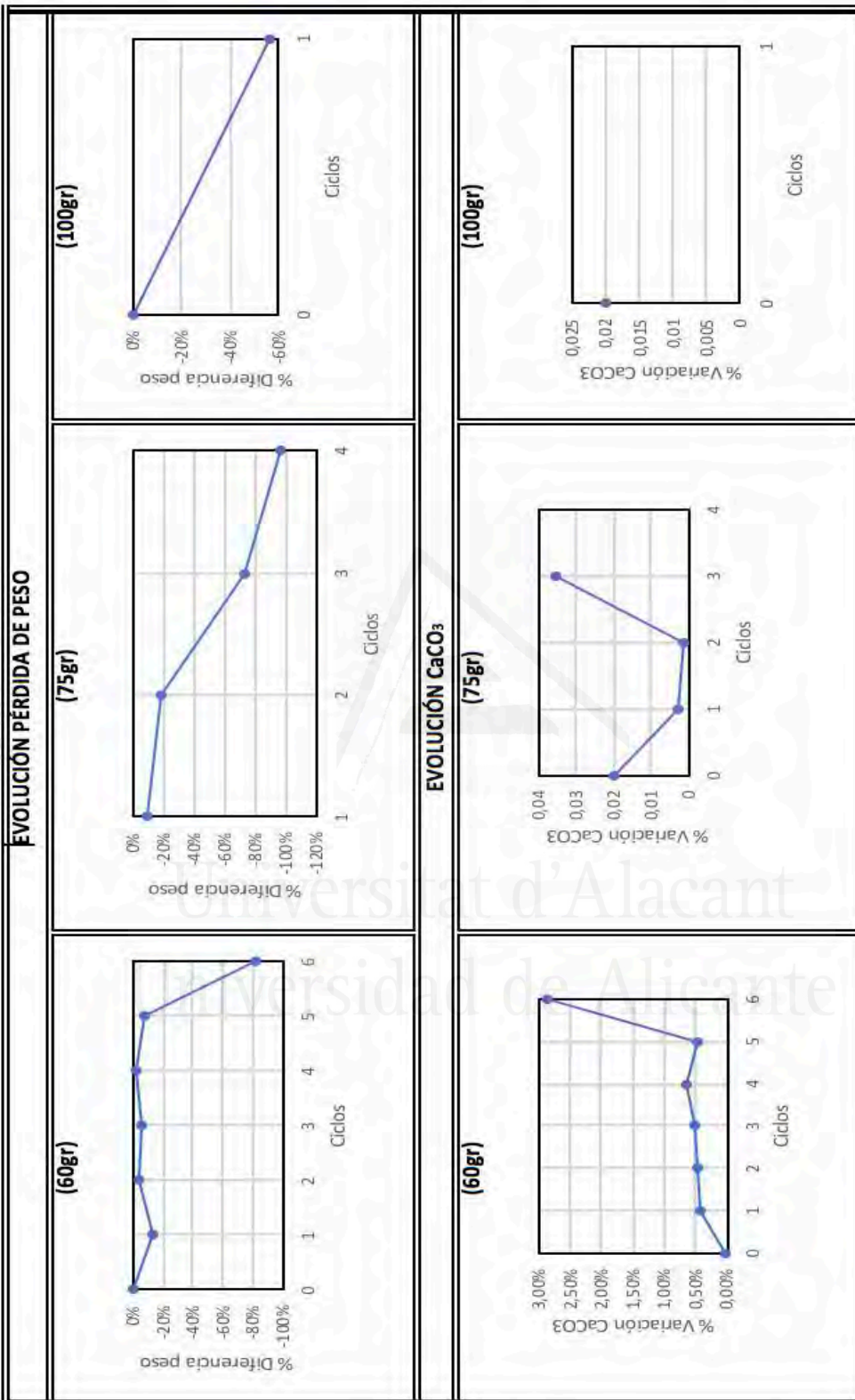


<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Arenales del sol (Elche) (75gr)</p> <p><b>PAÍS:</b> España</p> <p><b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p> 																												
<p><b>EVOLUCIÓN D<sub>50</sub></b></p>																													
<p><b>(75gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (75gr) Evolution D<sub>50</sub></caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-15%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-20%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	1	0%	2	-5%	3	-10%	4	-15%	5	-20%	<p><b>(100gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (100gr) Evolution D<sub>50</sub></caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-25%</td></tr> <tr><td>6</td><td>-20%</td></tr> <tr><td>7</td><td>-15%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	1	0%	2	-10%	3	-5%	4	-10%	5	-25%	6	-20%	7	-15%
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																												
1	0%																												
2	-5%																												
3	-10%																												
4	-15%																												
5	-20%																												
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																												
1	0%																												
2	-10%																												
3	-5%																												
4	-10%																												
5	-25%																												
6	-20%																												
7	-15%																												

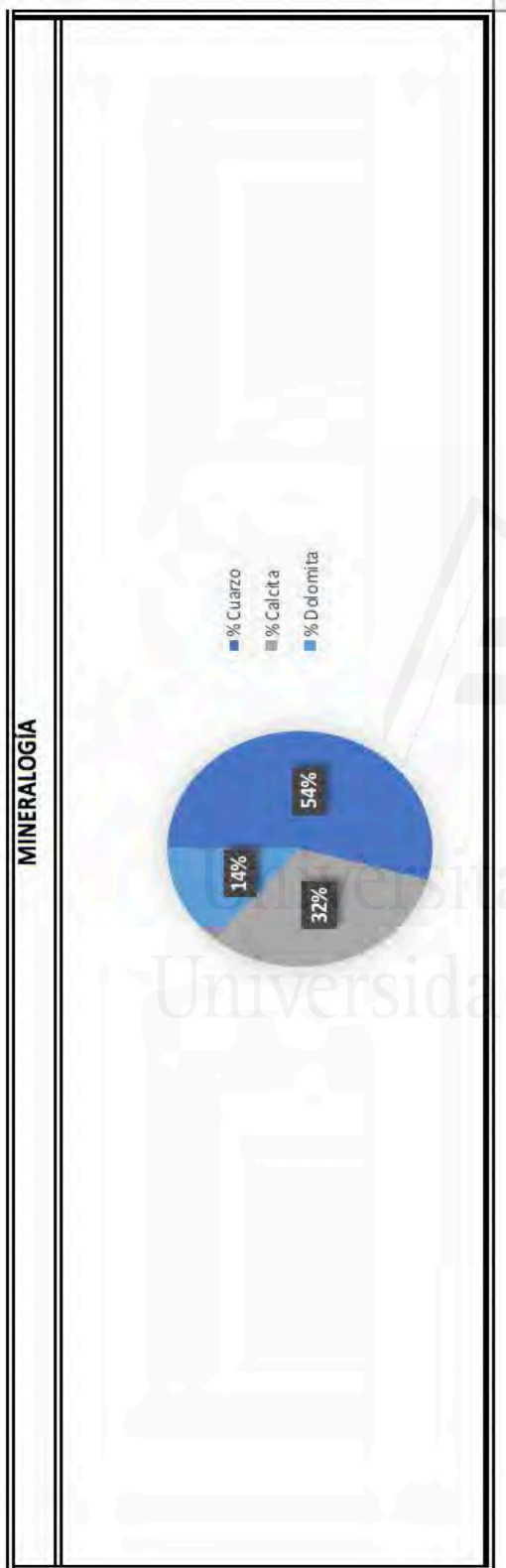


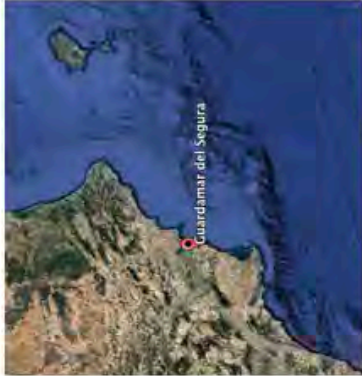
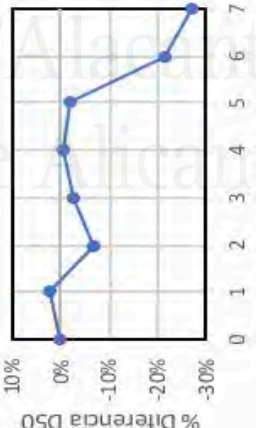
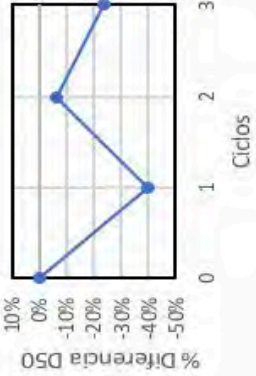


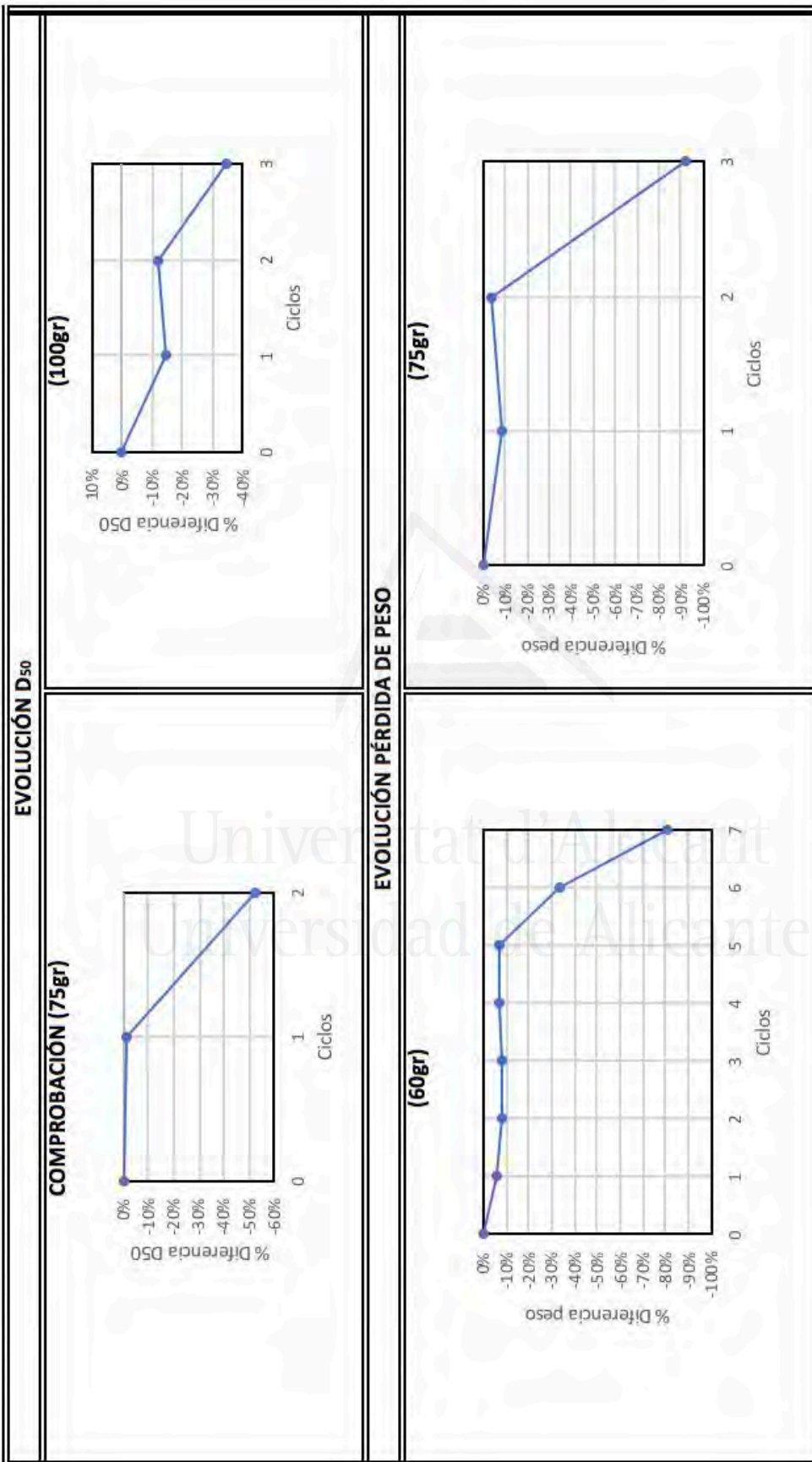


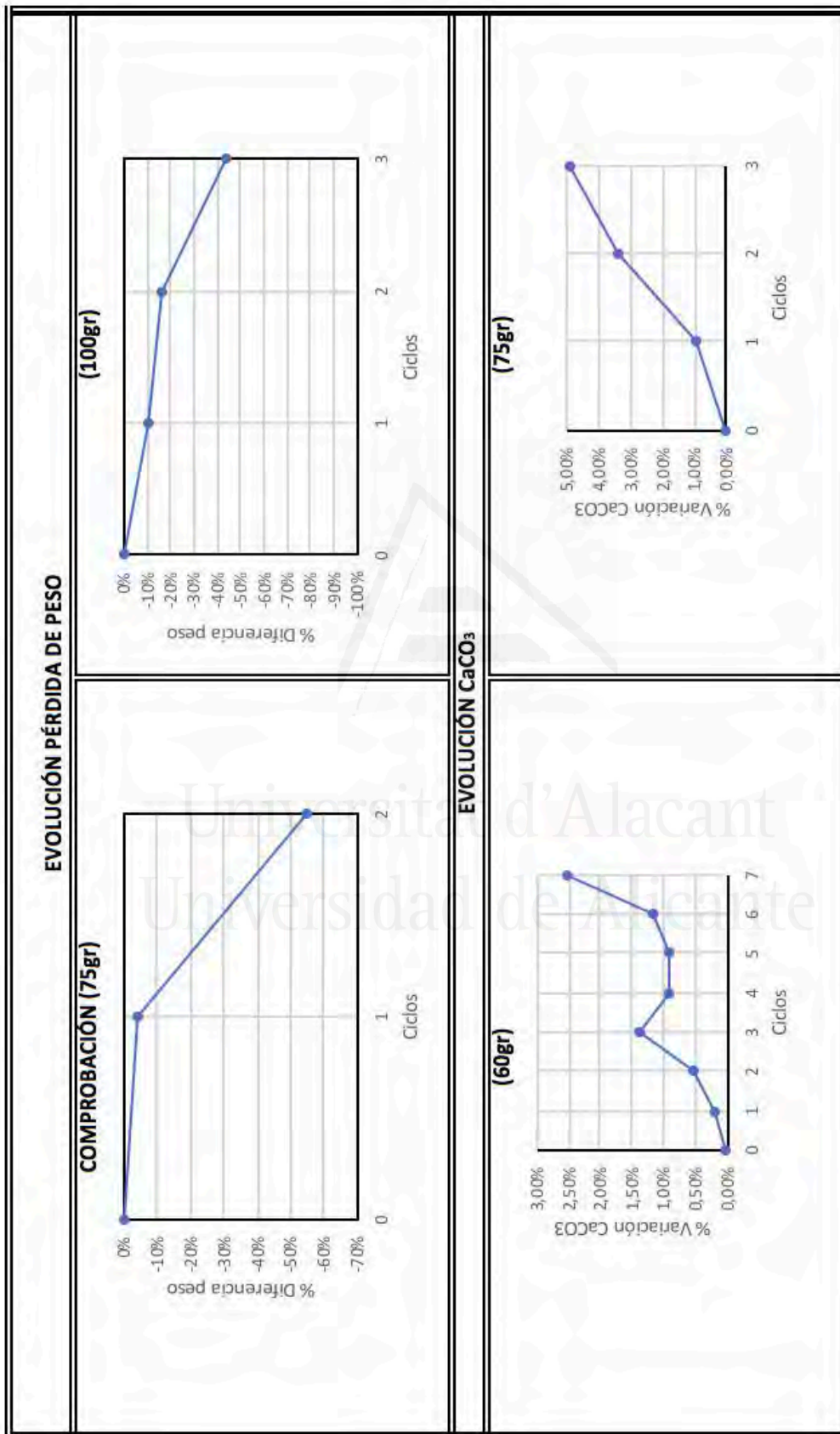







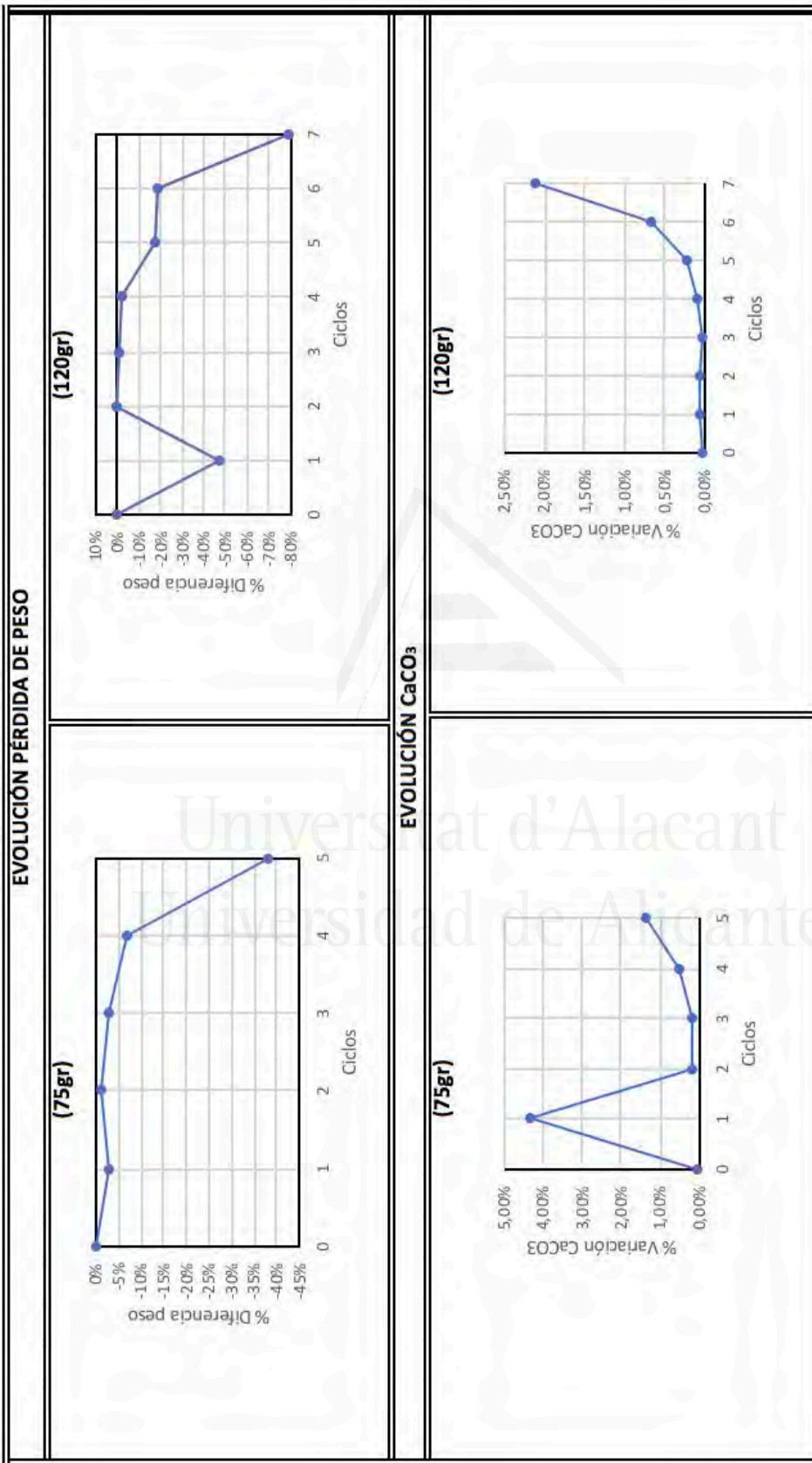
<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Guardamar del Segura (Alicante) (Comprobación)</p> <p><b>PAÍS:</b> España</p> <p><b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p style="text-align: center;"><b>UBICACIÓN</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>EVOLUCIÓN D<sub>50</sub></b></p> <p style="text-align: center;"><b>(60gr)</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>(75gr)</b></p> 

