

MÁSTER OFICIAL EN GESTIÓN COSTERA

***MEDICIÓN DEL TRANSPORTE DE CANTOS
EN LA PLAYA DE SAN FELIPE, GRAN
CANARIA***



Trabajo fin de máster realizado por Mariona Casamayor Font y dirigido por el Dr. Ignacio Alonso Bilbao y el Dr. Jorge Cabrera Gámez

Fdo. Dr. Ignacio Alonso Bilbao

Fdo. Dr. Jorge Cabrera Gámez

Fdo. Mariona Casamayor Font

Las Palmas de Gran Canaria a 21 de junio de 2013

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha podido llevar a cabo gracias a la colaboración de muchas personas y nunca existirán suficientes palabras para expresar todo mi agradecimiento.

En primer lugar, me gustaría agradecerle a Ignacio Alonso Bilbao, director de esta tesina, la dedicación y comprensión que me ha dado en todo momento. Agradecerle el haber confiado en mí para llevar a cabo este proyecto. Gracias por todo el tiempo que ha invertido en este trabajo, no sólo el de esas largas, y a veces interminables campañas, sino también el destinado a la enseñanza de los conocimientos necesarios para poder desarrollar el presente trabajo.

También dar las gracias a Jorge Cabrera Gámez, codirector de este trabajo, por la creación de la instrumentación. Agradecerle, que siempre que fallaba algo, él estaba allí, en persona o por teléfono. Sobre todo gracias por toda tu dedicación.

Agradecer a José Antonio Hernández Rodríguez haber realizado su trabajo fin de carrera en este proyecto. Tanto por la creación del software necesario, como por la colaboración en algunas campañas.

A todas aquellas personas que han participado en las campañas; a Nadia, Edu, Annetty y Nacho. Y muy especialmente, a Silvia Rodríguez Valido que siempre está dispuesta a echar una mano con la mejor de sus sonrisas.

A Carolina Peña Alonso, por sus clases particulares de ArcGis, y por su disposición a ayudar en todo momento.

Agradecer el apoyo ofrecido por parte de toda mi gente de Barcelona. En especial a Xènia, por esas largas conversaciones telefónicas sobre el principio de Arquímedes.

A mis padres, que a lo largo de toda mi vida, tanto académica como personal, son una apoyo fundamental, a pesar de la distancia. Gracias por esas largas horas al teléfono los días grises, por preguntar siempre “¿Com van les teves pedretes?”, en definitiva, por estar día tras día apoyándome. Moltes gràcies.

Es difícil resumir todo lo que Isaac ha hecho por mí y por este trabajo, no sólo ha ofrecido su apoyo incondicional sino también su entrega. Gracias por ser mi “mula personal”, 90 kg de cantos son demasiado, por esas rutas por la isla buscando de playa en playa, por todo el tiempo invertido en la búsqueda de tiendas con brocas *Bosch*, así como el famoso epoxi, y podría seguir así durante mucho tiempo. En resumen, gracias.

ÍNDICE

Resumen	5
Abstract	5
1. Introducción	6
1.1. Antecedentes	6
1.2. Zona de estudio.....	7
1.3. Marco geológico	8
1.4. Caracterización oceanográfica del entorno.....	9
1.5. Objetivos	13
2. Metodología	14
2.1. Preparación y medición de las características básicas de los cantos	14
2.1.1. Recogida de muestras	14
2.1.2. Preparación de los cantos.....	15
2.1.3. Caracterización morfométrica y composicional	16
2.1.4. Densidad	16
2.2. Sistema de detección	17
2.3. Campañas	21

3. Resultados	24
3.1. Composición.....	24
3.2. Morfología	25
3.3. Rango de detección.....	28
3.4. Tasa de detección	30
3.5. Transporte de cantos.....	31
3.6. Topografía	37
4. Discusión	42
4.1. Composición.....	42
4.2. Morfología	43
4.3. Transporte de cantos.....	48
5. Conclusiones y futuros trabajos	54
6. Referencias bibliográficas	56

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado una caracterización morfométrica y composicional de 200 cantos recogidos a lo largo de toda la playa de San Felipe (costa norte de Gran Canaria), y que posteriormente han sido utilizados como marcadores mediante el método RFID. De este modo se ha monitorizado el transporte de estos cantos en la playa durante un mes y medio, y se han obtenidos pautas de transporte en función de la dirección de aproximación del oleaje y de la posición de los cantos en el perfil de la playa. Además, se han realizado tres topografías para determinar la variación morfológica de la playa durante el transcurso del experimento, y los cambios topográficos detectados coinciden perfectamente con la dirección de transporte observada en los cantos.

ABSTRACT

This paper describes the transport of 200 cobbles collected on the San Felipe beach, (north coast of Gran Canaria), which were previously characterized from a morphometric and compositional point of view. These cobbles were released on the beach and used as natural tracers by means of the RFID method. In this way the cobbles transport has been followed during 42 days in the spring of 2013, since 4 detection surveys and three topographic levellings were carried out. The main transport patterns observed are related to (i) the wave direction approach during high energy conditions, and (ii) the cobbles position on the beach profile.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En las zonas costeras reside gran parte de la población mundial, además de desarrollarse actividades como la industria y el turismo. Por estas razones, es esencial realizar una buena gestión permitiendo maximizar el bienestar socio-económico de las personas y obtener el máximo beneficio a corto y largo plazo de los recursos que ofrecen estas zonas de manera sostenible. Por ello, para poder realizar esta buena gestión es necesario conocer con exactitud el funcionamiento y características de los sistemas costeros.

Las playas de arena han sido estudiadas durante muchos años y existe mucha información disponible sobre los mecanismos de transporte del sedimento. Por el contrario, hay pocos estudios realizados en playas de cantos y mixtas, compuestas por arena y canto, debido a las dificultades logísticas que conllevan, tanto por la fragilidad de la instrumentación como los pocos datos disponibles sobre estos sistemas. Los primeros trabajos que se llevaron a cabo en estas playas se basaban en el estudio de los parámetros texturales de los cantos, como forma y tamaño, pero no eran suficientes para conocer sus mecanismos de transporte. Sobre los años 60 se empezaron a realizar estudios de seguimientos de cantos, pero con poco éxito debido a la ineficacia de la metodología empleada. Y no fue hasta hace una década aproximadamente, que se empezaron a incorporar técnicas de rastreo más eficaces.

En los trabajos existentes hay tres tipos predominantes de trazadores. Los primeros son trazadores visuales que consisten en pintar cantos o introducir cantos con litologías exóticas que permitan su rápida identificación. Generalmente, este tipo de trazadores presentan bajas tasas de recuperación, entre 5 y un 50%, debido al enterramiento de las partículas marcadas o a la eliminación de la pintura, limitando así su detección (Sear *et al.*, 2000 y Lamarre *et al.*, 2005). El segundo grupo de trazadores son los denominados pasivos, como radioactivos, de aluminio o con tecnologías electrónicas de rastreo. Estas técnicas suponen una mejora significativa en el rastreo, porque permiten al usuario localizar los cantos aunque estén enterrados, pero una limitación es la variabilidad de las tasas de recuperación, entre un 40% y un 85%, dependiendo de las características locales y de las condiciones hidrodinámicas del área de estudio (Sear *et al.*, 2000). Finalmente, el tercer grupo son los trazadores activos, que están compuestos por un sistema de marcador electrónico alimentado por una batería, todo ello encapsulado dentro de una resina para producir un trazador con

el tamaño y forma característica de los cantos de la playa (Bray *et al.*, 1996, Voulgaris *et al.*, 1999 y Lee *et al.*, 2000). Las grandes ventajas de este tipo de trazadores es que permite su detección a una profundidad de hasta 1 m y que tienen una tasa de recuperación del 70%. Sin embargo, su principal limitación es su elevado coste y que es una partícula artificial, pudiendo afectar a su respuesta frente a las condiciones de oleaje del área a estudiar (Allan *et al.*, 2006). La técnica que se ha utilizado en esta investigación es la de los trazadores pasivos, RFID (siglas de *Radio Frequency Identification*), porque es la que tiene un mejor ratio de eficiencia y costes, ya que garantiza las altas tasas de detección de cantos frente a los bajos costes de operación (Bertoni *et al.*, 2010).

Uno de los aspectos más importantes de las playas mixtas y de cantos, es su alta eficacia de protección frente al fuerte oleaje, ya que poseen un alto grado de estabilidad, y en muchos sitios de Europa se están considerando como una herramienta de gestión. Por tanto, este estudio tiene como objetivo obtener la máxima información sobre el funcionamiento y características de estos sistemas, pudiendo así realizar *a posteriori* una gestión adecuada.

En España, existen muy pocos estudios sobre el transporte de sedimentos en este tipo de playas. En Canarias, concretamente en la isla de Gran Canaria, nunca antes se habían estudiado estos medios. Por tanto, este trabajo de investigación es el inicio de la caracterización y comprensión de los mecanismos que tienen lugar en las playas de cantos, permitiéndonos conocer más detalladamente el entorno donde vivimos.

1.2. Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en la costa norte de la isla de Gran Canaria (Fig.1). Tiene una longitud aproximada de 170 m, y se encuentra en el límite occidental de la playa de San Felipe, cuya longitud total es de 460 m. Los materiales presentes en la playa son arenas y cantos, aunque también se pueden encontrar grandes bloques redondeados. Los cantos están distribuidos entre el supramareal y el intermareal mientras que las arenas predominan en la zona submareal.