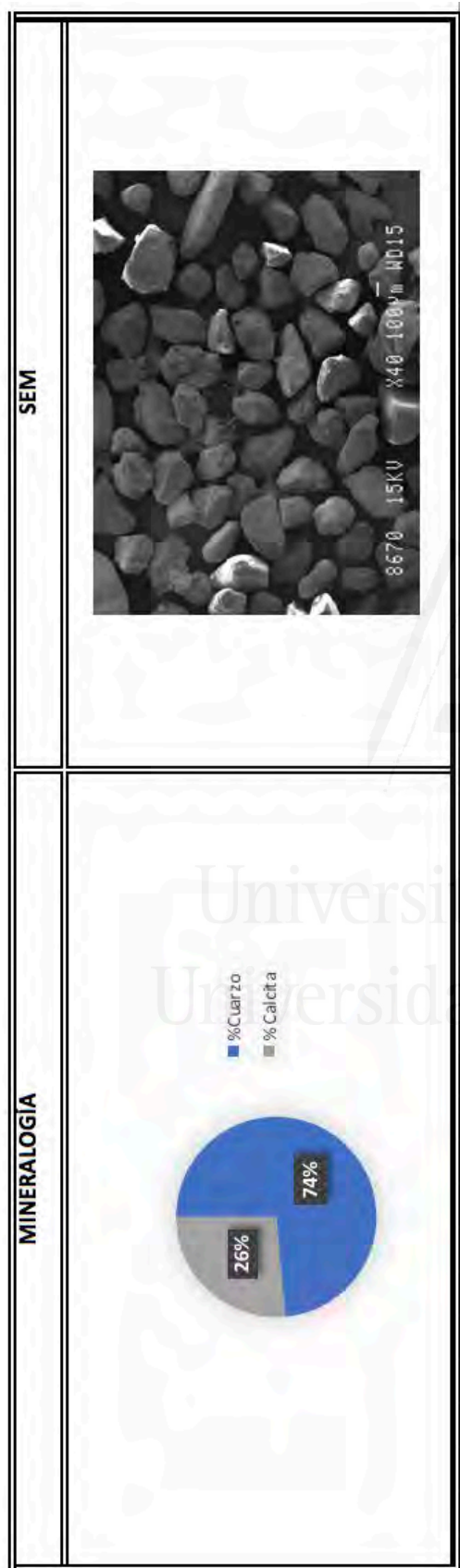




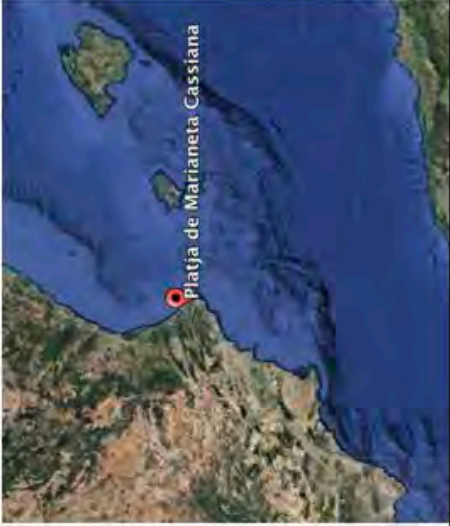
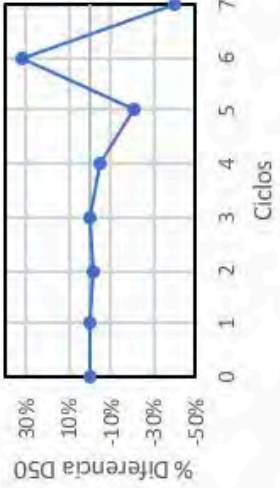
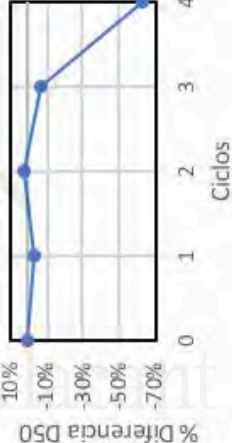
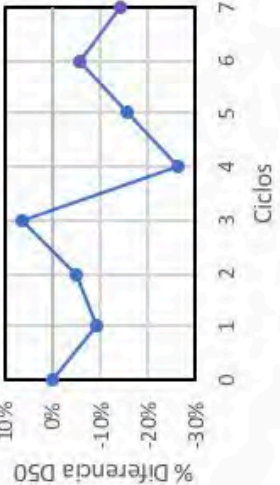
EVOLUCIÓN $\text{CaCO}_3$																			
<p><b>COMPROBACIÓN (75gr)</b></p> <table border="1"> <caption>COMPROBACIÓN (75gr) - % Variación <math>\text{CaCO}_3</math></caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Variación <math>\text{CaCO}_3</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0,00%</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2,00%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6,00%</td> </tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Variación $\text{CaCO}_3$	0	0,00%	1	2,00%	2	6,00%	<p><b>(100gr)</b></p> <table border="1"> <caption>(100gr) - % Variación <math>\text{CaCO}_3</math></caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Variación <math>\text{CaCO}_3</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0,00%</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1,00%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4,50%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4,50%</td> </tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Variación $\text{CaCO}_3$	0	0,00%	1	1,00%	2	4,50%	3	4,50%
Ciclos	% Variación $\text{CaCO}_3$																		
0	0,00%																		
1	2,00%																		
2	6,00%																		
Ciclos	% Variación $\text{CaCO}_3$																		
0	0,00%																		
1	1,00%																		
2	4,50%																		
3	4,50%																		
<p><b>MINERALOGÍA</b></p> <table border="1"> <caption>MINERALOGÍA</caption> <thead> <tr> <th>Mineral</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Cuarzo</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>% Calcita</td> <td>24%</td> </tr> <tr> <td>% Dolomita</td> <td>45%</td> </tr> </tbody> </table>	Mineral	%	% Cuarzo	31%	% Calcita	24%	% Dolomita	45%	<p><b>SEM</b></p>										
Mineral	%																		
% Cuarzo	31%																		
% Calcita	24%																		
% Dolomita	45%																		

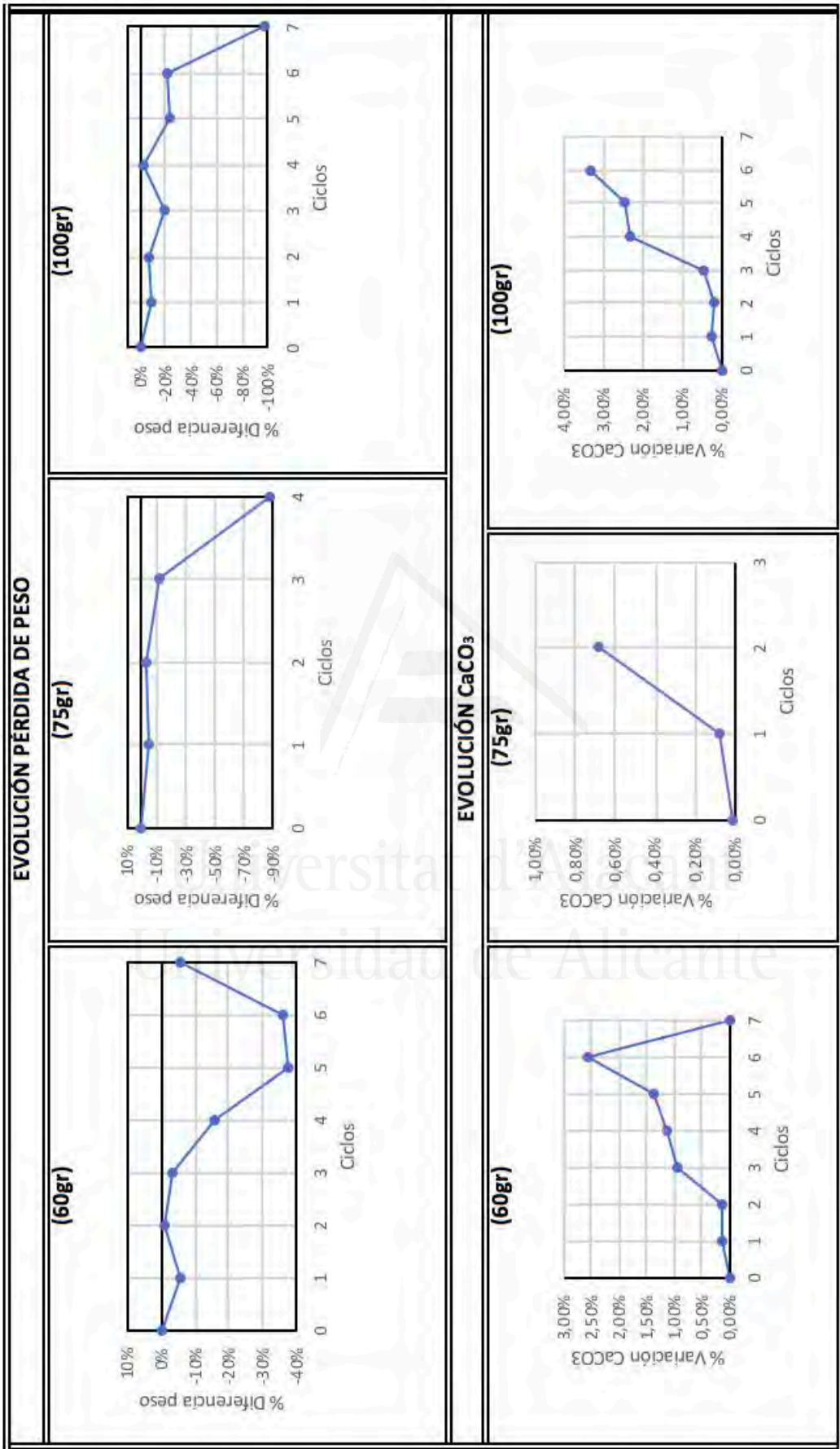
<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Levante (Benidorm)</p> <p><b>PAÍS:</b> España</p> <p><b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p> 																																
<p><b>(75gr)</b></p> <table border="1"> <caption>Evolution of % Diferencia D50 (75gr)</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-0.5%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-0.5%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-1.5%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-3.5%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D50	0	0%	1	0%	2	-0.5%	3	-0.5%	4	-1.5%	5	-3.5%	<p><b>(120gr)</b></p> <table border="1"> <caption>Evolution of % Diferencia D50 (120gr)</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-1.5%</td></tr> <tr><td>6</td><td>-1.5%</td></tr> <tr><td>7</td><td>-1.5%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D50	0	0%	1	0%	2	0%	3	0%	4	0%	5	-1.5%	6	-1.5%	7	-1.5%
Ciclos	% Diferencia D50																																
0	0%																																
1	0%																																
2	-0.5%																																
3	-0.5%																																
4	-1.5%																																
5	-3.5%																																
Ciclos	% Diferencia D50																																
0	0%																																
1	0%																																
2	0%																																
3	0%																																
4	0%																																
5	-1.5%																																
6	-1.5%																																
7	-1.5%																																

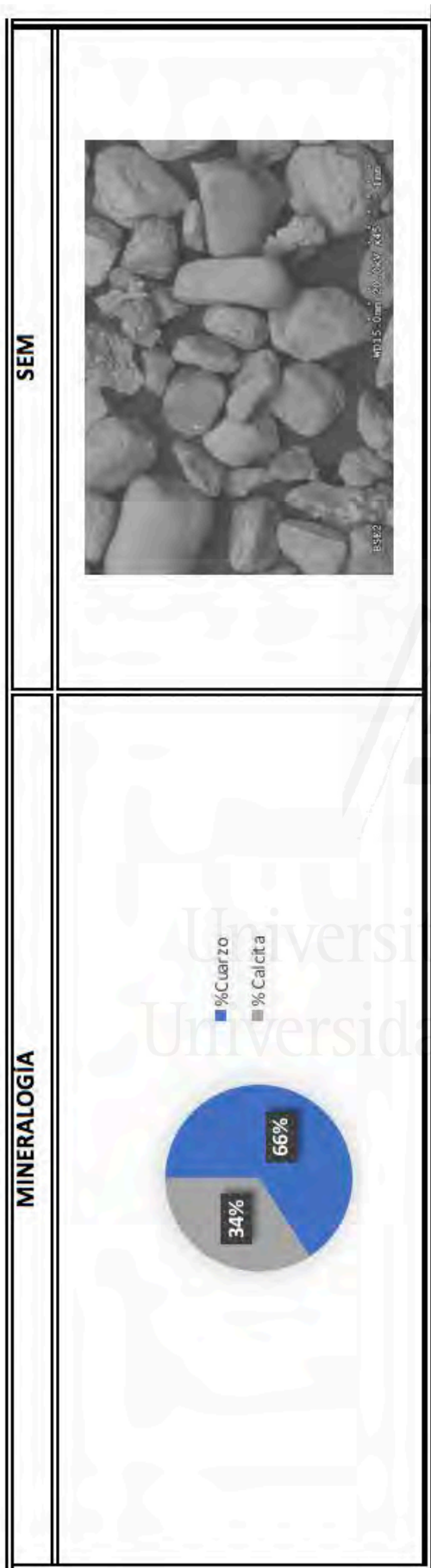



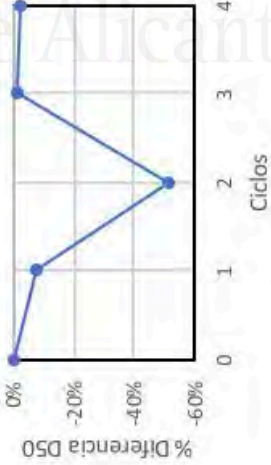
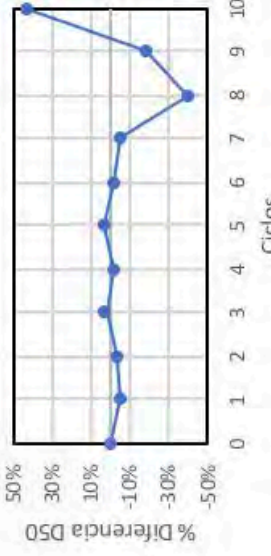


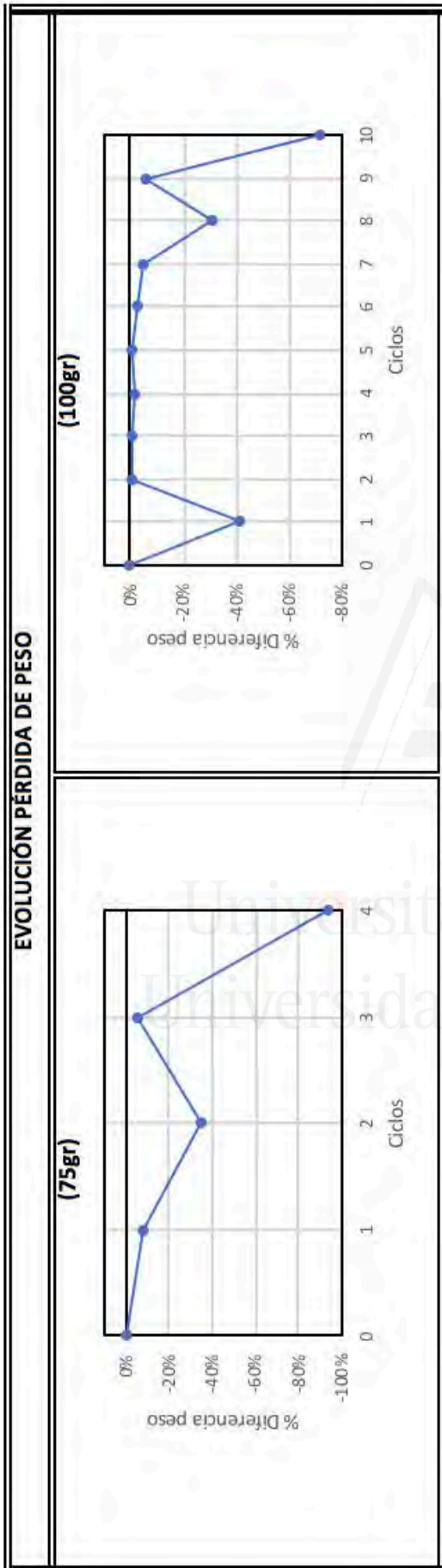


<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Marineta Casiana (Denia)</p> <p><b>PAÍS:</b> España</p> <p><b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p>  <p>Platja de Marianeta Cassiana</p>																																																	
<p><b>EVOLUCIÓN D50</b></p>																																																		
<p><b>(60gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for 60gr D50 Evolution</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>10%</td></tr> <tr><td>1</td><td>10%</td></tr> <tr><td>2</td><td>10%</td></tr> <tr><td>3</td><td>10%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>6</td><td>30%</td></tr> <tr><td>7</td><td>30%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D50	0	10%	1	10%	2	10%	3	10%	4	-10%	5	-10%	6	30%	7	30%	<p><b>(75gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for 75gr D50 Evolution</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-70%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>3</td><td>10%</td></tr> <tr><td>4</td><td>10%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D50	0	-70%	1	-10%	2	-10%	3	10%	4	10%	<p><b>(100gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for 100gr D50 Evolution</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>4</td><td>10%</td></tr> <tr><td>5</td><td>10%</td></tr> <tr><td>6</td><td>-20%</td></tr> <tr><td>7</td><td>-20%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D50	0	0%	1	0%	2	-10%	3	-10%	4	10%	5	10%	6	-20%	7	-20%
Ciclos	% Diferencia D50																																																	
0	10%																																																	
1	10%																																																	
2	10%																																																	
3	10%																																																	
4	-10%																																																	
5	-10%																																																	
6	30%																																																	
7	30%																																																	
Ciclos	% Diferencia D50																																																	
0	-70%																																																	
1	-10%																																																	
2	-10%																																																	
3	10%																																																	
4	10%																																																	
Ciclos	% Diferencia D50																																																	
0	0%																																																	
1	0%																																																	
2	-10%																																																	
3	-10%																																																	
4	10%																																																	
5	10%																																																	
6	-20%																																																	
7	-20%																																																	



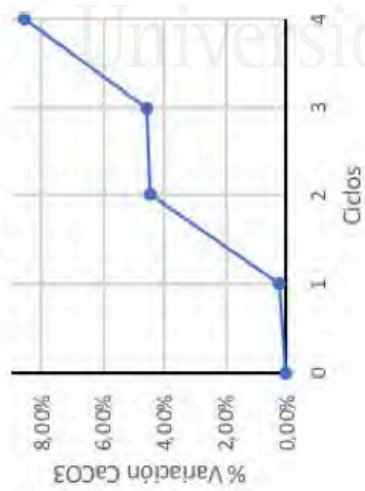


<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Molinos y palmeras (Denia)</p> <p><b>PAÍS:</b> España</p> <p><b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p> 																																				
<p><b>EVOLUCIÓN D<sub>50</sub></b></p> <p><b>(75gr)</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-1.5%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-4.5%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-1.5%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	-1.5%	2	-4.5%	3	-1.5%	4	0%	<p><b>(100gr)</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>0%</td></tr> <tr><td>6</td><td>0%</td></tr> <tr><td>7</td><td>0%</td></tr> <tr><td>8</td><td>-3.5%</td></tr> <tr><td>9</td><td>0%</td></tr> <tr><td>10</td><td>0%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	0%	2	0%	3	0%	4	0%	5	0%	6	0%	7	0%	8	-3.5%	9	0%	10	0%
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																				
0	0%																																				
1	-1.5%																																				
2	-4.5%																																				
3	-1.5%																																				
4	0%																																				
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																				
0	0%																																				
1	0%																																				
2	0%																																				
3	0%																																				
4	0%																																				
5	0%																																				
6	0%																																				
7	0%																																				
8	-3.5%																																				
9	0%																																				
10	0%																																				