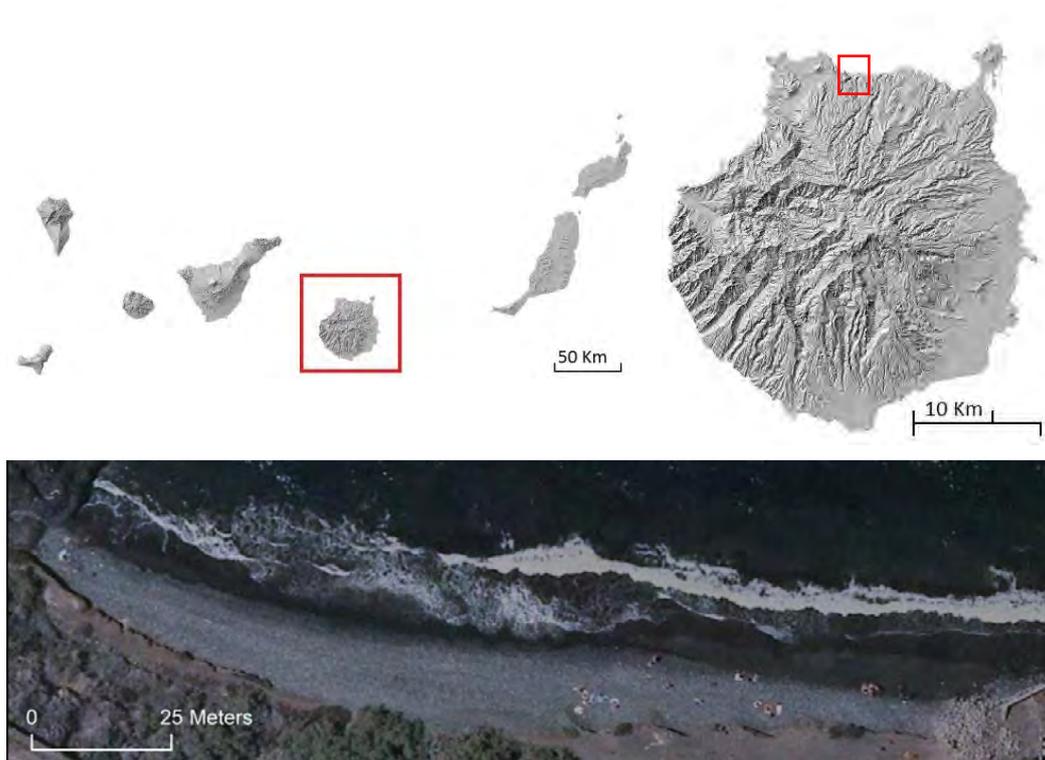


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

1.3. Marco geológico

La playa de San Felipe es una playa mixta que está constituida mayoritariamente por cantos de tipo fonolítico y basáltico. Además, hay arenas finas de color negro, principalmente originadas por la erosión de los basaltos (*Balcells y Barrera, 1990*).

En un contexto general, la playa se encuentra rodeada por depósitos coluviales y derrubios de laderas procedentes del acantilado que limita la playa por el sur. El extremo oeste está delimitado por una colada de lavas basálticas olivínico-piroxénicas, pertenecientes al ciclo Roque Nublo, Plioceno, que se adentra en el mar. Asimismo, existen coladas fonolíticas del Mioceno. Dichas coladas han sido erosionadas por el mar, dando lugar a la formación de rasas marinas, que en su gran mayoría están cubiertas por cultivos y núcleos poblacionales. En el sector oriental de la playa desemboca el barranco de San Felipe (también conocido como Calabozo), cuya longitud es de 8.600 m, con un desnivel máximo de 817 m (*Menéndez et al., 2008*). El barranco discurre por distintos materiales donde destacan las lavas basálticas olivínico-piroxénicas y tefríticas (ciclo post Roque Nublo, Plioceno y Pleistoceno), así como lavas fonolíticas e ignimbritas del Mioceno Superior (Fig.2).

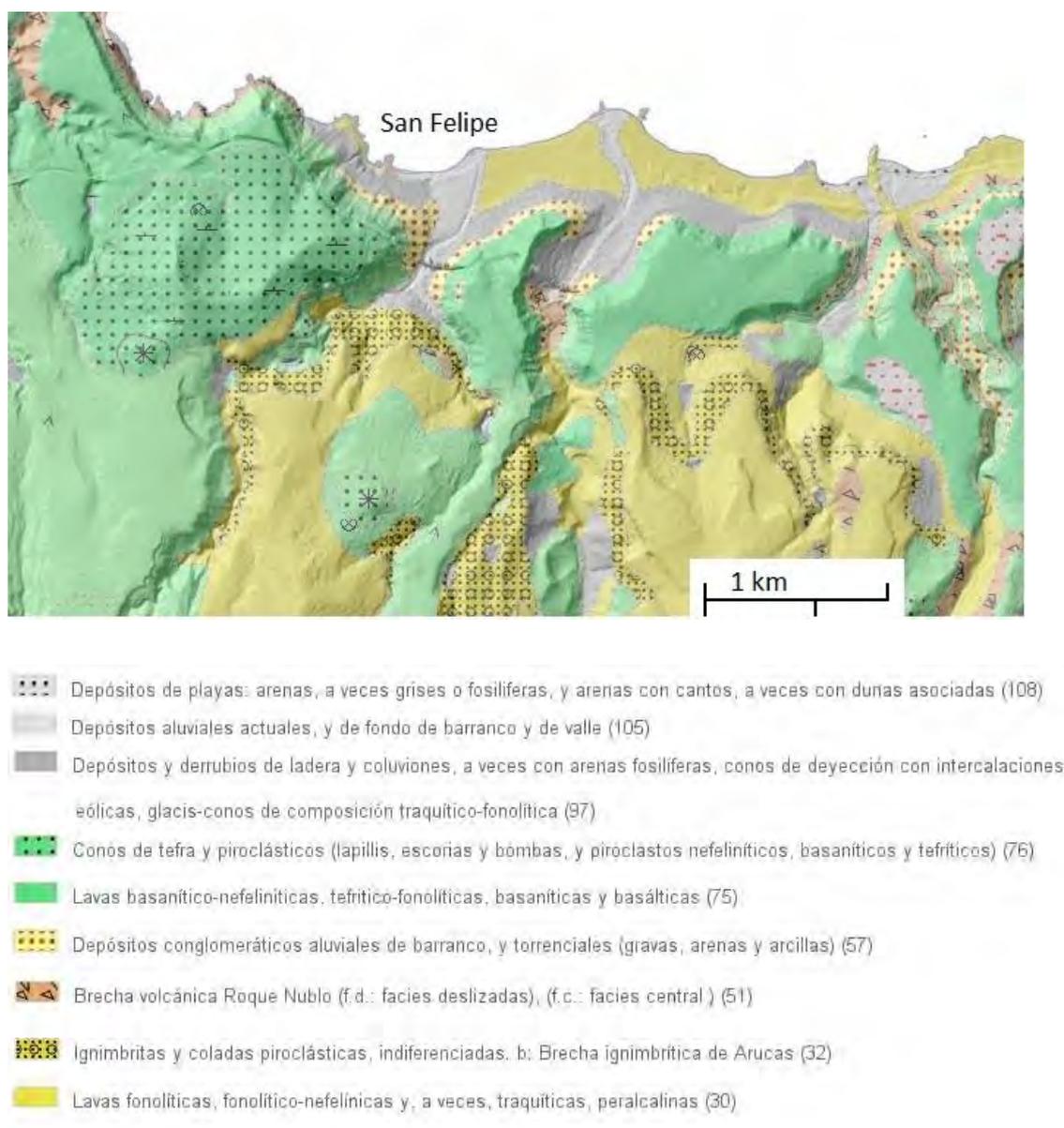


Figura 2. Mapa geológico de la zona de estudio y áreas por las que discurre el barranco de San Felipe, tomado de GRAFCAN.

1.4. Caracterización oceanográfica del entrono

El régimen de oleaje que se describe a continuación corresponde al oleaje en mar abierto, obtenido a partir de datos registrados en la boya Gran Canaria, situada al noroeste de la isla de Gran Canaria (Fig.3). Los datos utilizados corresponden a un período de diez años, entre julio de 2002 y julio de 2012. De este modo, se puede conocer cuáles son las condiciones del oleaje medio entorno al área de estudio.

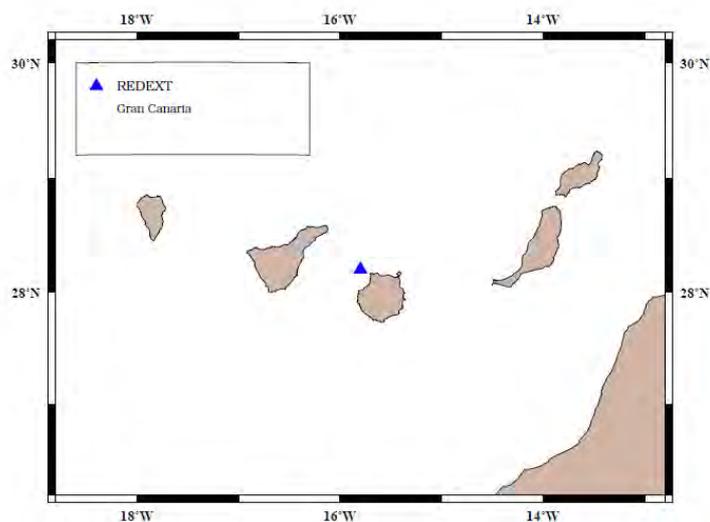


Figura 3. Localización de la Boya Gran Canaria situada a $-15,822E$ y $28,200 N$, en una zona 780 m de profundidad.

Sin embargo, el oleaje que llega a la costa depende de diferentes factores como son la batimetría, la línea de costa y la dirección de aproximación del oleaje. Por esta razón, para mayor exactitud de los datos sería necesario realizar una propagación del oleaje teniendo en cuenta dichos factores.

El oleaje dominante en el área de estudio procede del NNE. El valor medio de la altura de ola significativa es de 1,56 m en verano y 1,75 m en invierno, mientras que el período de pico presenta una estacionalidad mucho más marcada, con valores medios de 8,16 s en verano y 10,40 s en invierno (Fig.4). Sin embargo, de octubre hasta marzo es frecuente la presencia de temporales que generan alturas de ola máximas superiores a 3 m, llegando a alcanzar los 7 m en algunas ocasiones. A pesar de esto, hay inviernos, como el del año 2005, donde los temporales son más suaves y por el contrario, otros mucho más fuertes, como el del año 2009. Asimismo, durante el mes de abril de determinados años también se producen temporales aunque está fuera del período invernal.

También se caracterizó el oleaje durante el período comprendido desde un mes antes de la recogida de muestras, 1 octubre de 2012, hasta finales de abril de 2013, mes en el que se llevo a cabo la última campaña. La altura de ola significativa media para este período es de 1,74 m con un período de pico medio de 11,80 s. Este valor de la altura significativa coincide con el obtenido anteriormente, para el período de diez años, concretamente para el período invernal. Sin embargo, el promedio del período de pico es ligeramente superior.

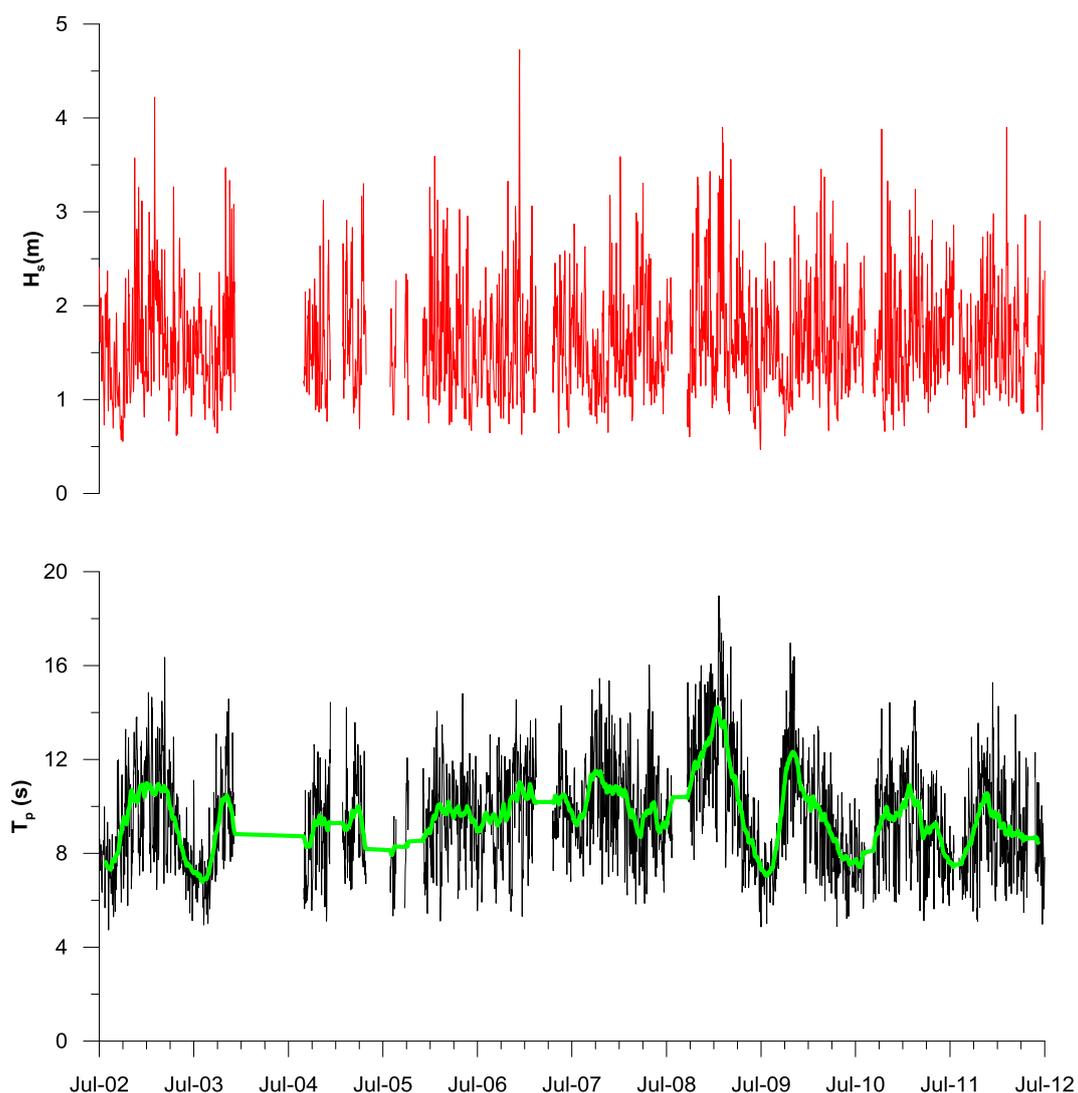


Figura 4. Datos medios diarios del oleaje registrado en la boya Gran Canaria desde julio de 2002 a julio de 2012. En la parte superior se representa la altura de ola significativa y en la inferior el período de pico espectral. La línea verde representa los datos suavizados con una media móvil con una ventana de 33 datos, para ilustrar la estacionalidad existente. Datos cedidos por Puertos del Estado.

La dirección predominante del oleaje durante este período es NNE (Fig.5). No obstante, también hay episodios donde la dirección procede del NNO. Normalmente, el oleaje procedente de dicha dirección corresponde a temporales. Desde el momento de la recogida de las muestras hasta la finalización de la última campaña se han producido aproximadamente 13 temporales, repartidos desde el mes de noviembre de 2012 hasta el mes de abril de 2013, siendo su duración muy variable, desde unas horas hasta varios días.

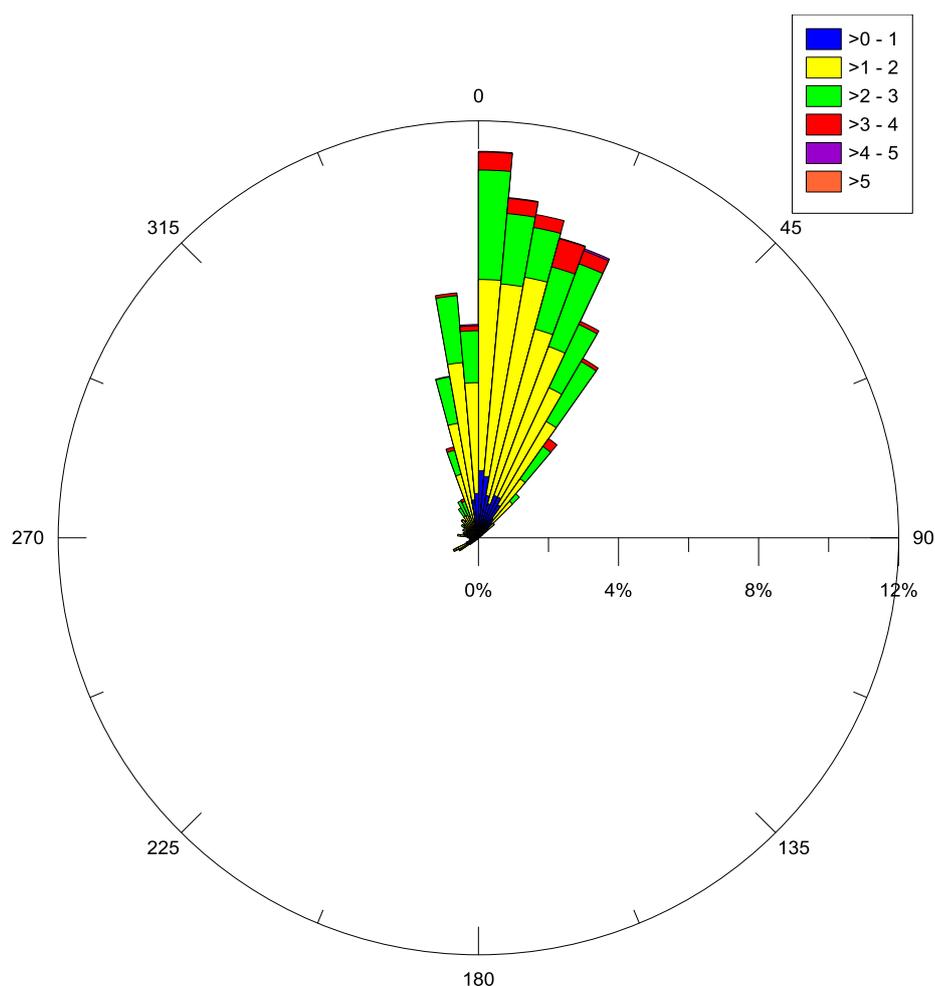


Figura 5. Representación direccional de la altura de ola significativa durante el período en que se llevo a cabo este trabajo de investigación. Datos cedidos por Puertos del Estado.

La figura 6 representa las variables oceanográficas registradas cada hora durante algunos de estos temporales, ocurridos durante el transcurso de este trabajo de investigación. No se presenta el valor de altura de ola máxima porque el sensor correspondiente estaba averiado.

Desde las 5:00 del día 24 de marzo de 2013 hasta 7:00 del día 25 de marzo de 2013 tuvo lugar un evento de tormenta (Fig.6.izq). La dirección de procedencia del oleaje era el NNO. La altura de ola significativa media para este temporal fue de 2,75 m con un período de pico de 14,17 s. En cuanto al otro temporal (5 abril de 2013) (Fig.6.dcha), el promedio de sus alturas de ola significativa fue de 2,71 m con un período de pico de 12,54 s. La dirección predominante en este evento fue de NNO.

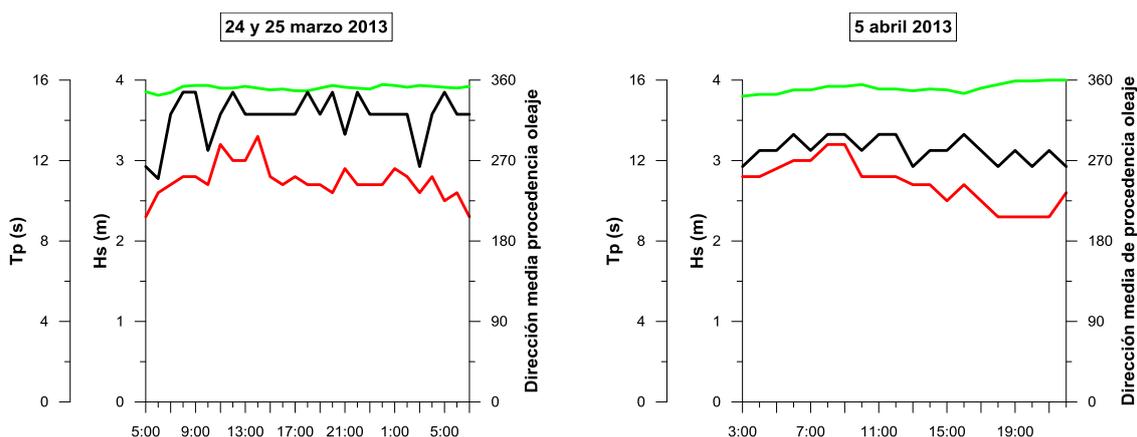


Figura 6. Representación de la dirección del oleaje (línea verde), altura de ola significativa (línea roja) y período de pico (línea negra) para dos temporales concretos, que tuvieron lugar durante el período entre las campañas 1 y 3 (24 y 25 marzo, Fig. izq) y entre la 3 y 4 (5 abril, Fig. dcha). Datos cedidos por Puertos del Estado.

1.5. Objetivos

El objetivo general de este trabajo de investigación es medir el transporte de cantos en una playa mixta con un sistema de detección preciso y adaptado a las condiciones locales del área de estudio. Para alcanzar este objetivo principal es necesario establecer una serie de objetivos específicos:

- Caracterización del clima marítimo de la zona de la playa de San Felipe.
- Caracterización morfométrica y composicional de los cantos.
- Determinación de las variaciones topográficas de la playa.
- Determinación de la posición de los cantos en distintos momentos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Preparación y medición de las características básicas de los cantos

2.1.1. Recogida de muestras

Para la toma de muestras se dividió la playa en seis zonas (Fig.7): tres sectores transversales (este, medio y oeste) y cada uno de ellos dividido en dos, en función de la berma (por encima de ella y por debajo). El muestreo se llevo a cabo el jueves 1 de noviembre de 2012 en bajamar, durante las mareas vivas de dicho mes. Se tomaron cuarenta y dos cantos distribuidos de forma aleatoria en cada uno de estos sectores. En total se recogieron doscientos cincuenta y dos cantos. De estos, sólo se requerían doscientos, pero se tomaron más por si durante el proceso de preparación sufrían alguna alteración que afectase a sus propiedades. A pesar de que la selección fue aleatoria, los cantos elegidos debían cumplir ciertas características a causa de las propias limitaciones del experimento. Se descartaban los que tuviesen todos los ejes inferiores a 40 mm y aquellos cuyo peso fuese superior a 10 Kg.