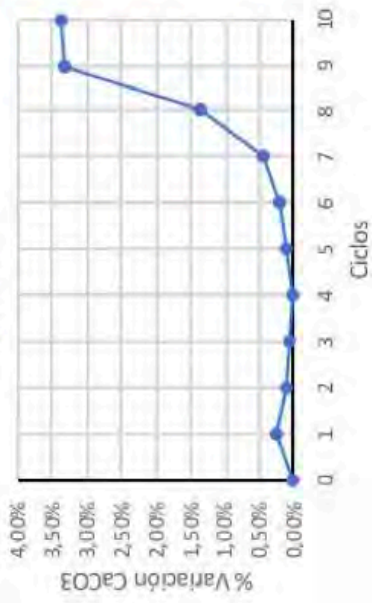


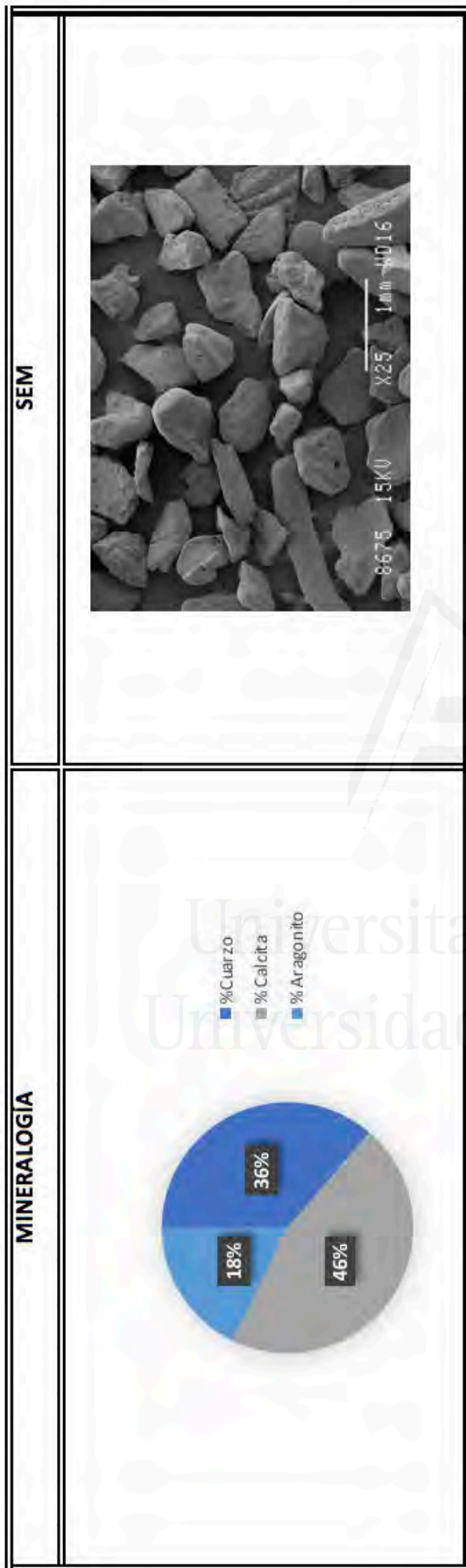
EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>

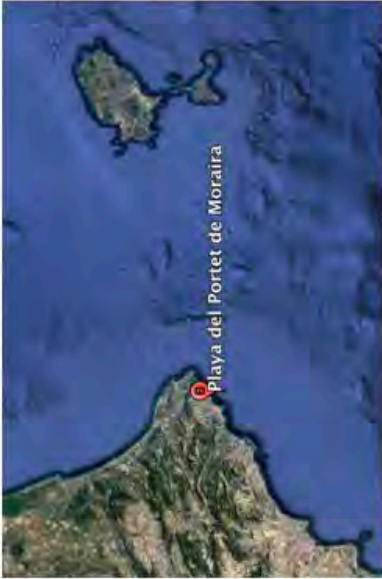
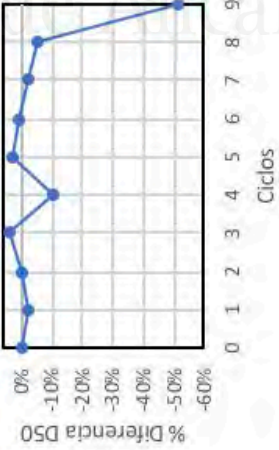
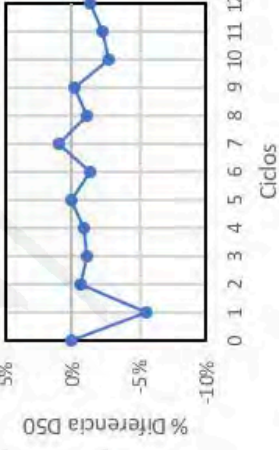
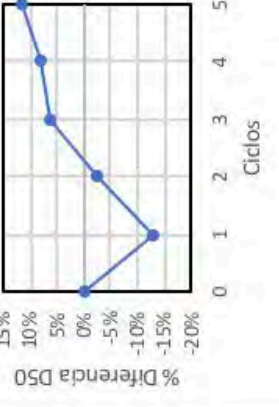
(75gr)



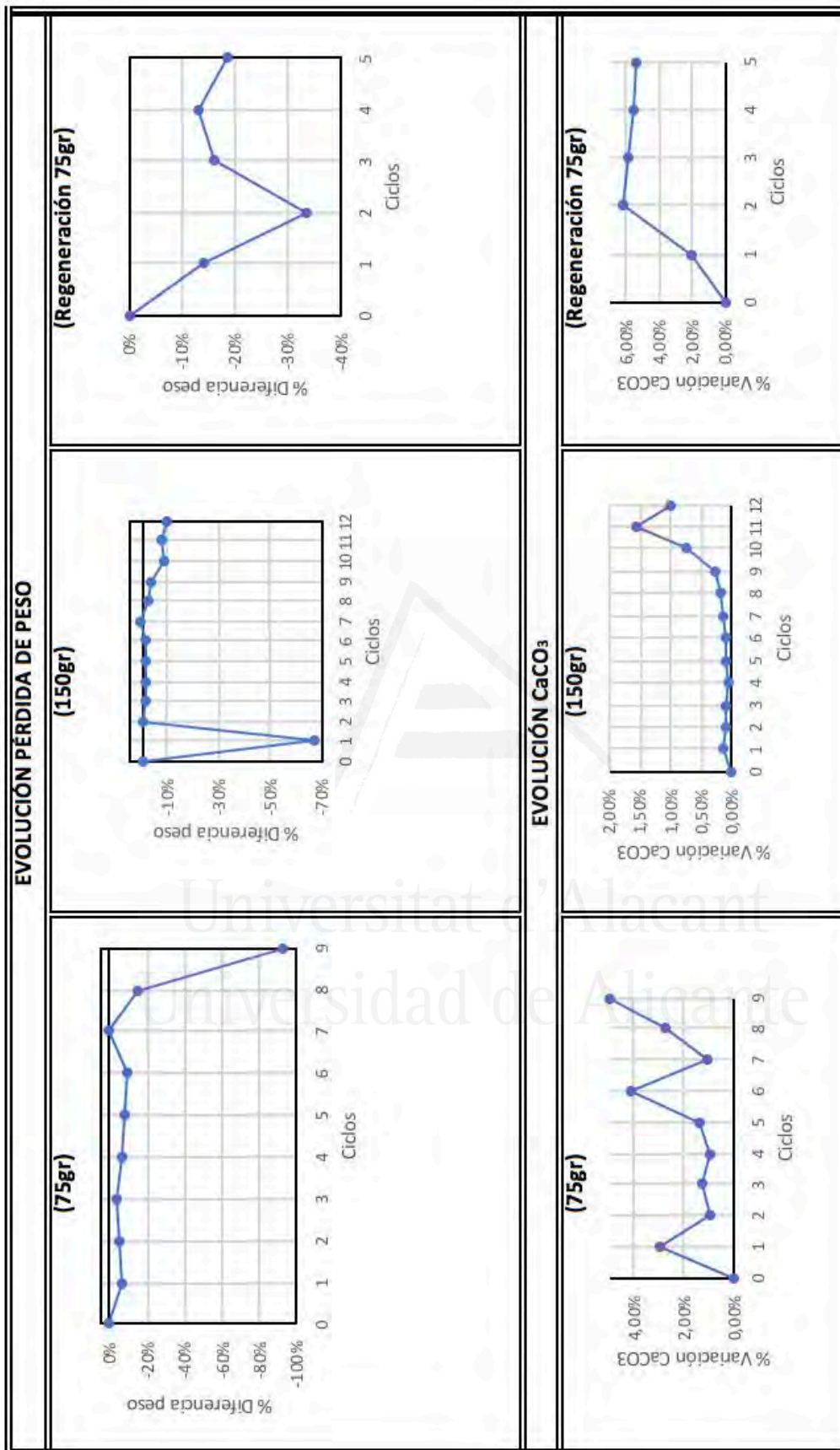
(100gr)




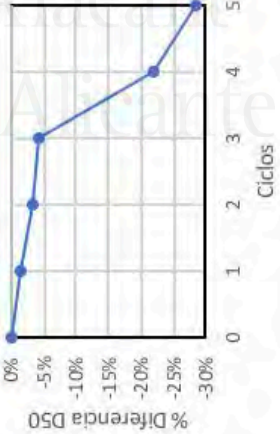
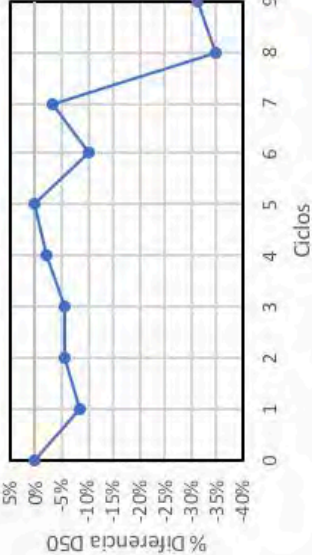


<p><b>DENOMINACIÓN:</b> Portet de Moraira (Alicante)  <b>PAÍS:</b> España  <b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar Mediterráneo</p>	<p style="text-align: center;"><b>UBICACIÓN</b></p> 																																																																	
<p><b>EVOLUCIÓN D<sub>50</sub></b></p>																																																																		
<p><b>(75gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Evolution of D<sub>50</sub> (75gr)</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-15%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-20%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-15%</td></tr> <tr><td>6</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>7</td><td>-15%</td></tr> <tr><td>8</td><td>-20%</td></tr> <tr><td>9</td><td>-25%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	-10%	2	-15%	3	-10%	4	-20%	5	-15%	6	-10%	7	-15%	8	-20%	9	-25%	<p><b>(150gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Evolution of D<sub>50</sub> (150gr)</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>0%</td></tr> <tr><td>6</td><td>0%</td></tr> <tr><td>7</td><td>0%</td></tr> <tr><td>8</td><td>0%</td></tr> <tr><td>9</td><td>0%</td></tr> <tr><td>10</td><td>0%</td></tr> <tr><td>11</td><td>0%</td></tr> <tr><td>12</td><td>0%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	-5%	2	0%	3	0%	4	0%	5	0%	6	0%	7	0%	8	0%	9	0%	10	0%	11	0%	12	0%	<p><b>(Regeneración 75gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Evolution of D<sub>50</sub> (Regeneración 75gr)</caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>5%</td></tr> <tr><td>5</td><td>10%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	-10%	2	-5%	3	0%	4	5%	5	10%
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																																																	
0	0%																																																																	
1	-10%																																																																	
2	-15%																																																																	
3	-10%																																																																	
4	-20%																																																																	
5	-15%																																																																	
6	-10%																																																																	
7	-15%																																																																	
8	-20%																																																																	
9	-25%																																																																	
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																																																	
0	0%																																																																	
1	-5%																																																																	
2	0%																																																																	
3	0%																																																																	
4	0%																																																																	
5	0%																																																																	
6	0%																																																																	
7	0%																																																																	
8	0%																																																																	
9	0%																																																																	
10	0%																																																																	
11	0%																																																																	
12	0%																																																																	
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																																																	
0	0%																																																																	
1	-10%																																																																	
2	-5%																																																																	
3	0%																																																																	
4	5%																																																																	
5	10%																																																																	



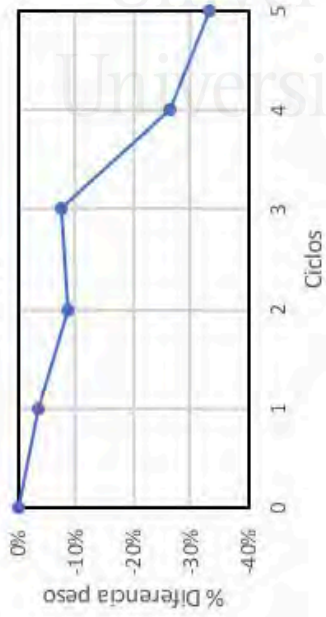


MINERALOGIA		SEM	
(75gr y 150gr)	<p>                     % Cuarzo                      % Calcita                      % Aragonito                 </p> <p>11% 26% 64%</p>	(75gr y 150gr)	
Regeneración (75gr)	<p>                     % Cuarzo                      % Calcita                 </p> <p>17% 83%</p>	Regeneración (75gr)	

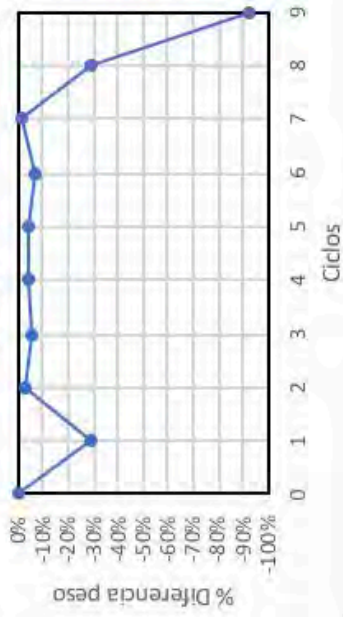
<p><b>DENOMINACIÓN:</b> San Juan (Alicante)</p> <p><b>PAÍS:</b> España</p> <p><b>AGUAS QUE LA BAÑAN:</b> Mar mediterráneo</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p> 																																				
<p><b>EVOLUCIÓN D<sub>50</sub></b></p>																																					
<p><b>(75gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (75gr) Evolution D<sub>50</sub></caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2.5%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-4.5%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-7.5%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-12.5%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-17.5%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	-2.5%	2	-4.5%	3	-7.5%	4	-12.5%	5	-17.5%	<p><b>(100gr)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for (100gr) Evolution D<sub>50</sub></caption> <thead> <tr> <th>Ciclos</th> <th>% Diferencia D<sub>50</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2.5%</td></tr> <tr><td>2</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>3</td><td>-7.5%</td></tr> <tr><td>4</td><td>-10%</td></tr> <tr><td>5</td><td>-12.5%</td></tr> <tr><td>6</td><td>-15%</td></tr> <tr><td>7</td><td>-17.5%</td></tr> <tr><td>8</td><td>-20%</td></tr> <tr><td>9</td><td>-22.5%</td></tr> </tbody> </table>	Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>	0	0%	1	-2.5%	2	-5%	3	-7.5%	4	-10%	5	-12.5%	6	-15%	7	-17.5%	8	-20%	9	-22.5%
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																				
0	0%																																				
1	-2.5%																																				
2	-4.5%																																				
3	-7.5%																																				
4	-12.5%																																				
5	-17.5%																																				
Ciclos	% Diferencia D <sub>50</sub>																																				
0	0%																																				
1	-2.5%																																				
2	-5%																																				
3	-7.5%																																				
4	-10%																																				
5	-12.5%																																				
6	-15%																																				
7	-17.5%																																				
8	-20%																																				
9	-22.5%																																				

**EVOLUCIÓN PÉRDIDA DE PESO**

**(75gr)**

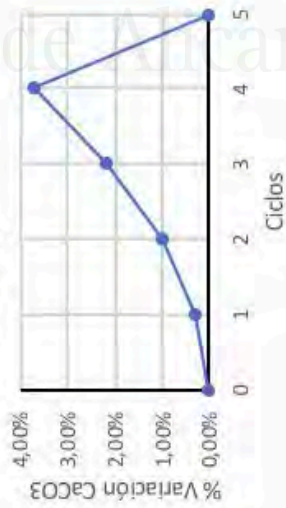


**(100gr)**

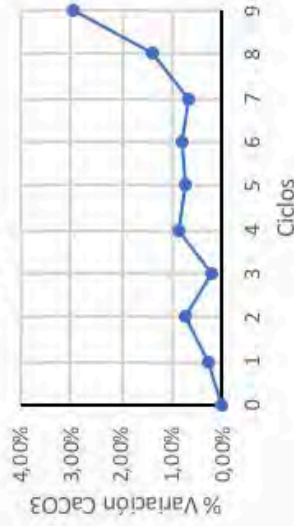



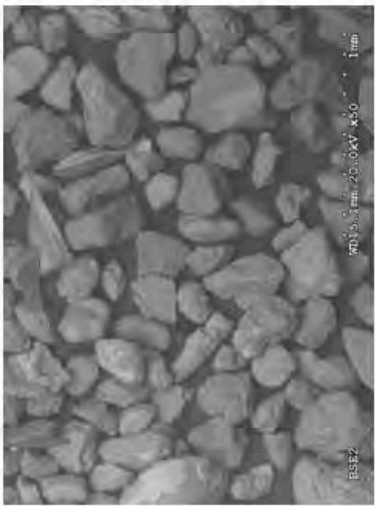
**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**

**(75gr)**



**(100gr)**



<b>MINERALOGIA</b>	<b>SEM</b>						
 <p>A pie chart illustrating the mineral composition. The chart is divided into two segments: a larger blue segment representing 64% labeled '% Cuarzo' and a smaller grey segment representing 36% labeled '% Calcita'. A legend above the chart identifies the colors: a blue square for '% Cuarzo' and a grey square for '% Calcita'.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Mineral</th><th>Percentage</th></tr></thead><tbody><tr><td>% Cuarzo</td><td>64%</td></tr><tr><td>% Calcita</td><td>36%</td></tr></tbody></table>	Mineral	Percentage	% Cuarzo	64%	% Calcita	36%	 <p>Scanning Electron Microscopy (SEM) image showing a dense field of small, angular mineral grains. The grains are dark grey and appear to be composed of quartz and calcite. Technical details in the bottom right corner of the image include: 'BSE2', 'x30', '20.0kV', '1mm', and '7019.0um x30.0kV x30 1mm'.</p>
Mineral	Percentage						
% Cuarzo	64%						
% Calcita	36%						

**DENOMINACIÓN:** Aguamarina (Orihuela)

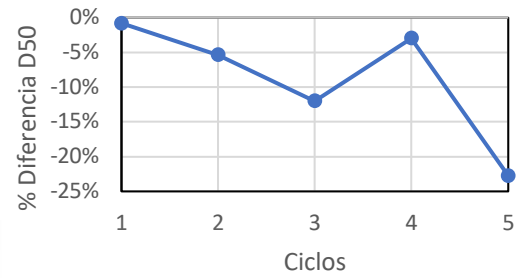
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

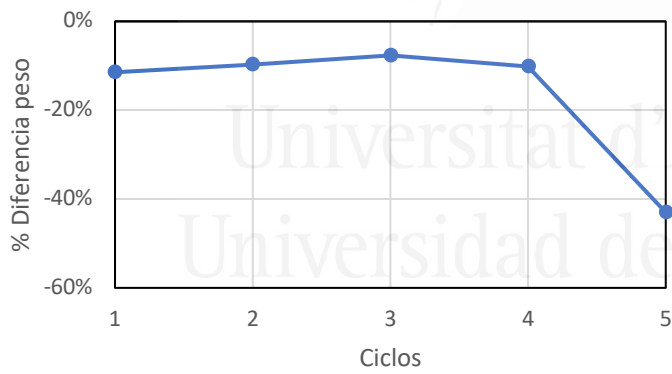
**UBICACIÓN**



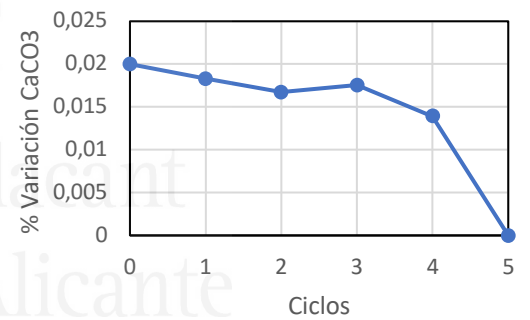
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