Figura 7. Sectorización de la zona de estudio: las líneas blancas representan la división de las seis zonas. A: por encima de la berma, B: por debajo de la berma, W: oeste, E: este, M: zona media.

2.1.2. Preparación de los cantos

La preparación de las muestras se hizo en tres fases, perforación del canto, preparación-introducción del *tag* (sensor pasivo de radio frecuencia utilizado para la identificación de los cantos) y sellado del canto.

La primera fase consistía en hacer una perforación en cada canto de 6 mm de diámetro y 40 mm de largo. Estas se realizaron con los taladros de pie que hay en el taller del departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Fig.8). Además, se utilizaron dos brocas de diferentes tamaños; 4,5 mm y 6 mm de diámetro, ambas *Blugranite* de la marca *Bosch*. La de menor tamaño se empleó para facilitar la perforación posterior con la de 6 mm. Las perforaciones debían hacerse en el eje corto, pero cuando este no llegaba a medir 40 mm o más, se utilizaba el eje intermedio. Si este tampoco alcanzaba los 40 mm, el agujero se hacía en el eje largo del canto.



Figura 8. Imágenes de los taladros utilizados para perforar los 200 cantos necesarios para este trabajo de investigación.

Asimismo, una de las principales preocupaciones era que este proceso de perforación alterase al canto, sin embargo, la pérdida de masa media que experimenta el canto es de sólo 1,10%, por lo que se puede considerar que este proceso no afecta a las características básicas de las partículas.

Los *tags* miden $30,2 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm}$ de largo y $3,8 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ de diámetro y están protegidos por una cápsula de cristal. Para evitar que se rompiesen con los

impactos que sufren los cantos en la playa, se introdujeron en una manguera de plástico de 4 x 6 mm de diámetro de la marca *Interdima* (Fig.9.izq). Una vez finalizado este proceso, se sellaban los dos extremos de la manguera con silicona ácida universal translúcida de la marca *Ceys*, y se introducían los *tags*, debidamente protegidos, en los cantos.

Finalmente, se sellaron los cantos con resina epoxi de dos componentes de la marca *Sadira* (Fig.9.dcha). Se utilizó este tipo de producto porque es muy resistente a los impactos que sufren los cantos, además de soportar grandes variaciones de temperatura.



Figura 9. Izquierda: Imagen de los tags, uno dentro de la manguera y el otro no. Derecha: Imagen de algunos de los 200 cantos durante el proceso de secado, una vez introducido el tag y sellado con la resina epoxi.

2.1.3. Caracterización morfométrica y composicional

Se midieron los tres ejes (largo, intermedio y corto) con un pie de rey con precisión de 0,1 mm. También se realizaron estas mediadas a trescientos cantos adicionales para confirmar que los seleccionados eran representativos con respecto a los cantos de la playa. A continuación, se pesaron en una balanza con precisión de 0,01 g.

El estudio de la composición básica de cada uno de los cantos se determinó mediante análisis *a visu* con apoyo de una lupa de mano.

2.1.4. Densidad

El procedimiento establecido para el cálculo de la densidad está basado en el método descrito por Hughes (1963), cuya finalidad es obtener la densidad de los cantos a través del peso. Se realizaron pequeñas modificaciones de dicho método para poder medir el volumen de los cantos grandes sin alterar el resultado final. El

método consiste en realizar tres pesadas, todas ellas con precisión de 0,01 g, y hallada previamente la densidad del agua, se puede conocer la densidad del canto. En la primera se pesaba el canto, previamente remojado en agua para colmatar los espacios vacuolares. La segunda consistía en enrasar con agua el vaso de precipitado, mientras que en la tercera se pesaba el canto dentro del vaso y se enrasaba con agua. La pérdida de peso que experimentaba el canto era igual al peso del agua desplazada, o el volumen del agua desplazada, que a su vez es igual al volumen del canto (Ecs. 1, 2 y 3). Para mejorar la precisión de los resultados, era necesario adaptar la capacidad del vaso de precipitado al tamaño del canto y realizar la medición por triplicado para cada uno de los cantos. En tres de los doscientos cantos no se pudo medir su volumen, porque el valor de la tercera pesada sobrepasaba el límite de detección de la báscula, (4,2 Kg).

$$\text{Pérdida peso (g)} = \text{Peso canto (g)} - (\text{dif. peso entre la pesada 2 y la 3})(g) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Volumen canto (cm}^3\text{)} = \text{Vol. agua desplazada (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Pérdida peso (g)}}{\text{Densidad agua } (\frac{\text{g}}{\text{cm}^3})} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\text{Densidad canto } (\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) = \frac{\text{Peso canto (g)}}{\text{Volumen canto (cm}^3\text{)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

2.2. Sistema de detección

El sistema de georreferenciación de marcas RFID se compone de una estación base y uno o varios equipos móviles de detección. La identidad y posición, obtenida por el GPS, de las marcas detectadas se almacenan en cada equipo móvil en una tarjeta *microSD* y se transmiten a la estación base en tiempo real a través del enlace radio en banda *ISM (869 MHz)*. Sin embargo, en una de las pruebas, previamente a la puesta a punto del sistema, se observó que los datos del GPS no eran correctos, debido a que la señal de los satélites era de baja calidad porque rebotaba en el acantilado de la zona sur de la playa, causando errores en los datos de posicionamiento. Por todo ello, los datos del GPS se desprecian sustituyéndolos por los obtenidos con una estación total.

La estación base registra los datos de detección obtenidos a lo largo de varias campañas en una base de datos diseñada al efecto. Mediante su interfaz gráfica, es posible visualizar en un mapa de la playa la posición georreferenciada de cada *tag* para la campaña en curso o su movimiento según las posiciones registradas a lo largo de diferentes campañas. La interfaz ofrece también información adicional sobre el estado de los equipos móviles como el nivel de baterías o la calidad del enlace radio con los equipos móviles de rastreo. Además, esta interfaz permite exportar como imagen, en formato *JPEG*, el mapa que se esté visualizando con las detecciones correspondientes o los de anteriores campañas, y exportar también como *EXCEL* la tabla con los datos de las coordenadas en formato UTM, la fecha y la hora de las detecciones y el identificador de las marcas detectadas.

Este software está hecho en lenguaje *Java* en el entorno de desarrollo *NetBeans*. Durante el funcionamiento del programa es necesario acceder a una base de datos *MySQL* para almacenar toda la información, además de la ejecución de código *PHP* para el correcto funcionamiento de la representación de las marcas RFID sobre la *API* (siglas en inglés de interfaz de programación de aplicaciones) de *Google Maps*, por lo que se tiene que tener instalado el servidor *XAMPP* en el ordenador portátil que se esté utilizando, teniendo activados los servicios *MySQL* y *Apache* mientras se esté utilizando el sistema software.

En esta implementación se ha diseñado un sistema de alimentación mediante dos baterías de gel-plomo de 12V y 7Ah conectadas en serie. La salida de la batería está conectada a un convertor DC-DC que permite convertir y estabilizar la tensión de salida de las baterías a cualquier tensión en el rango 7-24V y entregar hasta 10A. El rango de detección del lector RFID aumenta con la tensión de alimentación del circuito de radio por lo que en principio la alimentación a 24V, máximo admisible, podría ser la mejor opción. Sin embargo, a la máxima tensión se genera un exceso de calor que es necesario extraer del interior de la caja que aloja la electrónica. Tras experimentar con varias tensiones de alimentación se comprobó que a 18V se obtenía el mejor resultado global, es decir, la temperatura del detector se mantenía dentro de unos límites razonables, mientras que la distancia máxima de detección no disminuía de manera significativa (alrededor de un metro para una alineación detector - antena óptima).

Para evitar dañar las baterías de plomo debido a una descarga excesiva, el convertor DC-DC se ha programado para desconectar las baterías si la tensión de las mismas cae por debajo de 21V. No obstante, dicha tensión se mide simultáneamente mediante uno de los conversores A/D del *waspmote* y se transmite a la estación base

para su monitorización en el ordenador. De esta manera, es posible estimar el tiempo restante de autonomía del equipo de detección.

El sistema de detección de marcas RFID comprende cuatro elementos: el lector RFID (modelo *RI-CTL-MB2B*), el módulo *RFM* (modelo *RI-RFM-008B*) y el módulo sintonización (modelo *RI-ACC-008B*) (Tabla I), todos ellos de *Texas Instruments*, y una antena de diseño propio (Fig.10).

Tabla I. Resumen de los componentes que forman tanto el sistema móvil como la estación base.

Sistema	Subsistema	Componentes
Componentes de la estación base	Waspnote	Receptor GPS SirFIII de 12 canales y un modem radio XBee 868 Pro
	Portátil/Netbook	Con conexiones USB directas al Waspnote y a la estación
	Estación total	
Componentes del equipo móvil	Batería de 24 V	Baterías de gel-plomo de 12V y 7Ah
	Lector RFID	RI-CTL-MB2B
	Módulo RFM	RI-RFM-008B
	Módulo de autosincronización	RI-ACC-008B
	Antena	Diseño propio
	Waspnote	Receptor GPS SirFIII de 12 canales y un modem radio XBee 868 Pro
	Adaptador RS232-3V3	

La antena es una estructura circular de 80 cm de diámetro que contiene una bobina de tres vueltas de hilo de cobre macizo de 1,88 mm de sección. El módulo de sintonización se usó para ajustar el circuito de radiofrecuencia a la frecuencia de resonancia de la antena.

Desde el *waspnote* se monitoriza constantemente el estado del lector, emitiéndose alertas sonoras tanto cuando se produce una detección como cuando la comunicación entre el *waspnote* y el lector falla.



Figura 10. Izquierda: Imagen del sistema de detección. Derecha: Punto base donde se reciben los datos del sistema de detección y se posicionan con la estación total.

El procedimiento a seguir en cada una de las campañas es siempre el mismo. Primero hay que conectar todos los aparatos, anteriormente mencionados. Seguidamente se procede a la búsqueda de los cantos. Este tipo de sistemas requieren como mínimo tres personas (Fig.11); una responsable del software del portátil y de tomar las mediciones con la estación total, otro que lleve el sistema de detección móvil (antena) y por último, la tercera persona es la encargada de posicionar los cantos con el prisma. El individuo que hace la búsqueda, barre la playa en segmentos perpendiculares a la línea de costa sin dejar espacios entre cada uno de ellos. Este barrido se realiza por separado entre la zona superior e inferior del perfil de playa dependiendo de la bajamar.



Figura 11. Imagen en la que se puede observar el procedimiento de detección de cantos. Mientras la persona responsable del prisma está posicionando el canto anteriormente detectado, la que lleva la antena sigue buscando el resto de cantos.

Debido a la duración de las campañas, entre cuatro y seis horas, es necesaria una buena organización para poder realizar la búsqueda en todas y cada una de las zonas de la playa. Cuando la antena emite una señal acústica significa que se ha detectado un canto, entonces la persona que lleva la antena, se para hasta que viene la responsable del prisma para posicionar dicha detección.

2.3. Campañas

Una vez que los doscientos cantos estaban preparados y el sistema de detección a punto, se llevaron a cabo un total de siete campañas distribuidas según indica la tabla II.

Tabla II. Resumen de las campañas realizadas en la playa de San Felipe para este estudio de investigación.

Nombre	Día	Tareas realizadas
Campaña 0	14 marzo 2013	Siembra
Campaña 1	19 marzo 2013	Detección
Campaña 2	23 marzo 2013	Topografía
Campaña 3	2 abril 2013	Detección
Campaña 4	10 abril 2013	Detección
Campaña 5	17 abril 2013	Topografía
Campaña 6	25 abril 2013	Topografía y detección

La campaña 0 se llevo a cabo el día 14 marzo de 2013 en bajamar durante las mareas vivas de ese mes y se destinó a situar en la superficie de la playa los doscientos cantos con los correspondientes *tags*. La siguiente, campaña 1, se realizó el 19 marzo de 2013 con mareas muertas, y permitió realizar una primera detección de cantos. En la campaña 2, 23 marzo de 2013, la antena utilizada para la detección de los cantos se estropeó impidiendo realizar las mediciones correspondientes, por lo que únicamente se hizo la topografía de la playa. Las campaña 3 y 4, realizadas el 2 y 10 de abril de 2013, permitieron realizar sendas nuevas detecciones de cantos. En la campaña 5 volvió a fallar el sistema de detección, por lo que sólo se pudieron tomar datos de la topografía, si bien en esta ocasión con un DGPS (GPS diferencial). Finalmente, la campaña 6, se realizó en mareas vivas, el día 25 de abril de 2013. Las mediciones de esta campaña se hicieron con una estación total de la marca *Leica*. En esta última campaña se realizó detección de cantos y topografía.

Las coordenadas obtenidas para la posición de cada uno de los cantos se representaron con el software *ArcGis v.9.3* y con *Grapher 9*.

Tal como se refleja en la tabla II, se realizaron tres levantamientos topográficos los días 23 de marzo, 17 y 25 de abril de 2013. Para el primero se utilizó la estación total *Topcon* modelo *GTS 300D*, para el segundo un GPS diferencial de la marca *Thales* modelo *Promark3* y para el tercero una estación total marca *Leica* modelo *TCR 207*. A pesar de que los datos medidos procedan de diferentes instrumentos, la precisión de todos ellos es subcentimétrica, por lo que los resultados son perfectamente comparables entre sí.

Las estaciones totales se utilizaron en modo coordenada, de manera que no se requería ningún cálculo a postproceso. Sin embargo, los datos del DGPS requerían un postproceso, que se ejecutó con el software *GNSS solutions*. Todos aquellos datos obtenidos con el DGPS cuyo coeficiente de levantamiento era superior a 0,15, fueron descartados. A continuación, se representaron las diferentes superficies topográficas con el software *Surfer v.9*. Para ello, se empleó la interpolación con el método *kriging*, con un tamaño de malla de 1 x 1 m. Tanto los datos del DGPS como los de las dos estaciones totales se refirieron a una proyección *UTM/WGS 1984 zone 28 N*, que son las coordenadas correspondientes a Canarias en una proyección Mercator.

Inicialmente se calcularon las coordenadas del punto de referencia instalado en la playa, sobre el que se sitúa la estación o la antena del DGPS en cada una de las campañas, mediante *Google Earth*. De esta manera, todos los datos siempre están referidos al mismo punto. También se utilizó un DGPS para comprobar que las coordenadas del punto de referencia obtenidas con dicho programa eran precisas. Para ello, se situó la base del DGPS en un punto de coordenadas conocidas, concretamente, en el vértice geodésico *Gallego* de la red de GRAFCAN, el más cercano a la zona de estudio (Fig.12). El otro DGPS se posicionó en el punto de referencia durante 15 minutos. Los resultados muestran que las coordenadas obtenidas con *Google Earth* tienen un error de apenas 18 cm con respecto a las obtenidas con el DGPS.



Figura 12. Izquierda: Localización del vértice geodésico empleado para la obtención de las coordenadas del clavo de la playa de San Felipe. El punto rojo (parte inferior derecha de la imagen) corresponde a la situación exacta del vértice, y el recuadro rojo indica la playa de San Felipe. Derecha: Imagen del vértice geodésico Gallego con la antena del DGPS en el momento de la obtención de las coordenadas del clavo.

3. RESULTADOS

3.1. Composición

La tabla III sintetiza las características composicionales observadas para el total de los doscientos cantos analizados, en los cuales se pueden diferenciar dos tipos de rocas, las félsicas y las máficas. Dentro de las félsicas destacan por su abundancia las fonolitas, con gran presencia en el área de estudio, que presentan un color gris verdoso muy característico. Por el contrario, los basaltos son rocas máfica que tienen colores más oscuros. En los basaltos olivínicos se indica si el olivino se encuentra alterado (colores amarillentos) o fresco (colores verdosos), debido a que en función de esta característica es posible establecer su edad aproximada. Los basaltos con olivinos alterados proceden del ciclo del Roque Nublo (Plioceno), mientras que los frescos pertenecen al ciclo post Roque Nublo (Plioceno y Pleistoceno). Otra característica bastante común en los basaltos analizados es la presencia de piroxenos, cristales de color negro.

Tabla III. Resumen de las principales características composicionales de los cantos. El olivino puede ser fresco (f) o alterado(a).

Tipo roca	Categoría	Cantidad
Félsica	Fonolita	92
Félsica	Fonolita con cristales de feldespato	3
Félsica	Tefrita-fonolita	4
Félsica	Tefrita-fonolita con cristales de feldespato	1
Félsica	Ignimbrita	2
Máfica	Basalto olivínico (olivino a ó f)	42
Máfica	Basalto olivínico (a ó f) ligeramente vacuolar y vacuolar	4
Máfica	Basalto olivínico (a) - plagioclásico con xenolitos de roca plutónica	1
Máfica	Basalto olivínico (a ó f) - piroxénico	31
Máfica	Basalto olivínico (a ó f) - piroxénico ligeramente vacuolar y vacuolar	15
Máfica	Basalto olivínico (a) con zeolitas	3
Máfica	Basalto olivínico-piroxénico- plagioclásico	1
Máfica	Basalto ligeramente vacuolar y afanítico	1

Los valores de densidad obtenidos muestran claramente dos intervalos muy bien definidos: el primero de $2,5 \text{ g/cm}^3$ a $2,7 \text{ g/cm}^3$, y el segundo de $2,8 \text{ g/cm}^3$ a $3,0 \text{ g/cm}^3$, correspondiendo a los dos tipos de rocas existentes en la playa, félsicas y máficas, respectivamente (Fig.13). Estos valores de densidades son coherentes para este tipo de rocas, por lo que se puede afirmar que el método empleado para la medición del volumen de los cantos, basado en el método de Hughes (1963), es adecuado para el estudio de cantos de gran volumen, así como de tamaños menores.

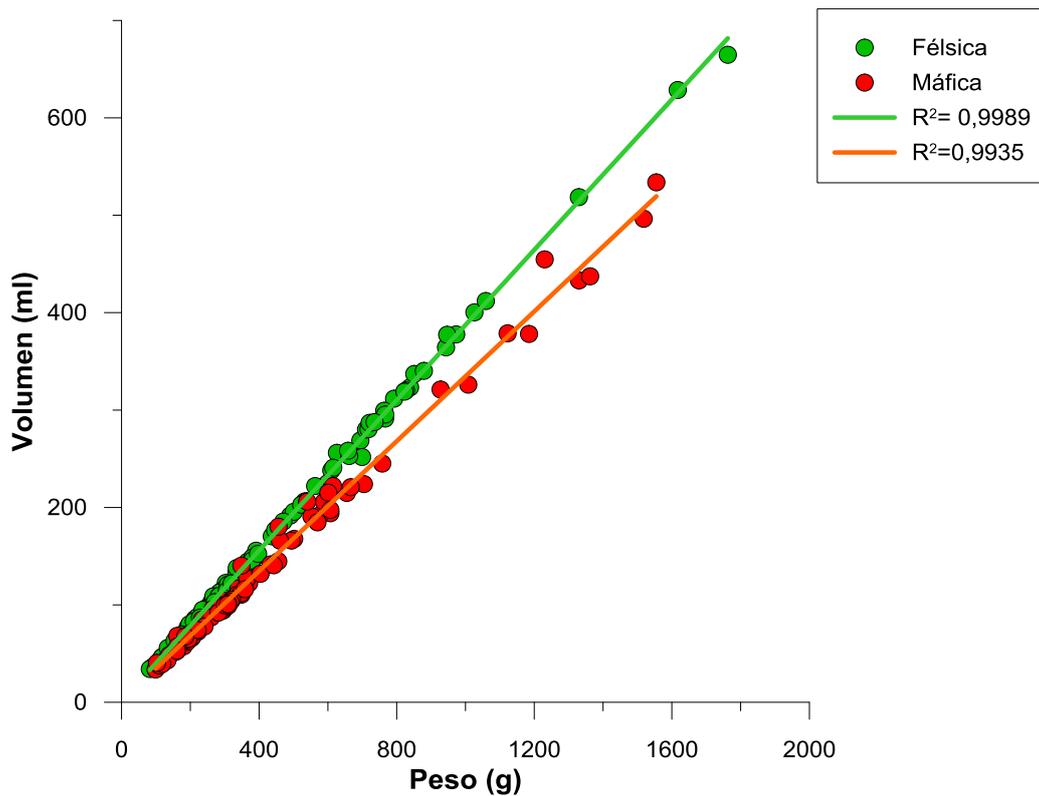


Figura 13. Representación del peso (g) frente al volumen (ml) de cada canto.

3.2. Morfología

Los doscientos cantos utilizados presentaban unas dimensiones normales dentro del conjunto de canto de la playa, de forma que el eje mayor oscilaba en el rango 49,2-160 mm, y el eje menor variaba entre 26-90 mm. Respecto al peso, los cantos estaban entre 82-2837g, las principales características medidas en los cantos se muestran en la tabla IV, donde los valores del peso fueron obtenidos una vez los cantos habían sido perforados, el *tag* introducido y el agujero sellado.

Tabla IV. Resumen de las características básicas de los cantos estudiados separados por sectores.