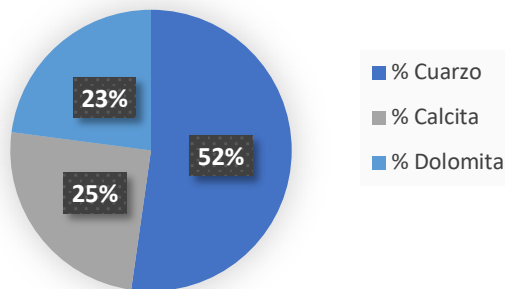
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**DENOMINACIÓN:** Bonnou (Villajoyosa)

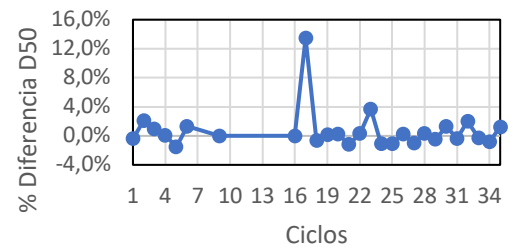
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

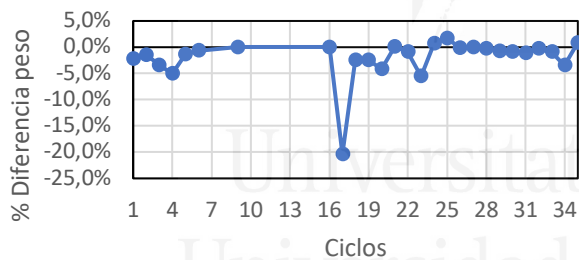
**UBICACIÓN**



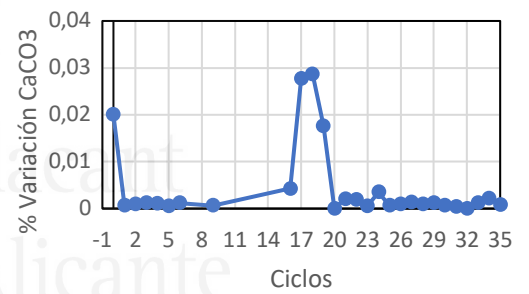
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



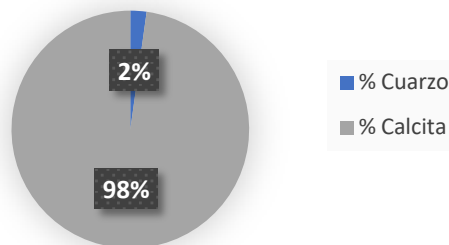
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**DENOMINACIÓN:** Carrer de Mar (Campello)

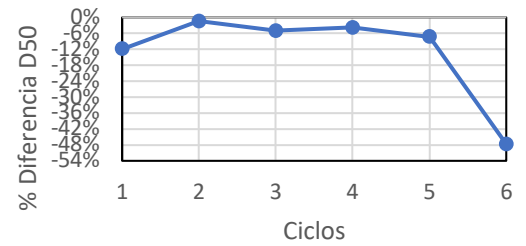
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

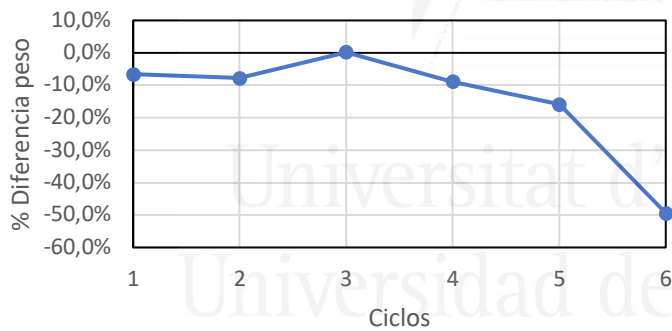
**UBICACIÓN**



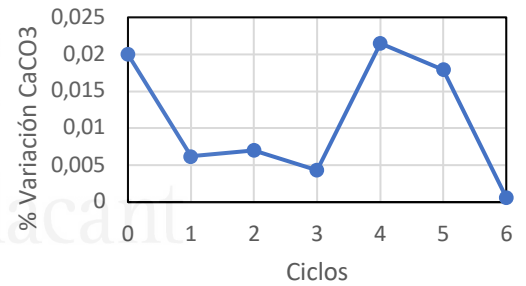
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



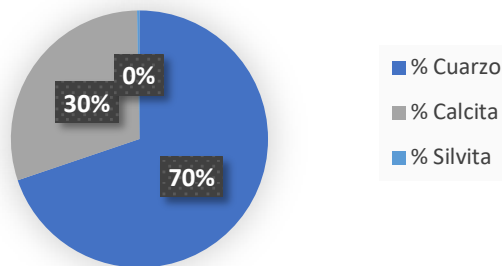
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



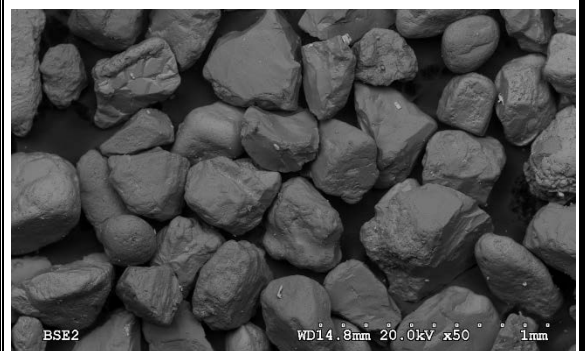
**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**SEM**





**DENOMINACIÓN:** El cura (Torrevieja)

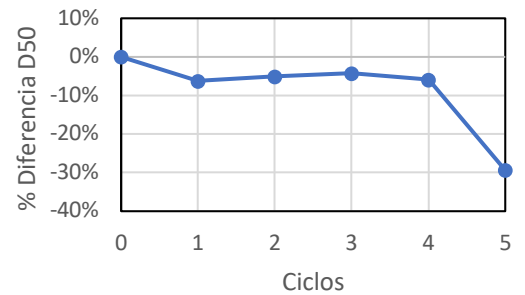
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

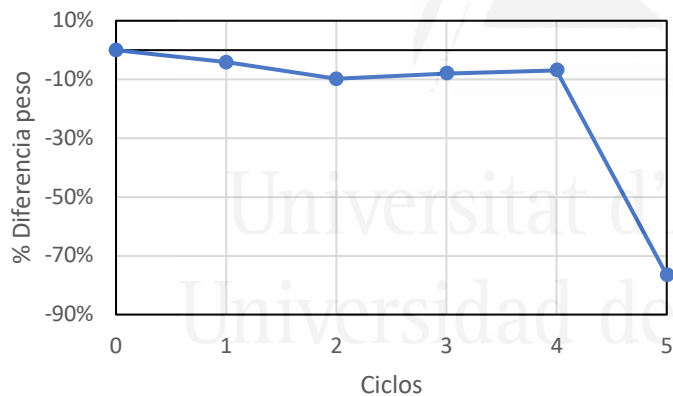
**UBICACIÓN**



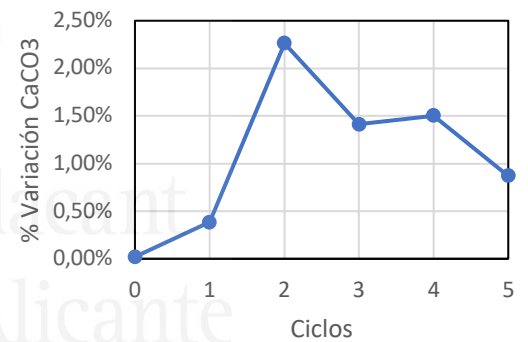
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



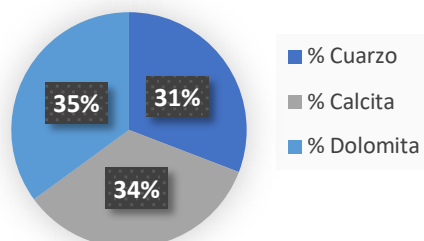
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**DENOMINACIÓN:** El playazo de Rodalquilar (Almeria)

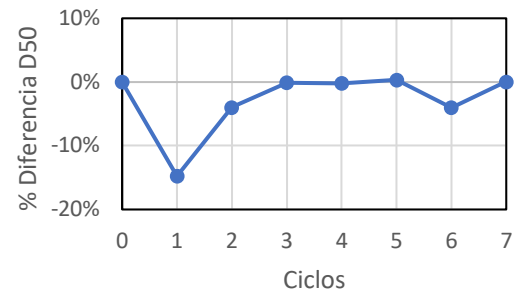
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

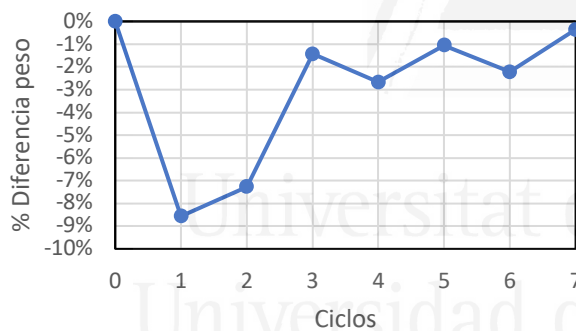
### UBICACIÓN



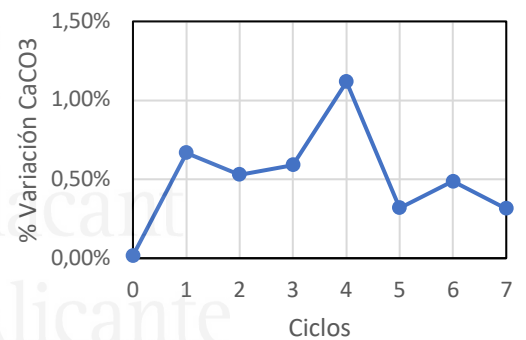
### EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>



### EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO



### EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>



**DENOMINACIÓN:** La isleta del moro (Almería)

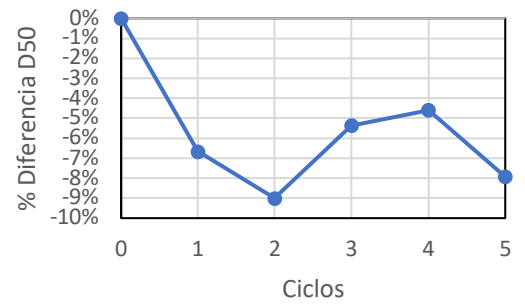
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

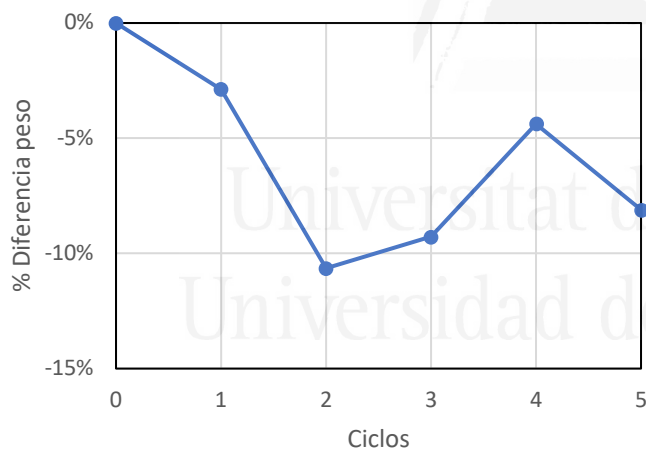
**UBICACIÓN**



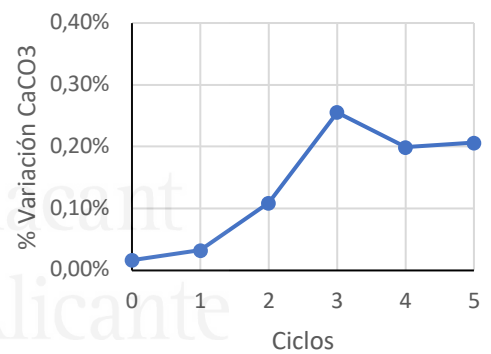
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Levante (Salou)

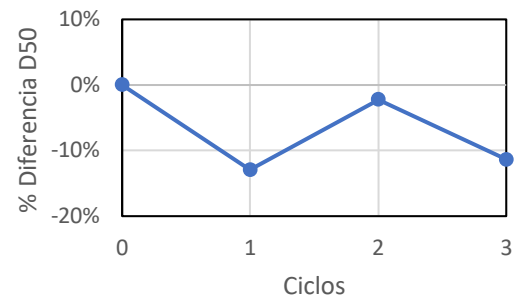
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

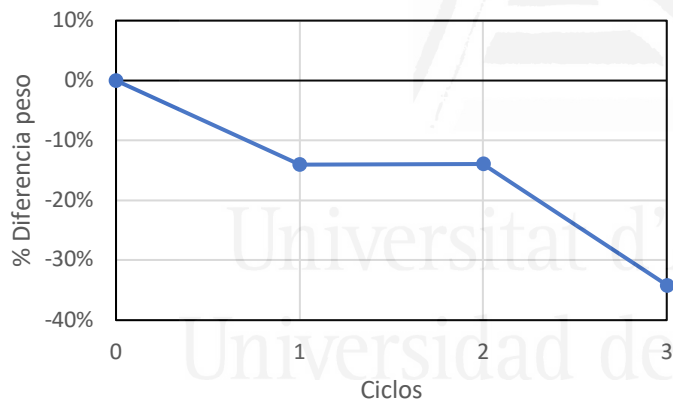
**UBICACIÓN**



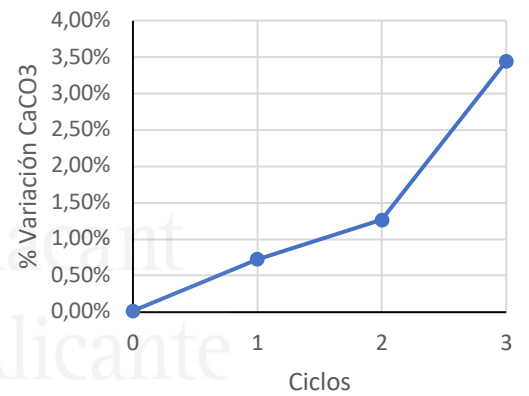
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Playa lisa (Santa Pola)

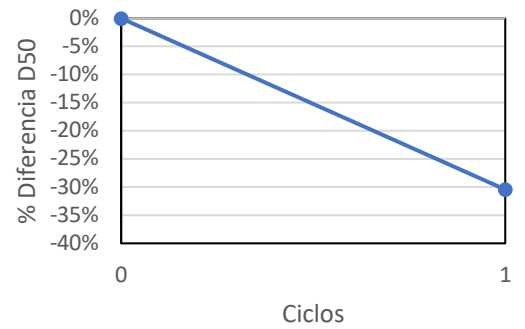
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

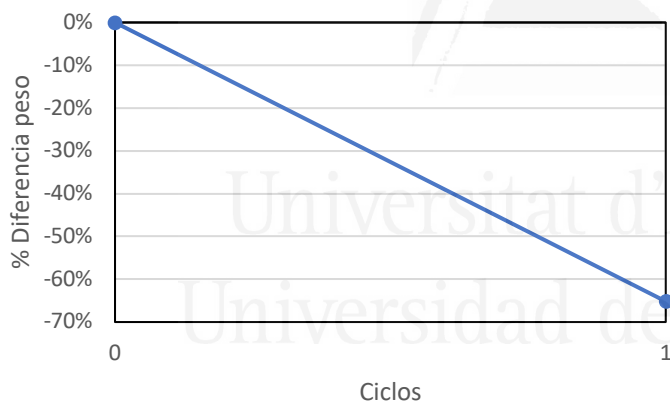
**UBICACIÓN**



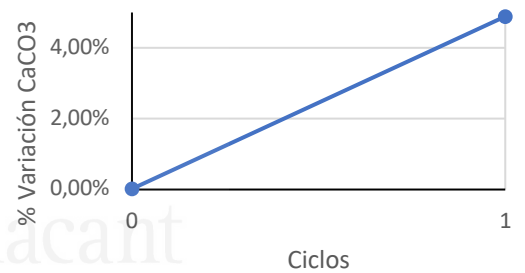
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



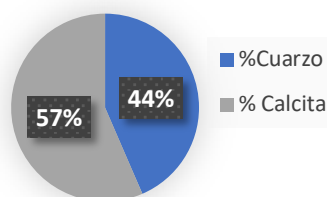
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**DENOMINACIÓN:** Albir (Alicante)

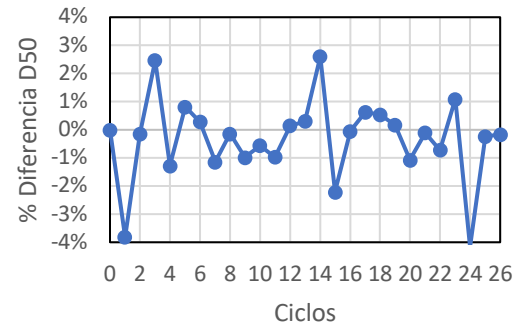
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

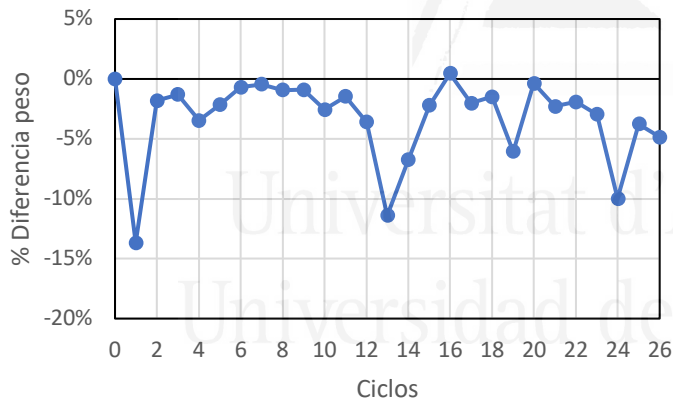
**UBICACIÓN**



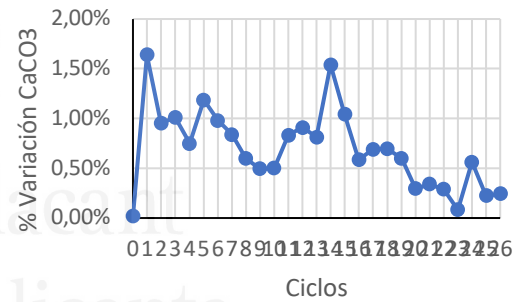
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



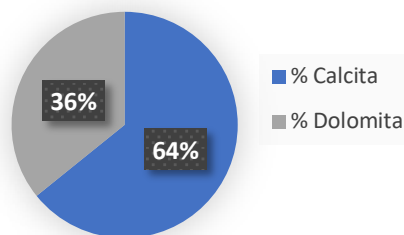
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**DENOMINACIÓN:** Caló des Moró (Mallorca)

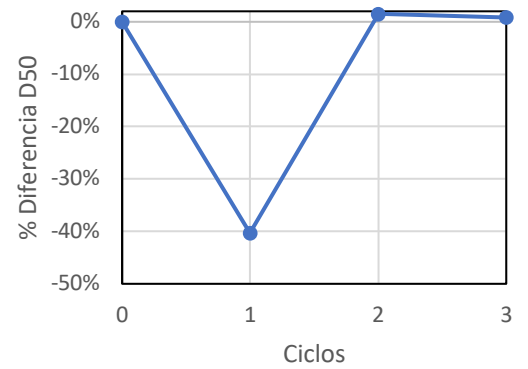
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