Zona	Valor	Ejes (mm)			Peso (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/cm ³)
		Largo	Intermedio	Corto			
WB	Máximo	136,00	107,00	67,00	1329,78	518,63	3,16
	Mínimo	50,00	42,50	26,00	90,18	33,64	2,45
	Promedio	84,72	62,92	43,23	414,19	147,70	2,85
WA	Máximo	154,00	132,00	90,00	2836,76	664,75	3,12
	Mínimo	50,80	39,50	26,20	103,30	39,30	2,41
	Promedio	83,44	66,07	42,45	488,94	132,66	2,74
MB	Máximo	150,80	97,20	73,00	1518,12	496,41	3,15
	Mínimo	54,00	41,80	31,00	130,32	43,19	2,47
	Promedio	88,56	66,76	46,54	478,89	175,46	2,74
MA	Máximo	149,80	99,50	79,10	1617,09	628,58	3,15
	Mínimo	49,20	37,60	28,60	82,30	34,12	2,38
	Promedio	78,49	59,58	41,79	324,39	124,73	2,60
EB	Máximo	160,00	108,00	70,00	1330,17	433,10	3,13
	Mínimo	55,90	42,00	32,30	160,50	52,49	2,51
	Promedio	91,25	67,19	47,13	501,47	176,10	2,91
EA	Máximo	157,00	135,00	70,30	2048,98	533,81	3,09
	Mínimo	53,50	43,20	32,10	139,11	48,15	2,50
	Promedio	87,87	69,18	47,06	495,84	166,61	2,68

La figura 14 muestra los porcentajes de los distintos intervalos tanto de peso como de volumen. En ambos casos, la mayoría de los cantos utilizados para realizar este estudio se encuentran entre los 600 g y 200 ml. Los cantos con mayores valores de peso y volumen presentan frecuencias menores de un 5%. Estos resultados coinciden

con lo establecido en la tabla IV donde los valores medios para el peso oscilan entre 400 y 500 g y los del volumen entre 120 y 160 ml.

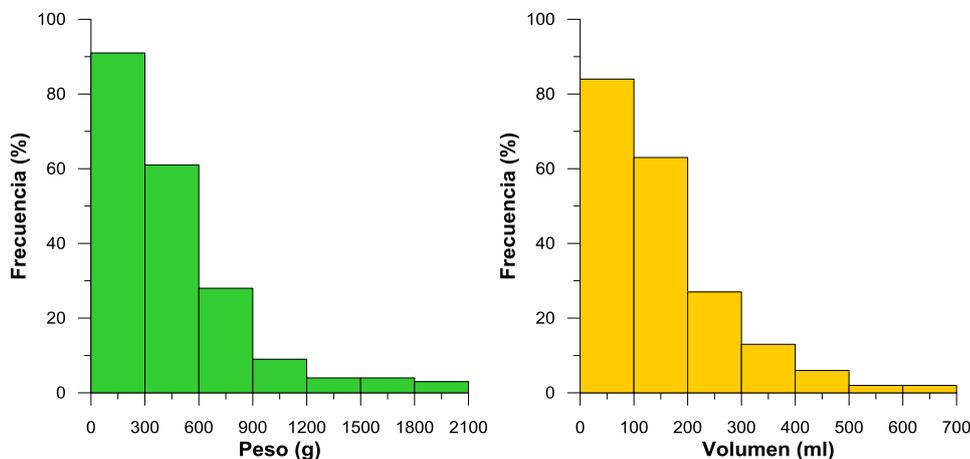


Figura 14. Representación de la frecuencia en porcentaje del peso (g) y del volumen (ml) para el conjunto de los cantos.

Una de las técnicas de clasificación de cantos es el índice de Zingg (Zingg, 1935; citado por Curtiss *et al.*, 2009), basado en la representación de los índices de aplanamiento (eje corto/eje intermedio) vs elongación (eje intermedio/eje largo). De este modo, podemos conocer cuáles son las formas predominantes de los cantos seleccionados: tabular u oblada, equidimensional, alargada (o prolada) y laminar.

La figura 15A muestra la representación gráfica del índice de aplanamiento y elongación para cada uno de los cantos de los seis sectores considerados, y los valores de los trescientos cantos adicionales que se estudiaron. Además, también se analizan los valores medios de cada una de las zonas (Fig.15B). En estos resultados, se observa que los valores medios del índice de Zingg de todas las zonas corresponden a la forma equidimensional donde todos los ejes presentan tamaños similares, excepto la zona oeste alto que presenta una forma tabular u oblada, pero con un valor cercano a la forma equidimensional. De los cantos seleccionados, ninguno presenta forma laminar, pero en cambio algunos de los trescientos cantos si presentan esta forma. Esto es debido a que el propio experimento tiene limitaciones, es decir, los cantos seleccionados no pueden ser muy planos porque de lo contrario no se pueden perforar para introducir el tag.

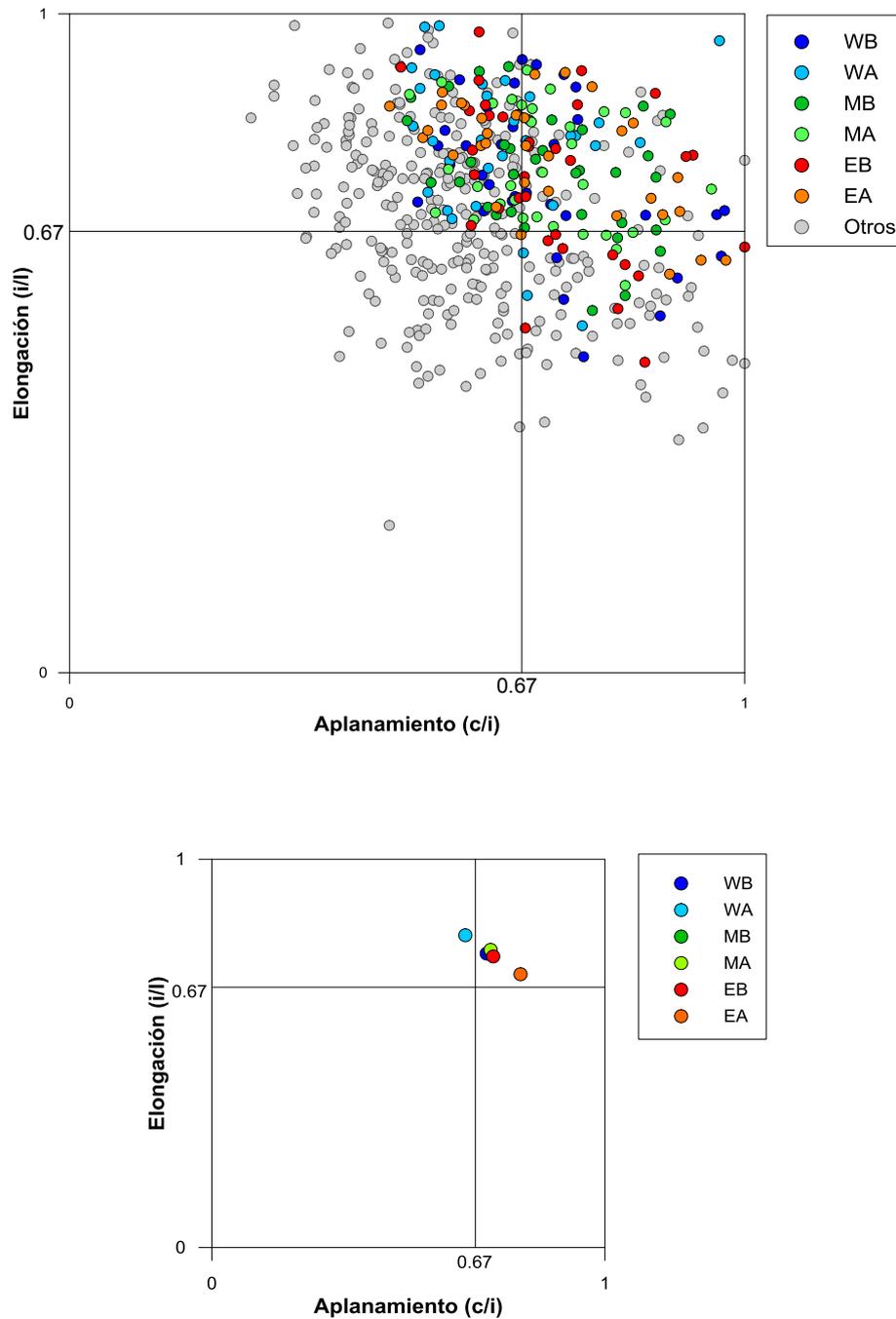


Figura 15. A) Clasificación de Zingg para cada uno de los 200 cantos divididos por las subdivisiones del área de estudio. Los de color gris representan los 300 cantos adicionales que se estudiaron. B) ídem para los valores medios de los cantos de cada zona.

3.3. Rango de detección

Para conocer cuál es la capacidad de detección de la antena en los tres tipos de medios diferentes que presenta la playa, cantos, arena y agua, se realizaron varios ensayos para hallar el umbral de profundidad a partir del cual el sistema ya no detecta

los cantos. En la tabla V se resumen todas las profundidades límite de pendiendo del eje en el que esté insertado el *tag*.

Tabla V. Resumen de los umbrales de detección de la antena en tres tipos de medios diferentes.

Tipo sustrato	Eje	Profundidad máxima detección (cm)
Cantos	Corto	46
	Intermedio	25
	Largo	15
Arena	Corto	35
	Intermedio	21
	Largo	17
Agua	Corto	22
	Intermedio	16
	Largo	13,5

De los valores expuestos en la tabla V se desprende que el rango de detección es mayor cuando el *tag* está insertado en el eje corto del canto (lo cual es la posición más favorable ya que es la más estable), mientras que la menor distancia de detección se registra cuando el *tag* se encuentra en el eje más largo del canto. Estos resultados coinciden con los expuestos por Bertoni *et al.* (2010), que obtuvo rangos de detección de 40 cm. Sin embargo, otros autores, como Curtiss *et al.* (2009) y Dickson *et al.* (2011) obtuvieron rangos desde 40 cm hasta 80 cm. Por otra parte, la mayor distancia de detección se produce cuando el *tag* está enterrado entre cantos, disminuye cuando se trata de arena y aún menor cuando está sumergido en el agua, lo cual es lógico considerando que las ondas electromagnéticas se propagan peor en el agua que en medios sólidos. Además, la atenuación de la señal en el agua depende de la frecuencia del campo electromagnético y de la conductividad del agua (Bertoni *et al.*, 2010).

La antena también tiene un error en superficie de 80 cm que es la distancia equivalente a su diámetro, por ello, todos aquellos cantos cuyo valor de desplazamiento es aproximadamente 1 m, se considera que han permanecido inmóviles.

3.4. Tasa de detección

Se realizaron siete campañas en total, y en cuatro de ellas (campaña 1, 3, 4, y 6, tabla II) se pudo hacer la detección y posicionamiento de los cantos. El porcentaje de cantos detectados en cada una de estas campañas fue del 71,5% en la campaña 1, realizada sólo 5 días después de la siembra; el 57,5% en la campaña 3, el 57% en la campaña 4 y únicamente el 15% en la campaña 6. Estos valores son del mismo orden que los observados en la bibliografía (Allan *et al.*, 2006, Bertoni *et al.*, 2010, Dickson *et al.*, 2011 y Curtiss *et al.*, 2009).

En la figura 16 se resume todos los porcentajes de cantos detectados en cada una de las campañas, para los seis sectores en que se dividió la playa. Obsérvese que en la campaña 0 no todas las zonas parten del 100 %, lo cual es debido a que tres de los cantos no pudieron ser posicionados.

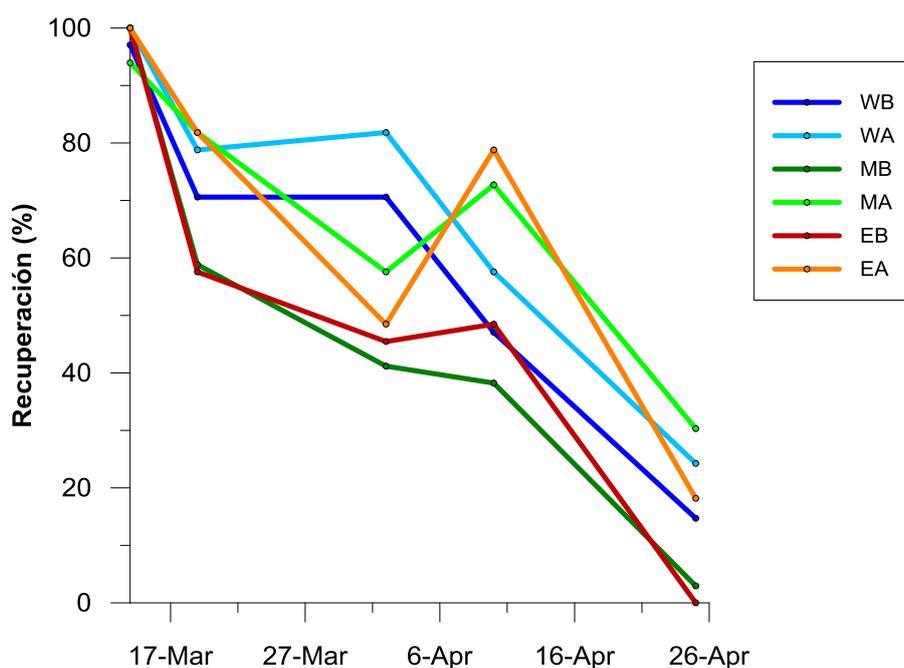


Figura 16. Representación gráfica de los porcentajes de recuperación de las distintas campañas llevadas a cabo para este trabajo de investigación.

Por lo general, existe una clara tendencia a la disminución de la tasa de recuperación a medida que transcurre el tiempo y para las seis zonas de la playa, exceptuando la campaña 4, en que algunas de las zonas presentan un aumento considerable de dicha tasa. No obstante, y como pauta general, hay mayor porcentaje

de recuperación de cantos en las partes altas de la playa que en las bajas, lo cual es debido a que el transporte de partículas en las zonas altas es mucho menor que en las bajas.

3.5. Transporte de cantos

A partir de los datos obtenidos en las diferentes campañas, se observa que los cantos de las zonas bajas presentan una tendencia general de desplazamiento longitudinal de oeste a este. Sin embargo, los de las zonas localizadas por encima de la berma no siguen esta pauta. A pesar de esto, algunos de los cantos situados en las zonas altas y cercanas a la berma se han deslizado por gravedad hacia las zonas bajas. Una vez en dichas zonas, sufren el mismo transporte hacia el este que el resto de cantos de las zonas bajas. La tendencia hacia el este permanece hasta la última campaña. También se producen desplazamientos en sentido transversal (N-S), aunque de magnitudes inferiores al longitudinal (E-O), aunque existe una clara tendencia hacia el sur. Por lo tanto, los cantos se desplazan predominantemente en dirección sur y este; un 77,2% de los desplazamientos son en dirección este y un 74,4% hacia el sur.

A continuación se detallan todos los datos recopilados para cada uno de los sectores de la playa de San Felipe:

Sector este alto (Fig.17): El promedio de la distancia absoluta recorrida desde la campaña 0 hasta la campaña 1 es de 1,1 m. Todas aquellas distancias cuyo valor es aproximadamente 1 m, se considera que el canto no se ha movido. Esta diferencia se debe al error generado por la propia antena utilizada para la detección. Para este período, los cantos número 126 y 128 se han desplazado 6,5 m y 10,2 m, en dirección 342° N y 35° N, respectivamente. Ambos en el momento de la siembra se posicionaron encima de la berma, y debido a la acción del oleaje pasaron a formar parte de la zona EB (este bajo) que está afectada directamente por el oleaje, causando estos grandes desplazamientos.

En el período comprendido entre las campañas 1 y 3, sólo cinco de los cantos detectados han variado su posición significativamente con respecto a la campaña anterior. Estos cantos son los numerados como 115, 107, 128, 126 y 105. Como se ha mencionado anteriormente, los cantos número 128 y 126 se encuentran en la parte baja del extremo este de la playa, estando expuestos al oleaje. El número 105 se ha desplazado una distancia de 36,7 m, siendo una distancia considerable para un canto de 2049 g que ha permanecido en todo momento en la zona superior de la berma. La

distancia de 3,4 m que ha recorrido el canto número 107 se desprecia porque se considera que es un dato erróneo, ya que en la campaña 4 vuelve a aparecer cerca de la posicional inicial, en un ratio de aproximadamente 1 m, considerado como el ratio de error de la antena. El canto 115, cuyo peso es de 607,3 g recorre una distancia de 1,7 m en dirección 195° N.

Desde la campaña 3 hasta la 4, la distancia media recorrida es de 0,7 m en esta zona. Por tanto, se puede decir que los cantos detectados han permanecido quietos con respecto a la posición de la campaña anterior. Lo mismo ocurre entre las campañas 4 y 6, ya que la distancia de todos los cantos se encuentra por debajo del valor considerado como ratio de error.



Figura 17. Localización de los cantos sembrados en la parte superior de la berma al este de la playa. Los puntos blancos corresponden a la posición en la que se sembraron. El rojo es para las posiciones obtenidas para la campaña 1, el amarillo para campaña 3, el azul para campaña 4, y finalmente, el verde para la 6.

Sector este bajo (Fig.18): Por lo general, en las zonas bajas es donde se producen los mayores transportes debido a que es una zona con bastante exposición al oleaje.

Desde el inicio, los cantos situados en el este sector se han desplazado. Para el primer período, entre la 0 y la campaña 1, los valores de las distancias recorridas varían desde 2 m aproximadamente hasta los 27 m. Esto pone de manifiesto la importancia del oleaje en el transporte de los cantos. No existe una dirección predominante porque los cantos se mueven tanto hacia el este y oeste como al norte y sur.

La mayor distancia media corresponde al intervalo comprendido entre las campañas 1 y 3. Este valor es de 30,6 m, con un mínimo de 6,4 m y un máximo de 72,0 m.

Durante el transcurso del tiempo entre las campañas 3 y la 4, los cantos no se han movido significativamente, exceptuando el número 76 que se desplazó 6,4 m.

Por último, en la última campaña no se detectaron los cantos pertenecientes a esta zona, y por tanto, no se pueden calcular las distancias recorridas para este período.

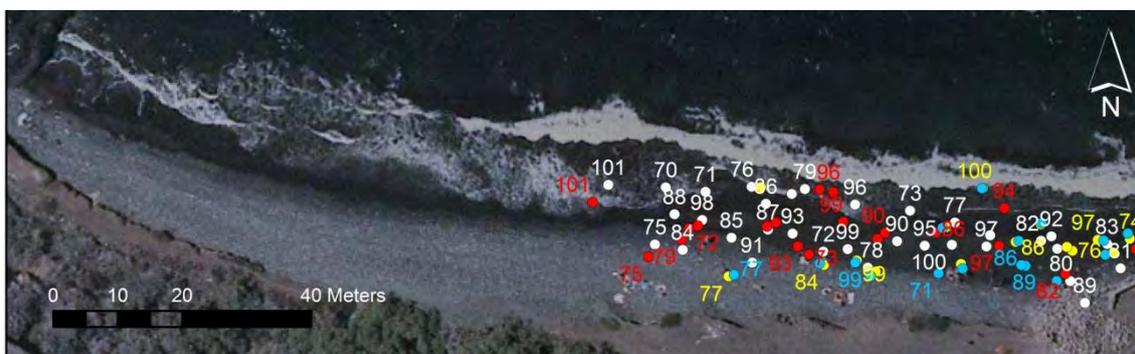


Figura 18. Localización de los cantos sembrados en la parte inferior de la berma al este de la playa. Se reflejan los datos para la campaña 0 (blanco), campaña 1 (rojo), campaña 3 (amarillo) y campaña 4 (azul).

Sector medio alto (Fig.19): Como sucede en todas las zonas situadas por encima de la berma, no existen movimientos significativos de los cantos, a excepción de aquellos, que por acción de la gravedad, terminan en la parte inferior de la berma, entrando a interactuar con el oleaje, que a su vez, provoca su desplazamiento. El 88,9% de los cantos detectados entre las campañas 0 y 1 han experimentado movimientos menores de 1 m, y los que recorrieron distancias mayores lo hicieron como consecuencia de deslizarse por la berma. Cabe destacar el canto número 144 que se desplazó 14,3 m en dirección 334° N y el 137 cuya distancia fue de 23,3 m en dirección 301° N.

Entre las campañas 1 y 3, el 50% de los cantos no ha variado su posición, lo que significa que el otro 50% si lo ha hecho, y por ser una zona alta, este valor es muy elevado. Las distancias recorridas varían desde 2,5 m hasta 62,4 m. Todos estos desplazamientos se han producido hacia el NO y SO. Las mayores distancias corresponden a cantos que por acción del oleaje han pasado a la zona baja de la playa.

Durante el período entre las campañas 3 y 4, gran parte de los cantos detectados han permanecido inmóviles, a excepción de los cantos número 152, 137 y 156, que se han desplazado 6,6 m, 40,6 m y 50,7 m, respectivamente. La dirección de todos estos desplazamientos ha sido hacia el SE, concretamente, 118° N, 99° N y 107° N, respectivamente. El principal motivo de estos desplazamientos es que estos cantos han pasado de la zona alta a la baja de la playa, estando más expuestos al oleaje.

Desde la campaña 4 hasta la 6 todos los cantos han permanecido en la misma posición. No obstante, cabe mencionar el canto 144 que desde la campaña 1 no había sido detectado en ninguna de las campañas intermedias. En este caso, el desplazamiento neto experimentado ha sido de 53,7 m en los 37 días que separan las campañas 1 y 6.