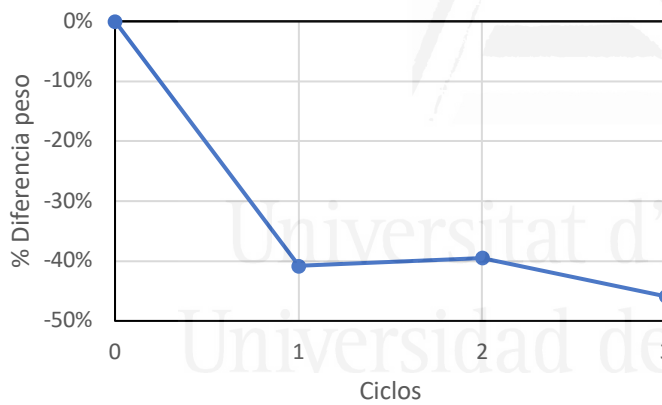
**UBICACIÓN**



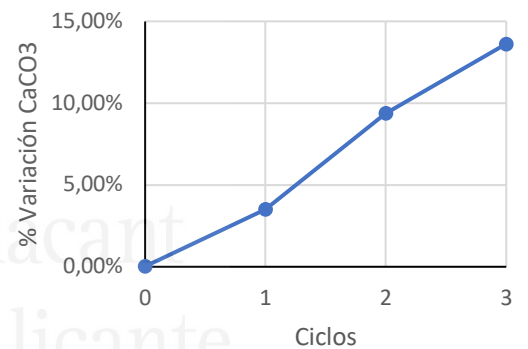
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



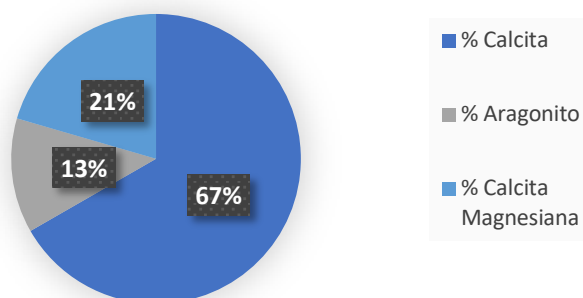
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**DENOMINACIÓN:** Playa Centro (Benidorm)

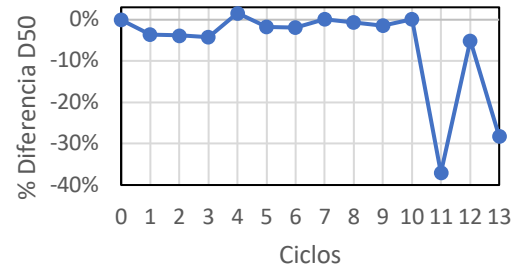
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

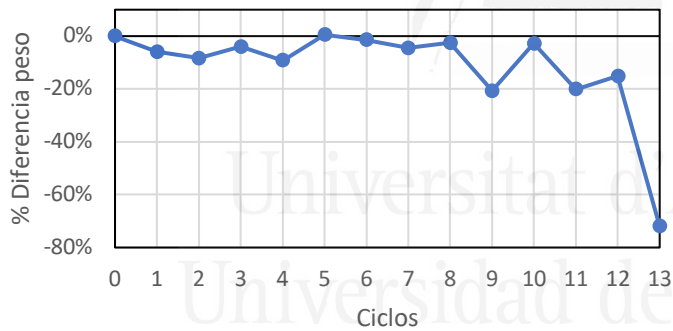
**UBICACIÓN**



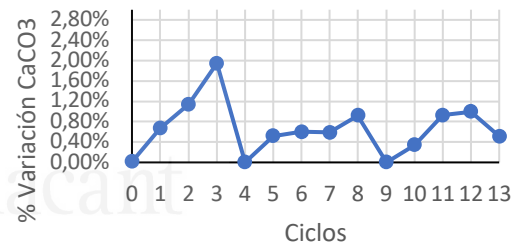
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



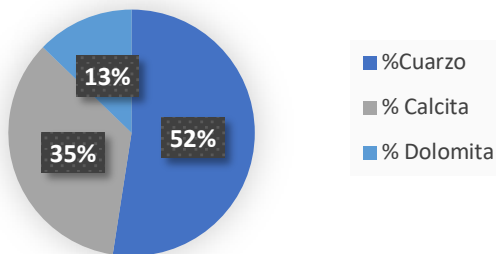
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



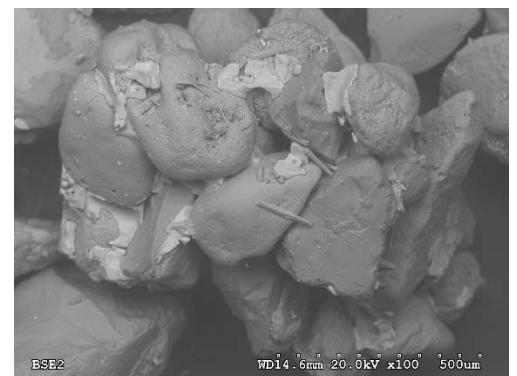
**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**SEM**





**DENOMINACIÓN:** S'amarador (Mallorca)

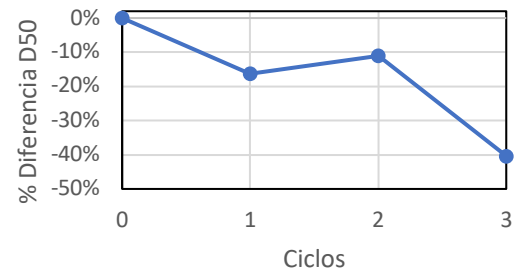
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

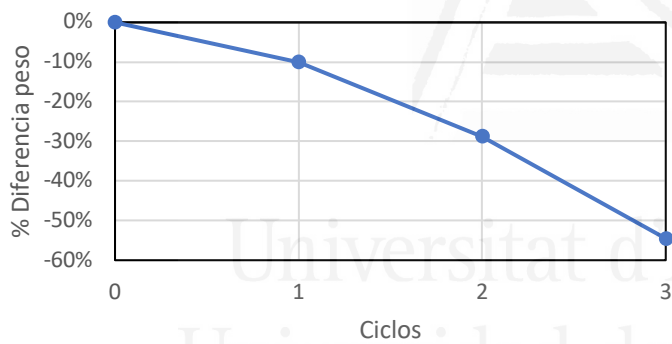
**UBICACIÓN**



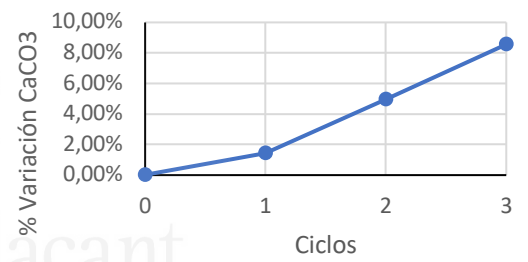
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



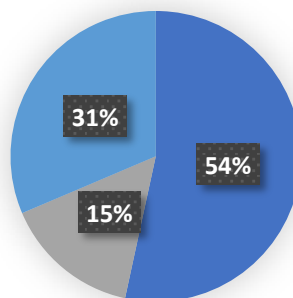
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



- % Calcita
- % Aragonito
- % Calcita Magnésiana

**DENOMINACIÓN:** Arenal (calpe)

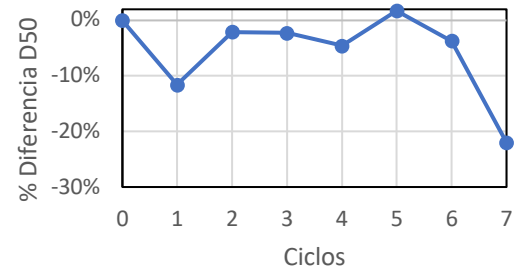
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

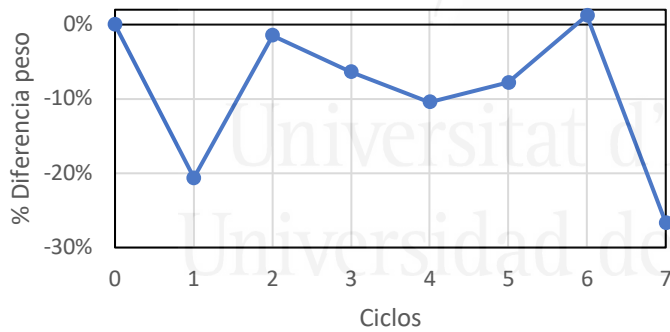
**UBICACIÓN**



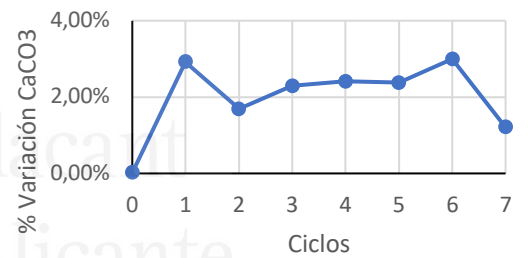
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



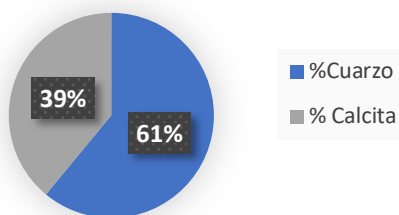
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



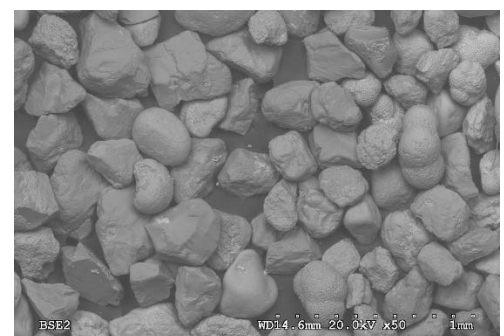
**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**SEM**



**DENOMINACIÓN:** Ensenada del esparto (Murcia)

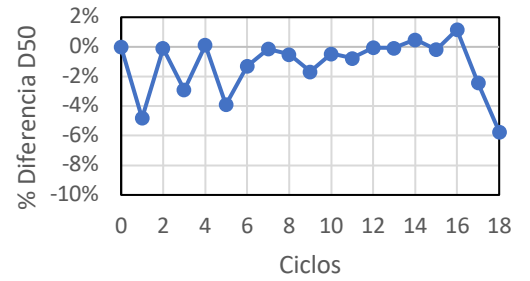
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

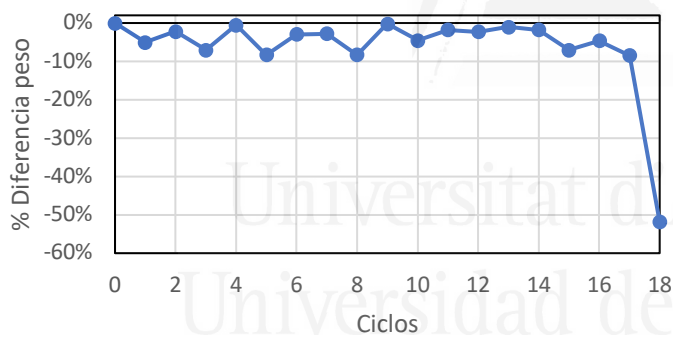
**UBICACIÓN**



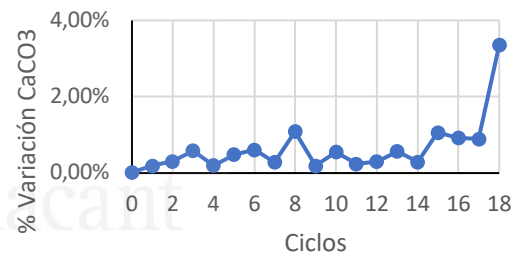
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** San José (Níjar)

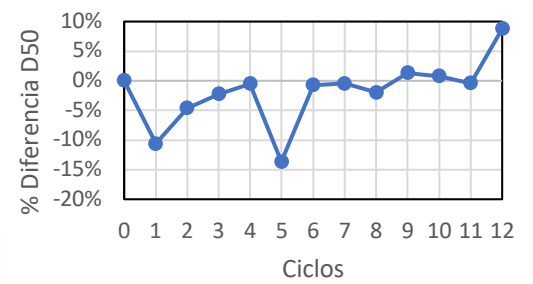
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

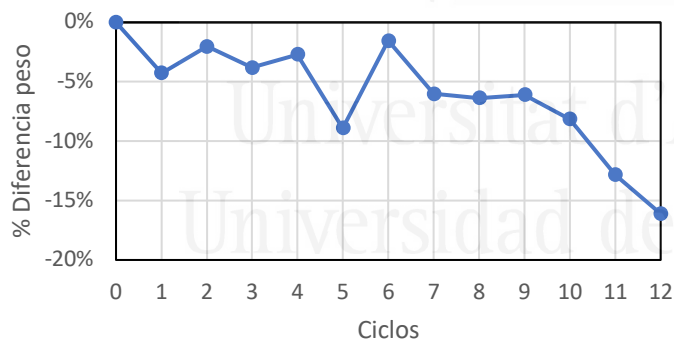
**UBICACIÓN**



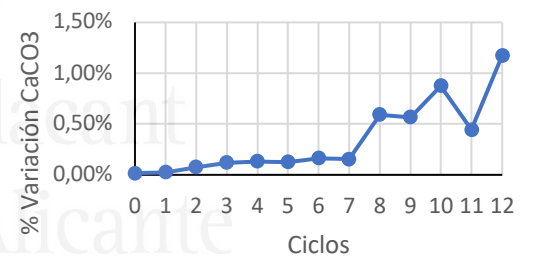
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Peñíscola

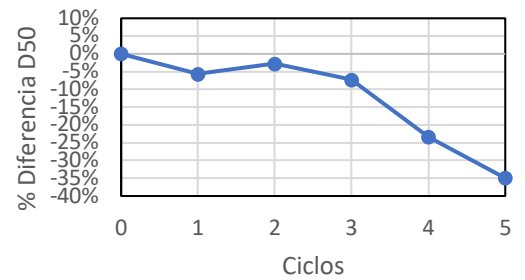
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

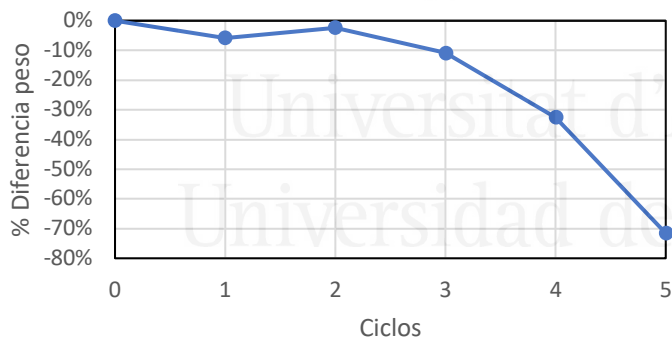
**UBICACIÓN**



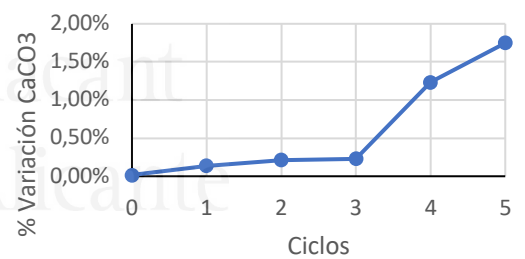
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Playa de Riells (Gerona)

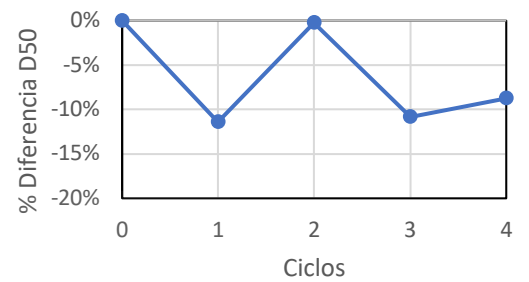
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Mediterráneo

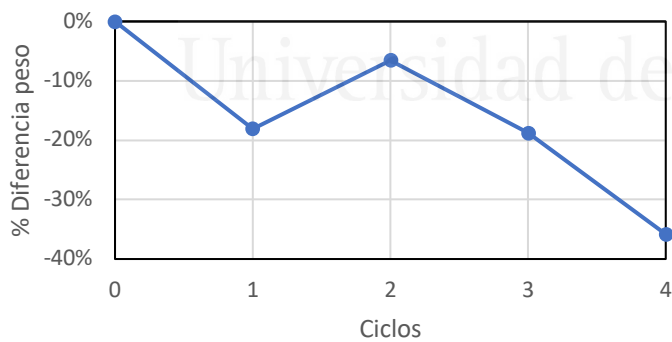
**UBICACIÓN**



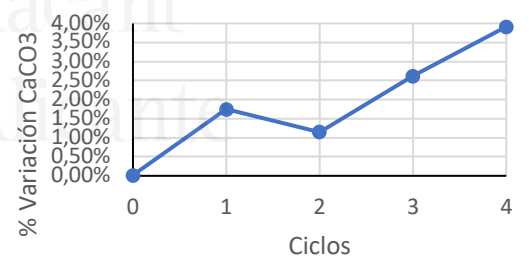
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**10.2.PLAYAS BAÑADAS POR EL MAR CANTÁBRICO**

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



**DENOMINACIÓN:** Canallave (Asturias)

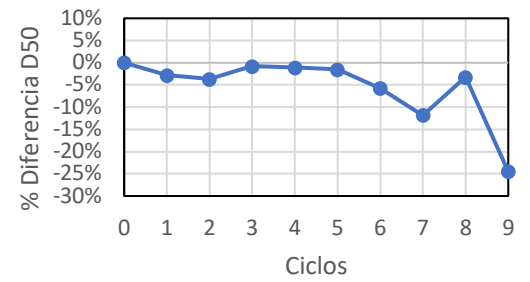
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Cantábrico

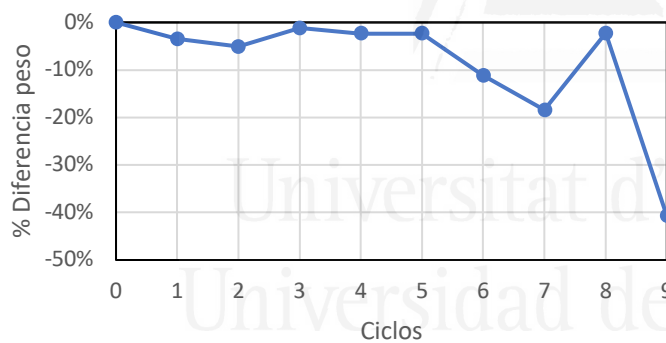
**UBICACIÓN**



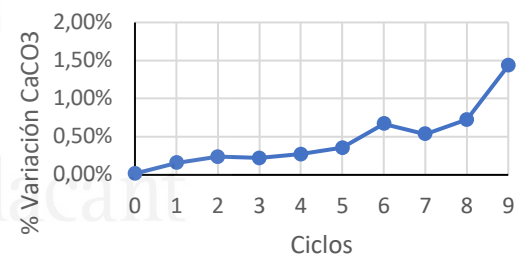
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Rodiles (Asturias)

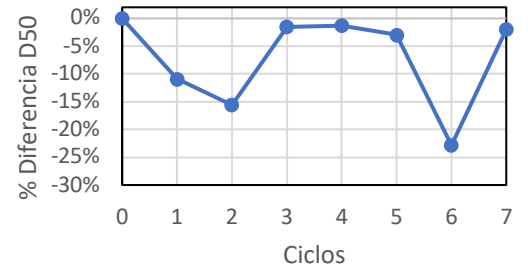
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Cantábrico

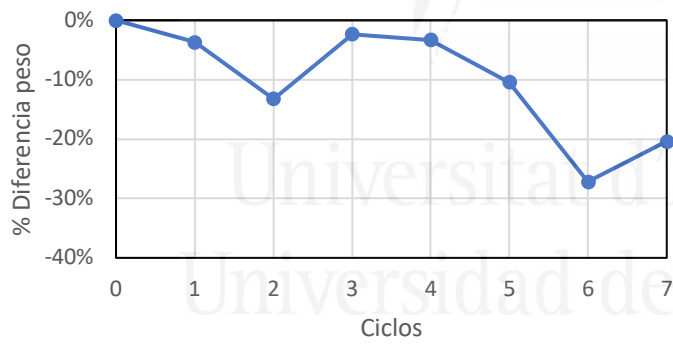
**UBICACIÓN**



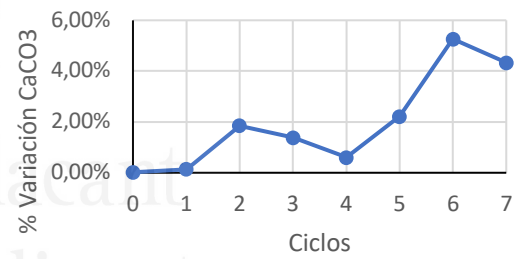
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Bizkaia

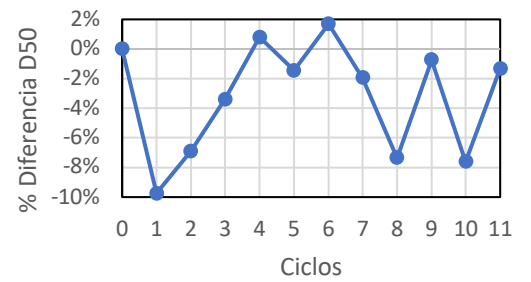
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Cantábrico

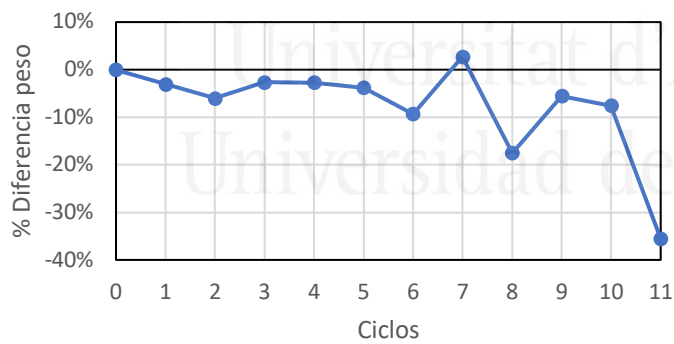
**UBICACIÓN**



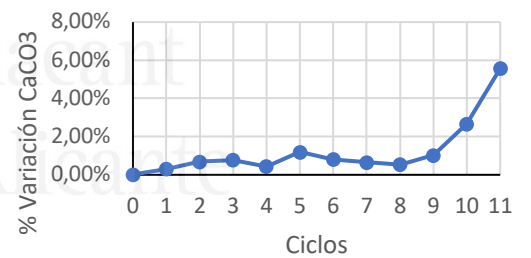
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Ribadesella (Asturias)

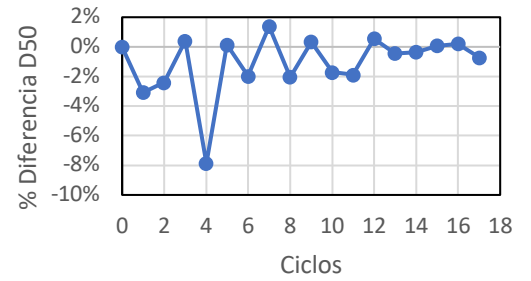
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Cantábrico

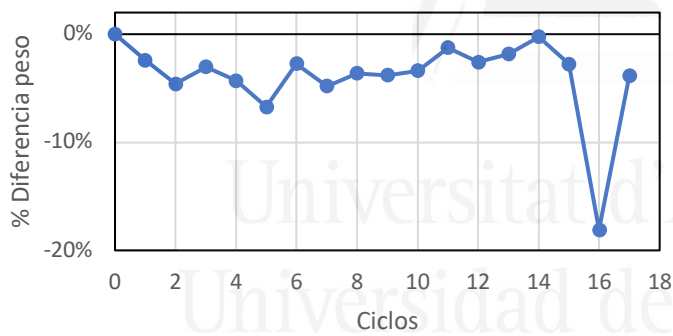
**UBICACIÓN**



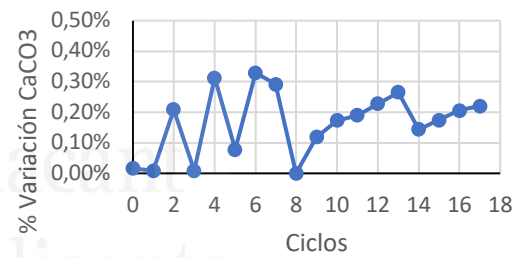
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**DENOMINACIÓN:** Comillas (Cantabria)

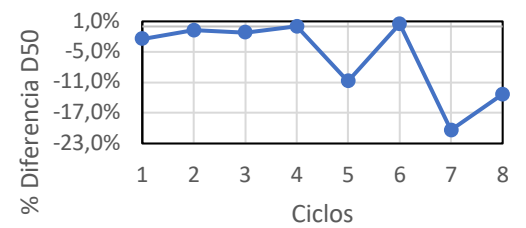
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Cantábrico

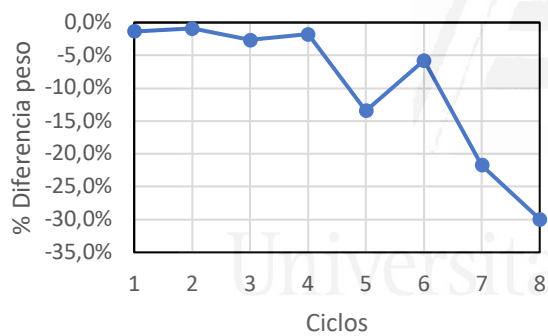
**UBICACIÓN**



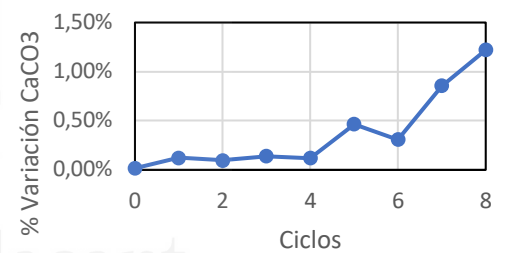
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



### 10.3.PLAYAS BAÑADAS POR EL OCEANO ATLÁNTICO

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**DENOMINACIÓN:** La caleta (Cádiz)

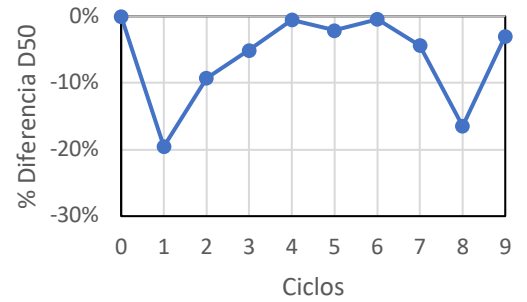
**PAÍS:** España

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Océano Atlántico

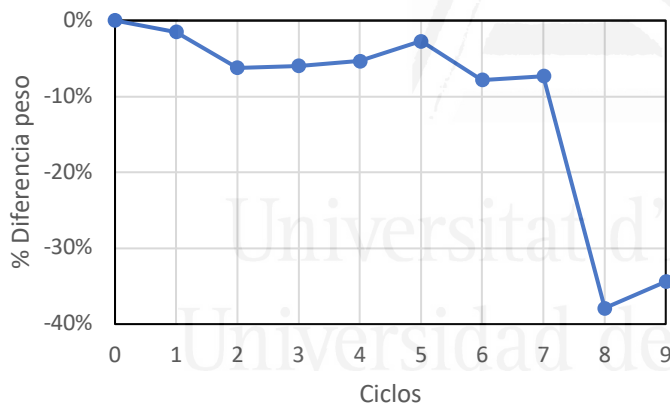
**UBICACIÓN**



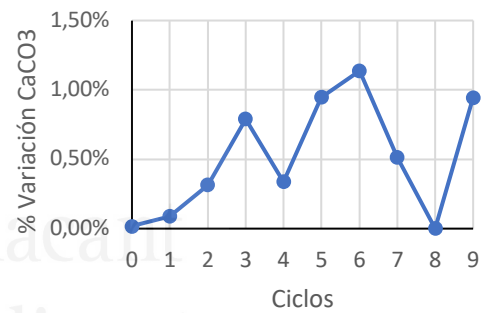
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



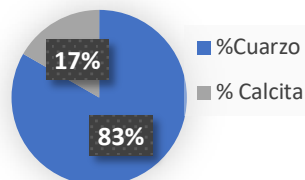
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



## 10.4.PLAYAS BAÑADAS POR MAR ADRIÁTICO

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



**DENOMINACIÓN:** Sottomarina

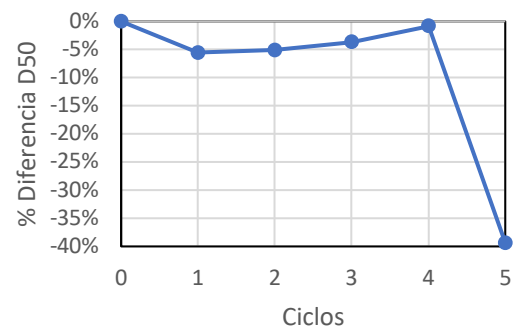
**PAÍS:** Italia

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Adriático

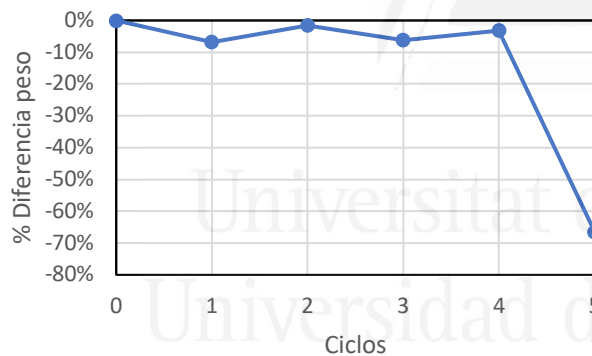
**UBICACIÓN**



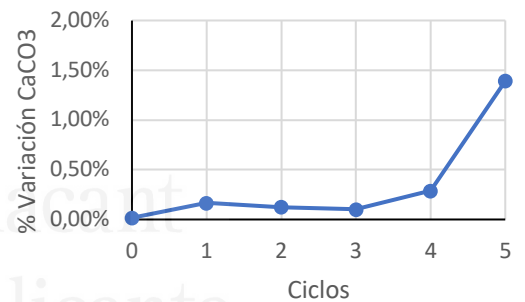
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



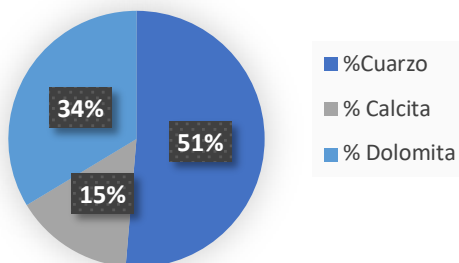
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



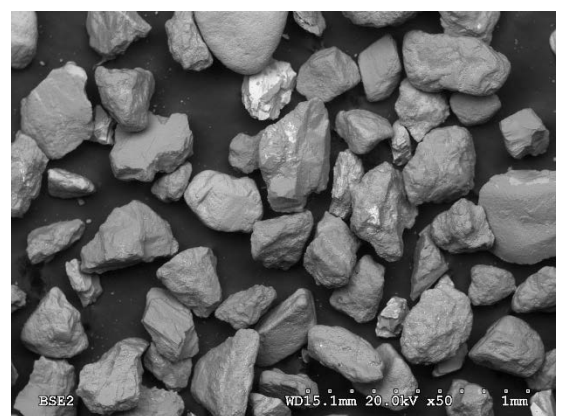
**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**SEM**



**10.5.PLAYAS BAÑADAS POR EL MAR CARIBE**

---



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**DENOMINACIÓN:** Acapulco

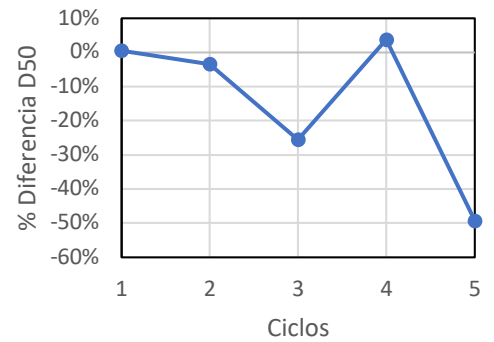
**PAÍS:** México

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Caribe

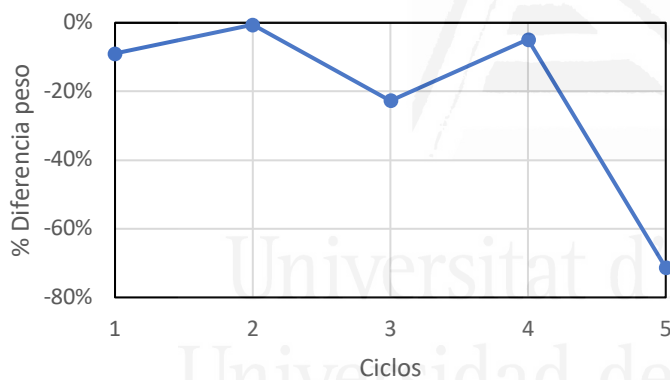
**UBICACIÓN**



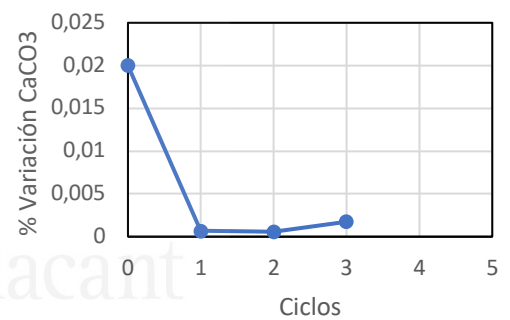
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



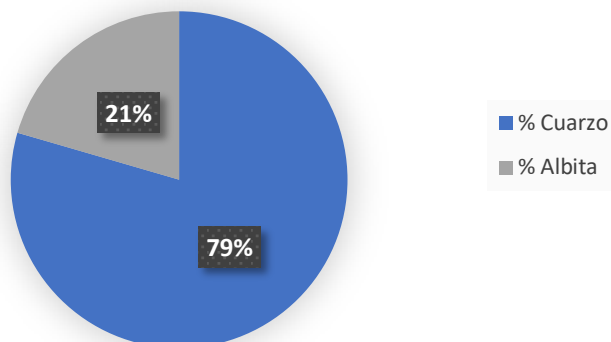
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**

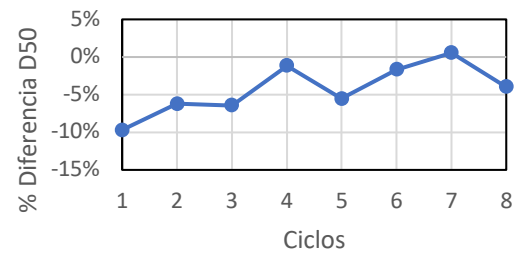


**DENOMINACIÓN:** Bávaro  
**PAÍS:** República Dominicana  
**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Caribe

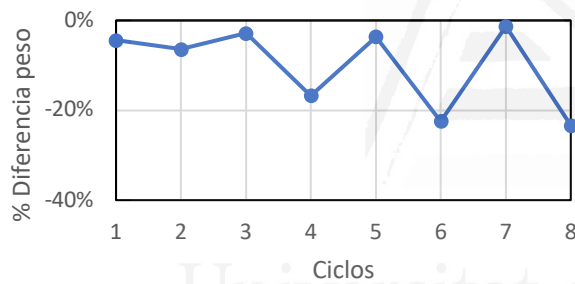
**UBICACIÓN**



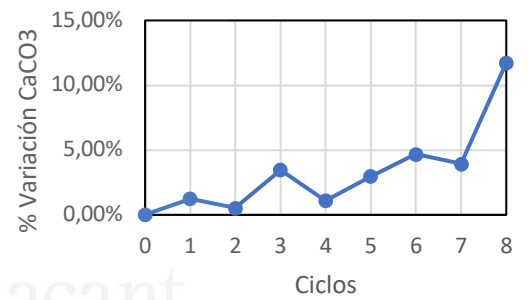
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



Universitat d'Alacant  
 Universidad de Alicante

**DENOMINACIÓN:** Punta Cana

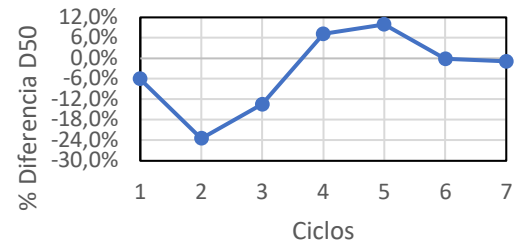
**PAÍS:** República Dominicana

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Mar Caribe

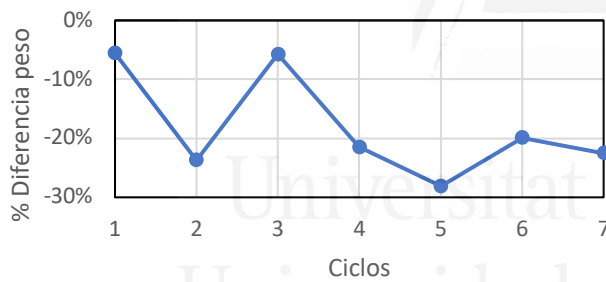
**UBICACIÓN**



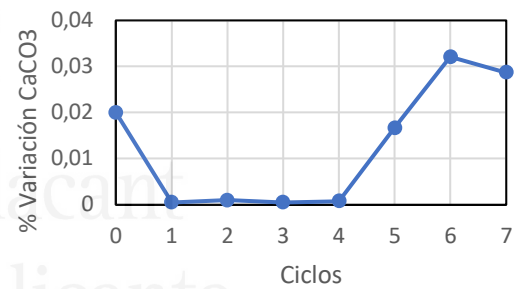
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



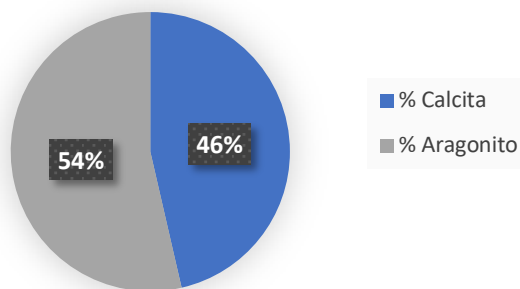
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**



**10.6.PLAYAS BAÑADAS POR EL OCEANO ÍNDICO**

---



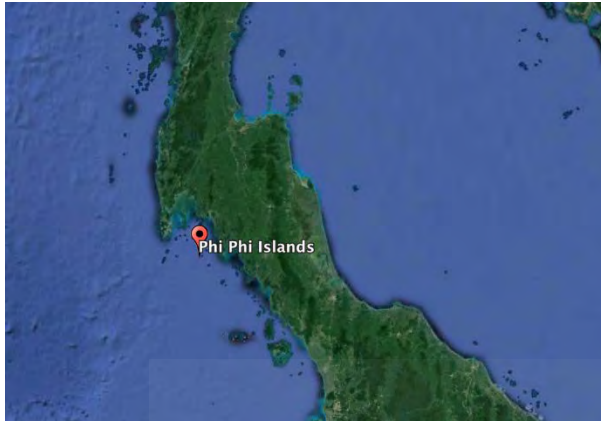
Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**DENOMINACIÓN:** Phi phi