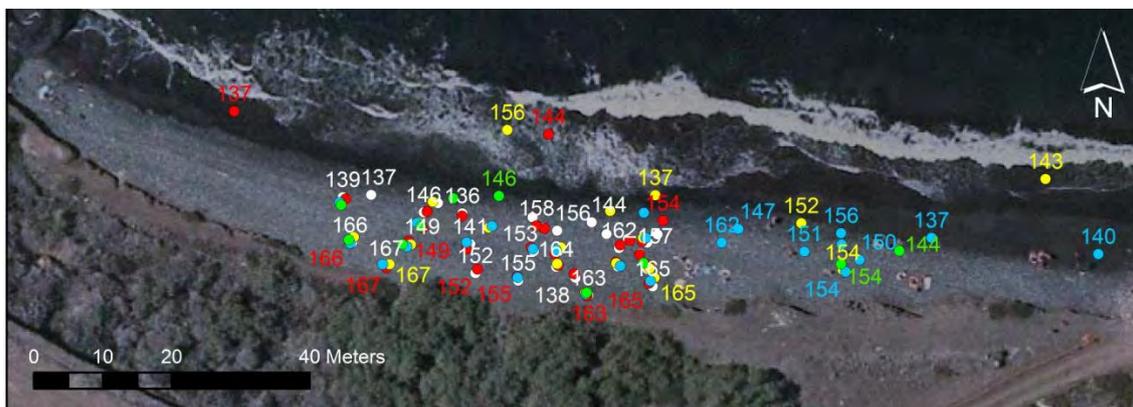


Figura 19. Posiciones de los cantos detectadas en cada una de las campañas realizadas en el sector medio alto de la playa (campaña 0 (blanco), campaña 1 (rojo), campaña 3 (amarillo), campaña 4 (azul), campaña 6 (verde)).

Sector medio bajo (Fig.20): El 95% de los cantos se han desplazado 21,0 m, como promedio desde el momento de la campaña 0 hasta la campaña 1, siendo el mínimo una distancia absoluta de 2,0 m y una máxima de 64,5 m. Si bien ha habido algunos desplazamiento hacia el E, el 39,7% de los movimientos, predominan los que tuvieron lugar hacia el O, con un 60,3%.

En el período entre las campañas 1 y 3 todos los cantos se movieron hacia el SE, con distancias muy significativas que oscilaban desde 14,3 m para el número 49 hasta 98,1 m para el 59.

Entre las campañas 3 y 4 sólo hubo un desplazamiento neto superior a 1 m del canto 55, que se movió 10,4 m con dirección 308 ° N. Finalmente, en la campaña 6 sólo se encontró el número 45 que recorrió 2,4 m en dirección 122° N.



Figura 20. Posiciones de los cantos detectadas en cada una de las campañas realizadas en el sector medio bajo de la playa (campaña 0 (blanco), campaña 1 (rojo), campaña 3 (amarillo), campaña 4 (azul) y campaña 6 (verde)).

Sector oeste alto (Fig.21): De los tres únicos cantos que se han desplazado en los 5 días que hay entre las campañas 0 y la 1, dos de ellos se encontraban en el límite de la berma, por lo que pueden haber sufrido el efecto de la gravedad moviéndolos hacia el sector oeste bajo. Sin embargo, el canto 171 se encuentra lejos de la cresta de la berma y se ha desplazado 3,5 m dirección 253° N.

Entre las campañas 1 y 3 sólo el 31,8% de los cantos encontrados se desplazaron. La mayoría hacia el SE, salvo el 187 que lo hace hacia el NO, 301° N. Como caso anómalo cabe mencionar el canto 194 que se desplaza 36,7 m por encima de la berma, dirección 118° N.

Entre las campañas 3 y 4 sólo se han movido dos cantos, pero con desplazamientos muy considerables: 40,6 m y 114,5 m, los cantos 195 y 183 respectivamente, y en ambos casos hacia el E.

Ninguno de los cantos se ha desplazado desde la campaña 4 hasta la 6, si bien en esta última, se detecta el canto 171, del que no se tenían datos desde la campaña 1. En estos 37 días ha recorrido una distancia neta de 101,6 m hacia el SE.



Figura 21. Posiciones de los cantos detectadas en cada una de las campañas realizadas en el sector oeste alto de la playa (campaña 0 (blanco), campaña 1 (rojo), campaña 3 (amarillo), campaña 4 (azul), campaña 6 (verde)).

Sector oeste bajo (Fig.22): El promedio de la distancia recorrida desde el momento en que se sembraron hasta la campaña 1 es de 12,8 m, siendo el mínimo de 2,1 m y el máximo de 23,3 m. Como sucede en los sectores anteriores, en dicho período, los cantos se transportan tanto en dirección este como oeste, y tanto hacia el norte como el sur.

Entre las campañas 1 y la 3 los valores de transporte son muy elevados, varían desde 10,4 m hasta 122,3 m, y con un promedio de 54,9 m. Todas estas distancias han sido realizadas en dirección E-SE, desde 92° N hasta 146° N.

Entre las campañas 3 y 4 más de la mitad de los cantos se han desplazado. Todos ellos en dirección este, pero tanto al norte como al sur, con una distancia media de 20,9 m. Concretamente, entre valores de 7,7 m en dirección 168° N para el canto 16 hasta 71,8 m en dirección 95° N para el 26.

En la última campaña el porcentaje de recuperación de los cantos fue muy bajo, así que existen pocos datos disponibles de distancias. No obstante, en todos los casos el transporte ha sido hacia el E y SE respecto a la última campaña en que fueron detectados.

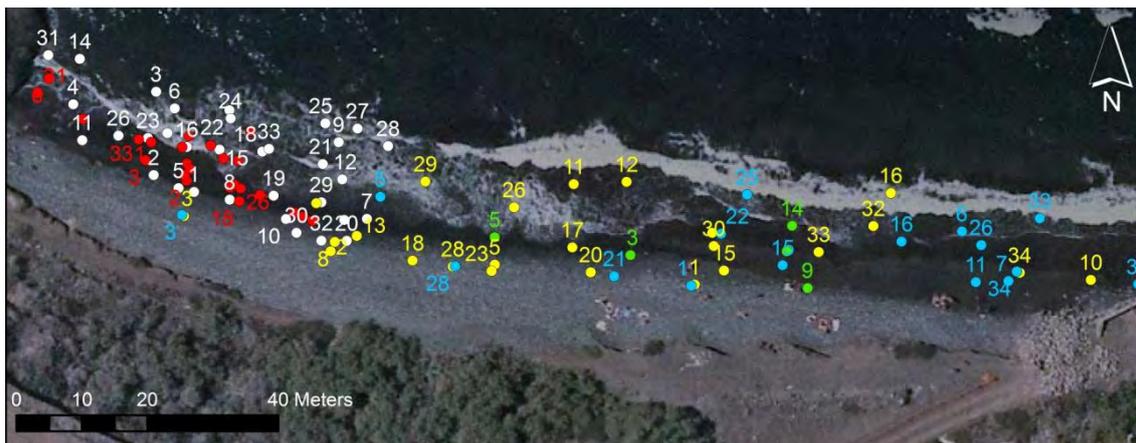


Figura 22. Posiciones de los cantos detectadas en cada una de las campañas realizadas en el sector oeste bajo de la playa (campaña 0 (blanco), campaña 1 (rojo), campaña 3 (amarillo), campaña 4 (azul) y campaña 6 (verde)).

3.6. Topografía

En las campañas 2, 5 y 6 se hicieron sendos levantamientos topográficos de la zona de estudio. Las topografías son una herramienta importante para el estudio de los movimientos de partículas debido a que facilitan la comprensión del comportamiento de dichas partículas. Los datos que se representan a continuación, están referidos al nivel medio del mar local, que se obtiene a partir de las mediciones del nivel del mar del mareógrafo situado en el Puerto de la Luz, en Las Palmas de Gran Canaria. A continuación, se presentan las topografías realizadas en la zona de estudio:

Las figuras 23, 24 y 25 muestran dichos levantamientos topográficos. En ellas se incluye no sólo el área de la playa de cantos estudiada, sino también la pequeña plataforma de tierra que delimita la playa por el sur (véase Fig. 10), así como la lengua de lava que delimita la playa por el oeste. Dado que ambos son elementos fijos, no presentan cambios entre las diferentes campañas. Por otra parte, la zona más profunda en los levantamientos del 23 de marzo y 17 de abril es en gran medida una extrapolación de datos, ya que las condiciones de marea y oleaje no permitieron que se tomasen datos por debajo de la cota $-0,5$. Por el contrario la campaña efectuada el 25 de abril fue realizada en condiciones de bajamar viva y ausencia total de oleaje, lo que permitió cartografiar una zona mucho más extensa.

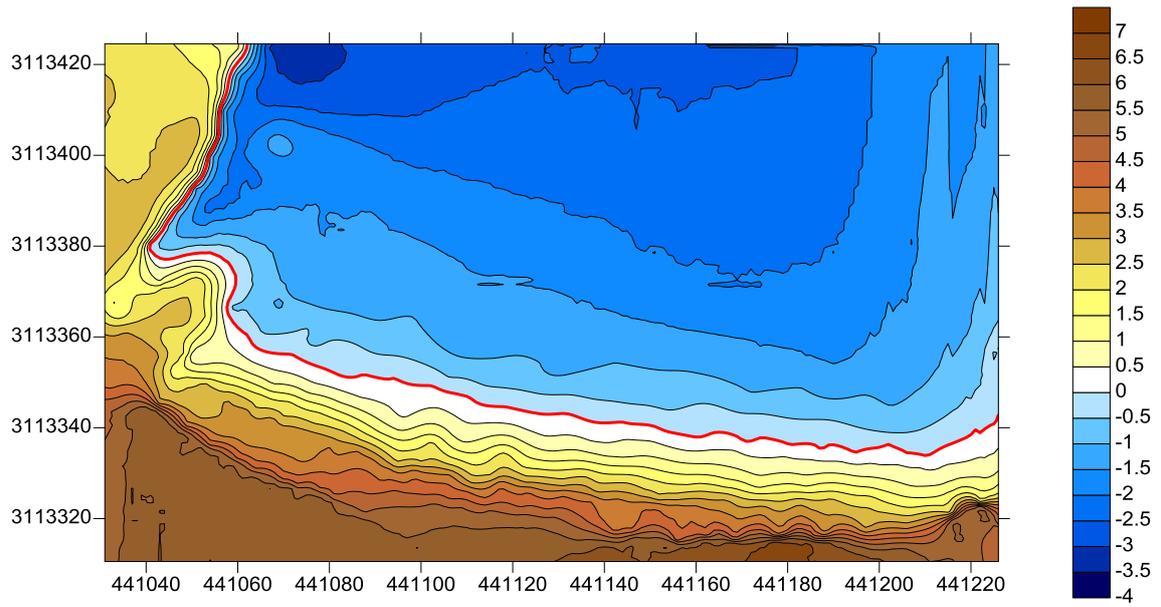


Figura 23. Levantamiento topográfico del día 23 marzo de 2013 en la playa de San Felipe.