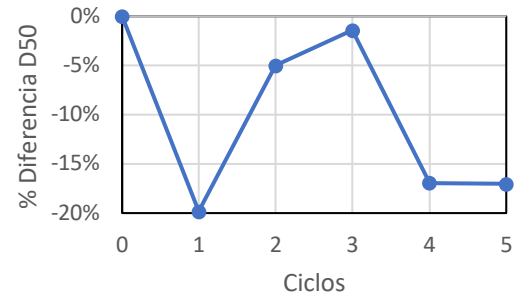
**PAÍS:** Tailandia

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Océano Índico

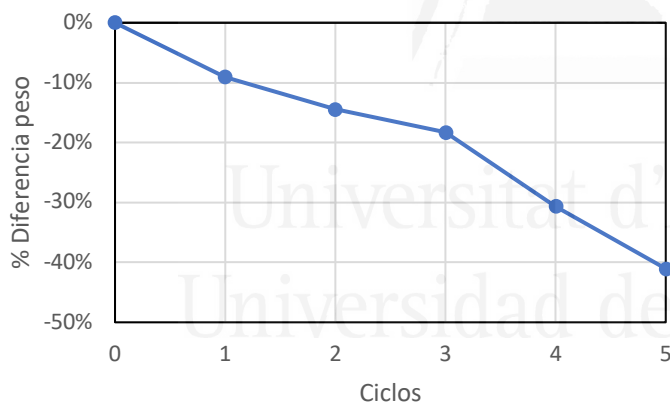
**UBICACIÓN**



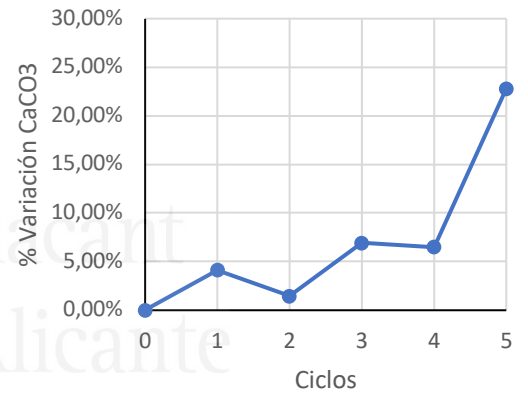
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



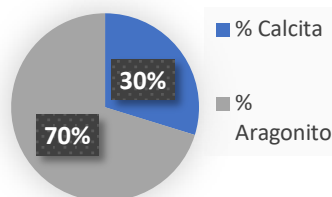
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**

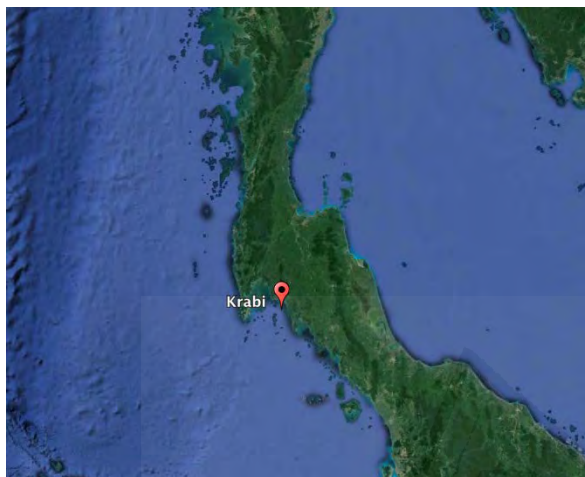


**DENOMINACIÓN:** Krabi

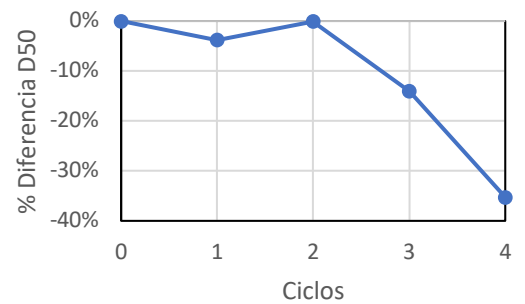
**PAÍS:** Tailandia

**AGUAS QUE LA BAÑAN:** Océano Índico

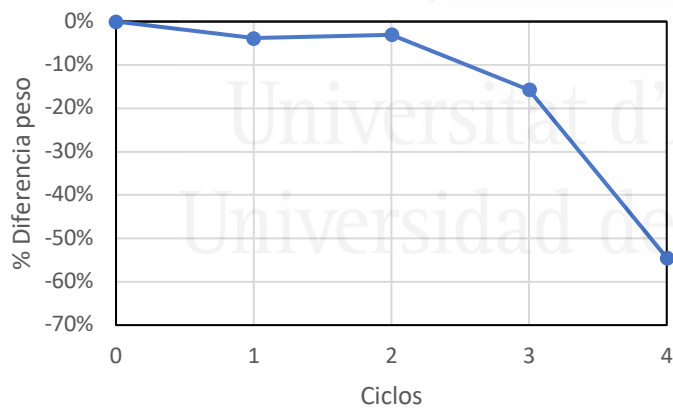
**UBICACIÓN**



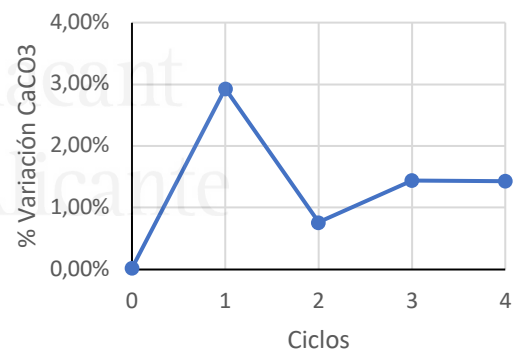
**EVOLUCIÓN D<sub>50</sub>**



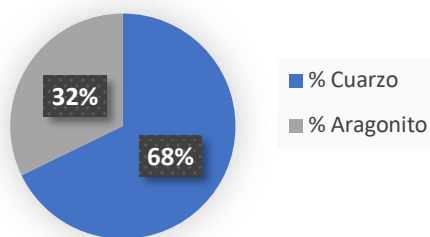
**EVOLUCIÓN PÉRDIDA PESO**



**EVOLUCIÓN CaCO<sub>3</sub>**



**MINERALOGÍA**







Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

# 11. REFERENCIAS

- Airoidi, L., Connell, S.D., Beck, M.W., 2009. The loss of natural habitats and the addition of artificial substrata. In: Wahl, M. (Ed.), *Marine Hard Bottom Communities*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 269e280.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E.A., Shvidenko, J.E., 2007. Europe. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Allison, I., Bindoff, N.L., Bindschadler, R.A., Cox, P.M., Noblet, N.d., England, M.H., Francis, J.E., Gruber, N., Haywood, A.M., Karoly, D.J., Kaser, G., Quéré, C.L., Lenton, T.M., Mann, M.E., McNeil, B.I., Pitman, A.J., Rahmstorf, S., Rignot, E., Schellnhuber, H.J., Schneider, S.H., Sherwood, S.C., Somerville, R.C.J., Steffen, K., Steig, E.J., Visbeck, M., Weaver, A.J., 2009. *The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the World on the Latest Climate Science*. University of New South Wales, Climate Change Research Centre, Sydney.
- Alpar, B., 2009. Vulnerability of Turkish coasts to accelerated sea-level rise. *Geomorphology* 107, 58e63.
- Andersson, A. J., and F. T. Mackenzie (2004), Shallow-water oceans: A source or sink for atmospheric CO<sub>2</sub>?. *Front. Ecol. Environ.*, 2, 348–353.
- Andersson, A. J., Bates, N. R. and Mackenzie, F. T., 2007. Dissolution of carbonate sediments under rising pCO<sub>2</sub> and ocean acidification: Observations from Devil's Hole, Bermuda. *Aquat Geochem*, 13: 237–264.
- Andersson, A. J., Mackenzie, F. T. and Lerman, A., 2005. Coastal ocean and carbonate systems in the high CO<sub>2</sub> world of the anthropocene. *American Journal of Science*, Vol. 305:875–918.
- Anfuso, G., Gracia, F. J., Andrés, J., Sánchez, F., Del Río, L., & Lopez-Aguayo, F. (2000). Depth of disturbance in mesotidal beaches during a single tidal cycle. *Journal of Coastal Research*, 446-457.

- Anthony, E.J., Gratiot, N., 2012. Coastal engineering and large-scale mangrove destruction in Guyana, South America: averting an environmental catastrophe in the making. *Ecol. Eng.* 47, 268e273.
- Anthony, E.J., Marriner, N., Morhange, C., 2014. Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: from progradation to destruction phase? *Earth Sci. Rev.* 139, 336-361.
- Aragonés, L, Pagán, JI, López, I, Serra, JC. Depth of closure: New calculation method based on sediment data. *International Journal of Sediment Research* 2017;In press.
- Aragonés, L., García-Barba, J., García-Bleda, E., Lopez, I., & Serra, J. C. (2015). Beach nourishment impact on *Posidonia oceanica*: case study of Poniente Beach (Benidorm, Spain). *Ocean Engineering*, 107, 1-12.
- Aragonés, L., López, I., López, M., García-Barba, J., López, M.P., Sánchez, I., 2016. The erosion of the beaches on the coast of Alicante: Study of the mechanisms of weathering by accelerated laboratory tests. *Science of the Total Environment* 566–567 (2016) 191–204.
- Aragonés, L., Serra, J.C., Villacampa, Y., Saval, J.M., Tinoco, H., 2016b. New methodology for describing the equilibrium beach profile applied to the Valencia's beaches. *Geomorphology* 259, 1–11.
- Ariza, E., Jiménez, J.A., Sardá, R., (2008). A critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean & Coastal Management*, 51(2), 141-160, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.02.009>
- Bakhtyar, R., Barry, D.A., Li, L., Jeng, D.-S., Yeganeh-Bakhtiary, A., 2009. Modeling sediment transport in the swash zone: A review. *Ocean Eng.* 36, 767–783.
- Ballesteros, C., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., & Bosom, E. (2018). Erosion consequences on beach functions along the Maresme coast (NW Mediterranean, Spain). *Natural Hazards*, 90(1), 173-195
- Bardají, T. et al., 2009. Impacto del cambio climático en el litoral. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2): 141-154

- Bastos, L., Bio, A., Pinho, J.L.S., Granja, H., da Silva, A.J., 2012. Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 109, 53–69.
- Bender, M.A., Knutson, T.R., Tuleya, R.E., Sirutis, J.J., Vecchi, G.A., Garner, S.T., Held, I.M., 2010. Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. *Science* 327, 454e458.
- Bertasi, F., Colangelo, M.A., Abbiati, M., Ceccherelli, V.U., 2007. Effects of an artificial protection structure on the sandy shore macrofaunal community: the special case of Lido di Dante (Northern Adriatic Sea). *Hydrobiologia* 586, 277–290.
- Bertin, X., Castelle, B., Anfuso, G., & Ferreira, Ó. (2008). Improvement of sand activation depth prediction under conditions of oblique wave breaking. *Geo-Marine Letters*, 28(2), 65-75.
- Bird, E.C.F., 1993. *Submerging coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. Chichester: Wiley
- Borsje, B.W., van Wesenbeeck, B.K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T.J., van Katwijk, M.M., de Vries, M.B., 2011. How ecological engineering can serve in coastal protection. *Ecol. Eng.* 37, 113e122.
- Borsje, B.W., van Wesenbeeck, B.K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T.J., van Katwijk, M.M., de Vries, M.B., 2011. How ecological engineering can serve in coastal protection. *Ecol. Eng.* 37, 113e122.
- Borum, J., Duarte, C.M., Krause-Jensen, D., Greve, T.M. (Eds.), 2004. *European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project*
- Bosello, F., Nicholls, R., Richards, J., Roson, R., Tol, R.J., 2012. Economic impacts of climate change in Europe: sea-level rise. *Clim. Change* 112, 63e81.
- Bouma, T.J., van Belzen, J., Balke, T., Zhu, Z., Airoidi, L., Blight, A.J., Davies, A.J., Galvan, C., Hawkins, S.J., Hoggart, S.P.G., Lara, J.L., Losada, I.J., Maza, M., Ondiviela, B., Skov, M.W., Strain, E.M., Thompson, R.C., Yang, S., Zanutigh, B., Zhang, L., Herman, P.M.J., 2014. Identifying knowledge gaps hampering application of intertidal habitats in coastal protection: opportunities & steps to take. *Coastal Engineering* 87, 147–157 (this volume).

- Bradley, K., Houser, C., 2009. Relative velocity of seagrass blades: Implications for wave attenuation in low-energy environments. *J. Geophys. Res.-earth Surf.* 114.
- Brown, S., Barton, M., Nicholls, R., 2011. Coastal retreat and/or advance adjacent to defences in England and Wales. *J. Coast. Conserv.* 15, 659e670.
- Brunn, P., 1988. The Brunn rule of erosion by sea level rise. *Journal Coastal Research*, No. 4, 627-648.
- Caldeira, K., and Wickett, M. E., 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425:365
- Cazenave, A., Llovel, W., 2010. Contemporary sea level rise. *Ann. Rev. Marine Sci.* 2, 145e173.
- Chave, K.E., 1960. Section of geological science: Carbonate skeletons to limestones: Problems. *Trans. N. Y. Acad. Sci.* 23 (1 Series II), 14–24.
- Chiva, L, Pagán, JI, López, I, Tenza-Abril, AJ, Aragonés, L, Sánchez, I. The effects of sediment used in beach nourishment: Study case El Portet de Moraira beach. *Science of the Total Environment* 2018;628-629: 64-73.
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, et al. 2013. "Sea Level Change." In *Climate Change 2013: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Part A: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, 1137–1216. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ciavola, P., Contestabile, P., Aristodemo, F., & Vicinanza, D. (2013). Beach sediment mixing under drained and undrained conditions. *Journal of Coastal Research*, 65(sp2), 1503-1508.
- Ciavola, P., Dias, N., Ferreira, O., Taborda, R., and Dias, J.A., 1997. Fluorescent sands for measurements of longshore transport rates: a case study from Praia de Faro in southern Portugal. *Geo- Marine Letters*, 18, 49-57.

- Ciavola, P., Nadalini, F., & Ardone, V. (2006). Depth of sand activation on protected and non-protected nourished beaches: a laboratory study in a large-scale wave flume. In *Coastal Dynamics 2005: State of the Practice* (pp. 1-14). Coast. Eng. 1996, 3921–3934.
- Coast. Eng. 4 (0), 253–277.
- Cochard, R., Ranamukhaarachchi, S.L., Shivakoti, G.P., Shipin, O.V., Edwards, P.J., Seeland, K.T., 2008. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: a review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspect. Plant Ecol. Evol. System.* 10, 3e40.
- Cooley, S. R., and S. C. Doney, 2009. Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environ. Res. Lett.*, 4, 024007.
- Cooper, J.A.G. and McLaughlin, S., 1998. Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis. *Journal of Coastal Research*, 14(2): 512-524.
- De Falco, G, Molinaroli, E, Baroli, M, Bellacicco, S. Grain size and compositional trends of sediments from *Posidonia oceanica* meadows to beach shore, Sardinia, western Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2003;58(2): 299-309.
- De Falco, G., Ferrari, S., Cancemi, G., Baroli, M., 2000. Relationship between sediment distribution and *Posidonia oceanica* seagrass. *Geo-Mar. Lett.* 20 (1), 50–57.
- De Leo, F., Besio, G., Zolezzi, G., Bezzi, M., Floqi, T., Lami, I., 2016. Coastal erosion triggered by political and socio-economical abrupt changes: the case of Lalzit Bay, Albania. *Coast. Eng. Proceed.* 1 (35), 13.
- Dean, R.G., 1977. *Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts*. Department of Civil Engineering, Ocean Engineering Technical Report. University of Delaware, Newark, Delaware, pp. 1–44.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., Scapini, F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 81, 1e12.

- Demarest, J.M., Kraft, J.C., 1987. Stratigraphic record of quaternary sea levels: implication
- Dilley, R.S., Rasid, H., (1990). Human response to coastal erosion: Thunder bay, Lake superior. *Journal of Coastal Research*, 779-788,
- Directrices sobre Actuaciones en Playas, 2008. Dirección General de Costas
- Douglas, B.C., Kearney, M.S., Leatherman, S.P., 2001. *Sea Level Rise: History and Consequences*. Academic Press, San Diego, USA, p. 232.
- Duarte, C.M., (1991). Allometric scaling of seagrass form and productivity. *Marine Ecology Progress Series*, 77, 289 -300,
- Duarte, C.M., Merino, M., Agawin, N.S.R., Uri, J., Fortes, M.D., Gallegos, M.E., Marbà, N., Hemminga, M.A., (1998). Root production and belowground seagrass biomass. *Marine Ecology Progress Series*, 171, 97-108, 10.3354/meps171097
- Eitner, V. (1996). The effect of sedimentary texture on beach fill longevity. *Journal of Coastal Research*, 447-461
- Engineering Conference. American Society of Civil Engineers, Reston, VA,
- European Commission (EC) (2005) *Living with coastal erosion in Europe e sediment and space for sus- tainability. Part I—major findings and policy recommendations of the EUROSION project*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- European Environmental Agency (EEA) (2006) *The changing faces of Europe’s coastal areas*. Report No 6. Copenhagen.
- Evans, JD, *Straightforward statistics for the behavioral sciences*, Brooks/Cole1996
- Fabry, V. J., McClintock, J. B., Mathis, J. T., and Grebmeier, J. M., 2009. Ocean acidification at high latitudes: The bellwether, *Oceanography*, 22, 160–171.
- Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., and Orr, J. C., 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes, *ICES J. Mar. Sci.*, 65, 414–432.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Takahashi, T., Wannikhof, R., 2001. Uptake and storage of carbon dioxide in the ocean. *The global CO2 survey. Oceanogr Magn* 2001; 14:18–32.

- Feely, R. A., Doney, S. C., and Cooley, S. R., 2009. Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO<sub>2</sub> world, *Oceanography*, 22, 36–47.
- Feely, R. A., Doney, S. C., and Cooley, S. R., 2009. Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO<sub>2</sub> world, *Oceanography*, 22, 36–47.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V. J., Millero, F. J., 2004. Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science* 305:362–366.
- Fernández Torquemada, Y., Sánchez Lizaso, J.L., (2005). Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320(1), 57-63, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2004.12.019>
- Finkl, C.W., Walker, H.J., 2004. Beach nourishment. In: Schwartz, M. (Ed.), *The Encyclopedia of Coastal Science*. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp. 37–54.
- Firth, L.B., Thompson, R.C., Bohn, K., Abbiati, M., Airoidi, L., Bouma, T.J., Bozzeda, F., Ceccherelli, V.U., Colangelo, M.A., Evans, A., Ferrario, F., Hanley, M.E., Hinz, H., Hoggart, S.P.G., Jackson, J., Moore, P., Morgan, E.H., Perkol-Finkel, S., Skov, M.W., Strain, E.M., van Belzen, J., Hawkins, S.J., 2014. Between a rock and a hard place: environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures. *Coast. Engineer.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.10.015>.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*, Austin (Texas). Hemphill Publishing Company (531p).
- Fonseca, M.S., Cahalan, J.A., 1992. A preliminary evaluation of wave attenuation by 4 species of seagrass. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 35, 565e576.
- for more ancient strata. *Sea-level Change Coast. Evol. SEPM, Spec. Publ.* 41, 223–239.
- Foster, T., Corcoran, E., Erftemeijer, P., Fletcher, C., Peirs, K., Dolmans, C., Smith, A., Yamamoto, H., Jury, M., (2010). *Dredging and port construction around coral reefs*. PIANC Environmental Commission, Report No 108,



- Fucella, J.E., and Dolan, R.E., 1996. Magnitude of subaerial beach disturbance during Northeast storms. *Journal of Coastal Research*, 12, 420-429.
- Gacia, E., Granata, T.C., Duarte, C.M., 1999. An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Aquat. Bot.* 65, 255e268.
- Garrels, R.M., Mackenzie, F.T., 1980. Some aspects of the role of the shallow ocean in global carbon dioxide uptake. Workshop Report: United States Department of Energy, Carbon Dioxide Effects Research and Assessment Program.
- Gattuso, J.P., Allemand, D., Frankignoulle, M., 1999. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral reefs: a review on interactions and control by carbonate chemistry. *Am Zool* 39:160–183.
- Gedan, K., Kirwan, M., Wolanski, E., Barbier, E., Silliman, B., 2011. The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm. *Clim. Change* 106, 7e29.
- González-Correa, J.M., Fernández Torquemada, Y., Sánchez Lizaso, J.L., (2008). Long-term effect of beach replenishment on natural recovery of shallow *Posidonia oceanica* meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(4), 834-844, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.012>
- Gornitz , V.M., 1990. Vulnerability of the east coast, USA to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*, 9: 201-237.
- Greenwood, B., and Hale, P.B., 1980. Depth of activity, sediment flux and morphological change in a barred beach environment. In: S.B. McCann (Ed.), *The Coastline of Canada*. Geological Survey of Canada, pp. 89-109.
- Grunnet, NM, Ruessink, BG. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering* 2005;52(2): 119-137.
- Guillén, J., Hoekstra, P., 1996. The “equilibrium” distribution of grain size fractions and its
- Hallermeier, R.J., 1978. Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion, 16th Coastal

- Hallermeier, R.J., 1980. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate.
- Han, W., Meehl, G.A., Rajagopalan, B., Fasullo, J.T., Hu, A., Lin, J., Large, W.G., Wang, J.-w., Quan, X.-W., Trenary, L.L., Wallcraft, A., Shinoda, T., Yeager, S., 2010. Patterns of Indian Ocean sea-level change in a warming climate. *Nat. Geosci.* 3, 546e550.
- Hanz Kunz. Artificial Beach Nourishment: Lessons learned from field experiments.
- Hofmann, M., Schellnhuber, H. J., 2010. Ocean acidification: a millennial challenge. *Energy Environ. Sci.*, 2010, 3, 1883–1896
- Horikawa, K. (Ed.). (1988). Nearshore dynamics and coastal processes: Theory, measurement, and predictive models. University of Tokyo press.
- Hossain, M., 2010. Global warming induced sea level rise on soil, land and crop production loss in Bangladesh. In: 19th World Congress of Soil Science. Soil Solutions for a Changing World, 1e6 August 2010, Brisbane, Australia, pp. 77e80.
- Huges, P. and Brundrit, G., 1992. An index to assess south africa's vulnerability to sea-level rise. *S. AFR. J. SCI./S.-AFR. TYDSKR. WET.*, 88(6): 308-311
- implications for cross-shore sediment transport: a conceptual model. *Mar. Geol.* 135 (1–4), 15–33.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Isla, F.I., Bértola, G.R., Farenga, M.O., Serra, S.B. and Cortizo, L.C., 1998. Villagesell: Un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 5: 41-51
- Jabaloy-Sánchez, A. et al., 2010. Human-driven coastline changes in the adra river deltaic system, southeast spain. *Geomorphology*, 119(1–2): 9-22.
- Jackson, D. and Malvárez, G., 2002. A new, high-resolution “depth of disturbance” instrument (SAM) for use in the surf zone. *Journal of Coastal Research*, SI 36, 406 – 413.

- Jackson, N.L., and Nordstrom, K.F., 1993. Depth of activation of sediment by plunging breakers on a steep sand beach. *Marine Geology*, 115, 143-151.
- Jacob, K., LeBlanc, A., Leichenko, R., Linkin, M., Major, D., O'Grady, M., Patrick, L., Sussman, E., Yohe, G., Zimmerman, R., 2011. Developing coastal adaptation to climate change in the New York City infrastructure-shed: process, approach, tools, and strategies. *Clim. Change* 106, 93e127.
- James, WR, Beach fill stability and borrow material texture, in: A.S.o.C. Engineers (Ed.) 14th International Conference on Coastal Engineering, American Society of Civil Engineers, Copenhagen, Denmark, 1974; pp. 1334-1349.
- Jelgersma, S., Van der Zijp, M. and Brinkman, R., 1993. Sealevel rise and the coastal lowlands in the developing world. *Journal of Coastal Research*, 9: 958-972.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373–386.
- Jones, K., Pan, X., Garza, A., Lloyd-Reilley, J., 2010. Multi-level assessment of ecological coastal restoration in South Texas. *Ecol. Eng.* 36, 435e440.
- Juárez, V. and Isla, F., 1999. Evolución histórica del núcleo urbano de villa gesell. *Revista Geográfica*, 125: 49-60
- King, C.A.M., 1951. Depth of disturbance of sand on sea beaches by waves. *Journal Sedimentary Petrology*, 21 (3), 131 - 140.
- Kleypas, J. A., Buddemeier, R. W., Archer, A., Gattuso, J. P., Langdon, C., Opdyke, B. N., 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science* 284:118–120.
- Kleypas, J. A., Feely, R. A., Farby, V. J., Langdon, C., Sabine, C.L., and Robbins, L. L., 2006. Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: A guide for future research. Report of a workshop sponsored by NSF, NOAA, and USGS.
- Koch, E., Ackerman, J., Verduin, J., Keulen, M., 2006. Fluid dynamics in seagrass ecology e from molecules to ecosystems. In: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Netherlands, pp. 193e225.

- Koch, E.W., Gust, G., 1999. Water flow in tide- and wave-dominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 184, 63e72.
- Koch, E.W.S., Larry P. Chen, Shih-Nan. Shafer, Deborah J. Smith, M., J., (2006). *Waves in Seagrass Systems: Review and Technical Recommendations*, Defense Technical Information Center, Ft. Belvoir.
- Kushnir, A.R.L., Kennedy, L.A., Misra, S., Benson, P., White, J.C., 2015. The mechanical and microstructural behaviour of calcite-dolomite composites: an experimental investigation. *J. Struct. Geol.* 70:200–216. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.12.006>.
- Langdon, C., and others, 2000. Effect of calcium carbonate saturation state on the calcification rate of an experimental coral reef. *Global Biogeochem. Cy.* 14: 639–654.
- Larson, M., 1991. Equilibrium Profile of a Beach With Varying Grain Size, *Coastal Sediments (1991)*. ASCE. pp. 905–919.
- Linham, M. M., & Nicholls, R. J. (2010). *Technologies for Climate Change Adaptation*.
- Liu, J.P., Xu, K.H., Li, A.C., Milliman, J.D., Velozzi, D.M., Xiao, S.B., Yang, Z.S., (2007). Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea. *Geomorphology*, 85(3–4), 208-224, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.023>
- López Bermúdez, F., y Gomaríz Castillo, F., 2006. Las ramblas, agentes reguladores del litoral mediterráneo ibérico. El ejemplo de la rambla de las Moreras, Murcia. *Geomorfología litoral i Quaternari*, pp. 245-257.
- López, I, López, M, Aragonés, L, García-Barba, J, López, MP, Sánchez, I. The erosion of the beaches on the coast of Alicante: Study of the mechanisms of weathering by accelerated laboratory tests. *Science of The Total Environment* 2016;566-567: 191-204.
- López, I., Tinoco, H., Aragonés, L., & Garcia-Barba, J. (2016). The multifunctional artificial reef and its role in the defence of the Mediterranean coast. *Science of the Total Environment*, 550, 910-923.

- Mackenzie, F.T., Lerman, A., Ver, L. M., 2001. Recent past and future of the global carbon cycle. In: Gerhard, L. C., Harrison, W. E., Hanson, B. M. (eds) Geological perspectives of global climate change. AAPG Studies in Geology #47, Tulsa, pp 51–82.
- Marbà, N., Duarte, C.M., Cebrián, J., Gallegos, M., Olesen, B., Sand-Jensen, K., (1996). Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. Marine Ecology Progress Series, 137, 203-213, 10.3354/meps137203
- Marchand M (2010) Concepts and science for coastal erosion management. Concise Report for Policy Makers, Deltares
- Marchand, M.E., (2010). Concepts and Science for Coastal Erosion Management. Concise report for policy maker. Deltares, Delft.
- Marcomini, S.C. and López, R.A., 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, villa gesell, provincia de buenos aires, república argentina. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología, 4(2): 79-96
- Martínez, J., 2013. Tesis doctoral Evolución de la línea de costa a partir del equilibrio dinámico del perfil de playa. Universidad de Cantabria.
- Mateo, M., Romero, J., Pérez, M., Littler, M.M., Littler, D.S., (1997). Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44(1), 103-110,
- McIvor, A.L., Möller, I., Spencer, T., Spalding, M., 2012a. Reduction of Wind and Swell Waves by Mangroves. In: Natural Coastal Protection Series: Report 1. The Nature Conservancy, University of Cambridge, and Wetlands International, Cambridge, UK, p. 27.
- McKee, K., Cherry, J., 2009. Hurricane Katrina sediment slowed elevation loss in subsiding brackish marshes of the Mississippi River delta. Wetlands 29, 2e15.
- Medina, J.R., Tintoré, J., Duarte, C.M., (2001). Las praderas de *Posidonia oceánica* y la regeneración de playas. Revista de Obras Públicas, 148(3.409), 31-43,
- Meyer, D.L., Townsend, E.C., Thayer, G.W., 1997. Stabilization and erosion control value of oyster cultch for intertidal marsh. Restor. Ecol. 5, 93e99.

- Millero, F., Huang, F., Graham, T., and Pierrot, D., 2007. The dissociation of carbonic acid in NaCl solutions as a function of concentration and temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71 (2007) 46–55.
- Milliman, J.D., Syvitski, J.P.M., 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.* 100 (5), 525–544.
- Möller, I., Spencer, T., French, J.R., Leggett, D.J., Dixon, M., 1999. Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modelling study from north Norfolk, England. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 49, 411e426.
- Morse, J.W., Andersson, A. J., Mackenzie, F. T., 2006. Initial responses of carbonate-rich shelf sediments to rising atmospheric pCO<sub>2</sub> and “ocean acidification”: Role of high Mg-calcites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70 (2006) 5814–5830
- Morse, J.W., Andersson, A. J., Mackenzie, F. T., 2006. Initial responses of carbonate-rich shelf sediments to rising atmospheric pCO<sub>2</sub> and “ocean acidific
- Mutema, M., Jewitt, G., Chivenge, P., Kusangaya, S., Chaplot, V., (2016). Spatial scale impact on daily surface water and sediment fluxes in Thukela river, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 92, 34-43, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.10.001>
- Nellemann, C., Corcoran, E., 2010. *Dead Planet, Living Planet. Biodiversity and Ecosystem Restoration for Sustainable Development, a Rapid Response Assessment.* United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, Arendal, Norway, p. 109.
- Niedoroda, A.W., Swift, D.J.P., Hopkins, T.S., 1985. The Shoreface. In: Davis, R.A. (Ed.), *Coastal Sedimentary Environments.* Springer-Verlag, New York, pp. 533–624.
- Nováčková, M., & Tol, R. S. (2018). Effects of sea level rise on economy of the United States. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 7(1), 85-115.
- Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J., & van Belzen, J. (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. *Coastal Engineering*, 87, 158-168.

- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R., Plattner, G. K., Rodges, K. B., Sabine, C. L., Sarmiento, J. L., Schlitzer, R., Slater, R. D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamanaka Y., and Yool, A., 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms *Nature* 437, 681–686.
- Otvos, E.G., 1965. Sedimentation-erosion cycles of single tidal periods on Long Island Sound beaches. *Journal of Sedimentary Petrology*, 35 (3), 604-609.
- Pagán, 2018. Estudio de los efectos de las presiones antrópicas sobre las playas del levante Mediterráneo. PhD, Universidad de Alicante. pp. 176-199
- Pagán, J. I., Aragonés, L., Tenza-Abril, A. J., & Pallarés, P. (2016). The influence of anthropic actions on the evolution of an urban beach: Case study of Marineta Cassiana beach, Spain. *Science of the Total Environment*, 559, 242-255.
- Pagán, JI, López, M, López, I, Tenza-Abril, AJ, Aragonés, L. Study of the evolution of gravel beaches nourished with sand. *Science of The Total Environment* 2018;626: 87-95.
- Pardo Pascual, J. E, López García, M. J., 1998. Evaluación de las técnicas de tratamiento digital de imágenes en el estudio de la evolución de las áreas costeras. In *Ordenación del Territorio y Medio Marino*, V reunión AET. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, p. 877-892.
- Peterson, B.J., Rose, C.D., Rutten, L.M., Fourqurean, J.W., 2002. Disturbance and re-recovery following catastrophic grazing: studies of a successional chronosequence in a seagrass bed. *Oikos* 97, 361e370.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1974. Sand and sandstone. *Soil Sci.* 117 (2), 130.
- Piazza, B.P., Banks, P.D., La Peyre, M.K., 2005. The potential for created oyster shell reefs as a sustainable shoreline protection strategy in Louisiana. *Restor. Ecol.* 13, 499e506.

- Pilkey, O.H., 1964. The size distribution and mineralogy of the carbonate fraction of United States South Atlantic shelf and upper slope sediments. *Mar. Geol.* 2 (1–2), 121–136.
- pp. 1493–1512.
- Precht, W.F., 2009. *Coral Reef Restoration Handbook*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Priskin, J., (2003). Physical impacts of four-wheel drive related tourism and recreation in a semi-arid, natural coastal environment. *Ocean & Coastal Management*, 46(1–2), 127-155, [http://dx.doi.org/10.1016/S0964-5691\(02\)00124-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0964-5691(02)00124-2)
- Riebesell, U., Zondervan, I., Rost, B., Tortell, P. D., Zeebe, R., E., Morel, F. M. M., 2000. Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Macmillan Magazines, Nature*, vol. 407, pp. 364-367.
- Roeland, H, Piet, R. Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands. *Journal of Coastal Conservation* 1995;1(1): 17-28.
- Román-Sierra, J., Muñoz-Perez, J. J., & Navarro-Pons, M. (2014). Beach nourishment effects on sand porosity variability. *Coastal Engineering*, 83, 221-232.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Blake, R., Bowman, M., Faris, C., Gornitz, V., Horton, R.,
- Rosselló, V. M., Sant Jaume, E., 1986. Evolution and man's impact on the Pais Valencia coast. *Symposium on man's impact on coastal environment. NE Spanish Mediterranean Coast. IGU Commission on the Coastal Environment. Barcelona*, pp. 87-106
- Sabine, C. L., and Feely, R. A., 2007. The oceanic sink for carbon dioxide, in *Greenhouse Gas Sinks*, edited by D. Reay, N. Hewitt, J. Grace, and K. Smith, pp. 31–49,
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J. L., Wanninkhof, R., Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B., Millero, F. J., Peng, T. H., Kozyr, A., Ono, T., Rios, A. F., 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science* 305:367–371.



- Saengsupavanich, C., Chonwattana, S., Naimsampao, T., 2009. Coastal erosion through integrated management: a case of Southern Thailand. *Ocean Coast. Manage.* 52, 307e316.
- Salazar, A., G Lizano, O., J Alfaro, E., 2004. Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando Fluorescencia de Rayos-X (FRX). *Rev. Biol. Trop.* 52, 61–75.
- Schlacher, T.A., Dugan, J., Schoeman, D.S., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., McLachlan, A., Defeo, O., (2007). Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions*, 13(5), 556-560,
- Schnack, E.J., Alvarez, J.R. and Cionchi, J.L., 1983. El carácter erosivo de la línea de costa entre mar chiquita y miramar, provincia de buenos aires. *Simposio Oscilaciones del Nivel del Mar Durante el Último Hemiciclo Deglacial en la Argentina*. Mar del Plata: 118-130.
- Scyphers, S.B., Powers, S.P., Heck, K.L., Byron, D., 2011. Oyster reefs as natural breakwaters mitigate shoreline loss and facilitate fisheries. *PLoS ONE* 6.
- Serrato, F.B., Díaz, M.A.R. and Sinoga, J.-D.R., 2013. Retroceso de la línea de costa en playas del sur de la región de murcia. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 17: 443.
- Serra, J.C., 1988. Procesos litorales de las costas de Castellón. Universidad Politécnica de Valencia. Department of Transport Infrastructure and Engineering. Master's thesis. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Spain, p. 890.
- Silvestri, S., Kershaw, F., 2010. Framing the Flow: Innovative Approaches to Understand, Protect and Value Ecosystem Services across Linked Habitats. *UNEP World Conservation Monitoring Centre*, Cambridge, UK, p. 62.
- Spalding, M.D., Kainuma, M., Collins, L., 2010. *World Atlas of Mangroves*. Earthscan, with International Society for Mangrove Ecosystems, Food and Agriculture Organization of the United Nations, The Nature Conservancy, UNEP World Conservation Monitoring Centre, United Nations Scientific and Cultural Organisation, United Nations University, London.

- Stancheva, M., Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Palazov, A., Stanchev, H., Correa, I., 2011. Expanding level of coastal armouring: case studies from different countries. *J. Coast Res.*, 1815e1819. SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland.
- Stauble, D., Cialone, M., 1997. Sediment dynamics and profile interactions: DUCK94.
- Sterr, H., 2008. Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany. *J. Coast Res.*, 380e393.
- Sunamura, T., and Kraus, N.C., 1985. Prediction of average mixing depth of sediment in the surf zone. *Marine Geology*, 62, 1- 12.
- Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., Overeem, I., Hutton, E.W.H., Hannon, M.T., Brakenridge, G.R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., Nicholls, R.J., 2009. Sinking deltas due to human activities. *Nat. Geosci.* 2, 681-686.
- Syvitski, J.P.M., Saito, Y., 2007. Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Glob. Planet. Change* 57, 261-282.
- Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J., Green, P., (2005). Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. *Science*, 308(5720), 376-380, 10.1126/science.1109454
- Titus, J.G., Hudgens, D.E., Trescott, D.L., Craghan, M., Nuckols, W.H., Hershner, C.H., Kassakian, J.M., Linn, C.J., Merritt, P.G., McCue, T.M., O'Connell, J.F., Tanski, J., Wang, J., 2009. State and local governments plan for development of most land vulnerable to rising sea level along the US Atlantic coast. *Environ. Res. Lett.* 4, 1e7.
- Van Duin, M. J. P., Wiersma, N. R., Walstra, D. J. R., Van Rijn, L. C., & Stive, M. J. F. (2004). Nourishing the shoreface: observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands. *Coastal Engineering*, 51(8-9), 813-837.
- van Keulen, M., Borowitzka, M.A., 2003. Seasonal variability in sediment distribution along an exposure gradient in a seagrass meadow in Shoalwater Bay, Western Australia. *Estuar. Coast Shelf. Sci.* 57, 587e592.
- van Rijn, L.C., (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 867-887, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.004>

- Van Slobbe, E., Vriend, H.J., Aarninkhof, S., Lulofs, K., Vries, M., Dircke, P., 2013. Building with Nature: in search of resilient storm surge protection strategies. *Nat. Hazard.* 65, 947e966.
- Vargas-Yáñez, M., García Martínez, M.M., Moya, F., Parrilla, G., Plaza, F., Lavín, A., García, M.J.M Salta, J., López-Jurado, J.L., Pascual, J., García Lafuente, J., Gomis, D., Álvarez, E., García Sotillo, M., González Pola, C., Polvorinos, F., Fraile Nuez, E., Fernández de Puellas, M.L., Zunino, P. Cambio Climático en el Mediterráneo español. Segunda edición actualizada. Madrid: Instituto español Oceanografía, 2010. 176 p.
- Vellinga, P., 1982. Beach and dune erosion during storm surges. *Coast. Eng.* 6 (4), 361–387.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., das Neves, L., Barbosa, J.P., Coelho, C., 2004. Erosion risk levels at the NW Portuguese coast: the Douro mouth—Cape Mondego stretch. *J. Coast. Conserv.* 10, 43–52.
- Walker, S.J., Schlacher, T.A., Luke, M.C., Thompson, L.M.C., 2008. Habitat modification in a dynamic environment: the influence of a small artificial groyne on macrofaunal assemblages of a sandy beach. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 79, 24–34.
- Williams, A.T., 1971. An analysis of some factors involved in the depth of disturbance of beach sand by waves. *Marine Geology*, 11, 145-158.
- Wright, L. D. (1980). Beach cut in relation to surf zone morphodynamics. In *Coastal Engineering 1980* (pp. 978-996).
- Xian, G., Crane, M., Su, J., (2007). An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 965-976, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.012>
- Yoshikawa, S., Nemoto, K., 2010. Seasonal variations of sediment transport to a canyon and coastal erosion along the Shimizu coast, Suruga Bay, Japan. *Mar. Geol.* 271, 165–176.
- Roeland H, Piet R. Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands. *Journal of Coastal Conservation* 1995; 1: 17-28.

- Grunnet NM, Ruessink BG. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment. Coastal Engineering 2005; 52: 119-137.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante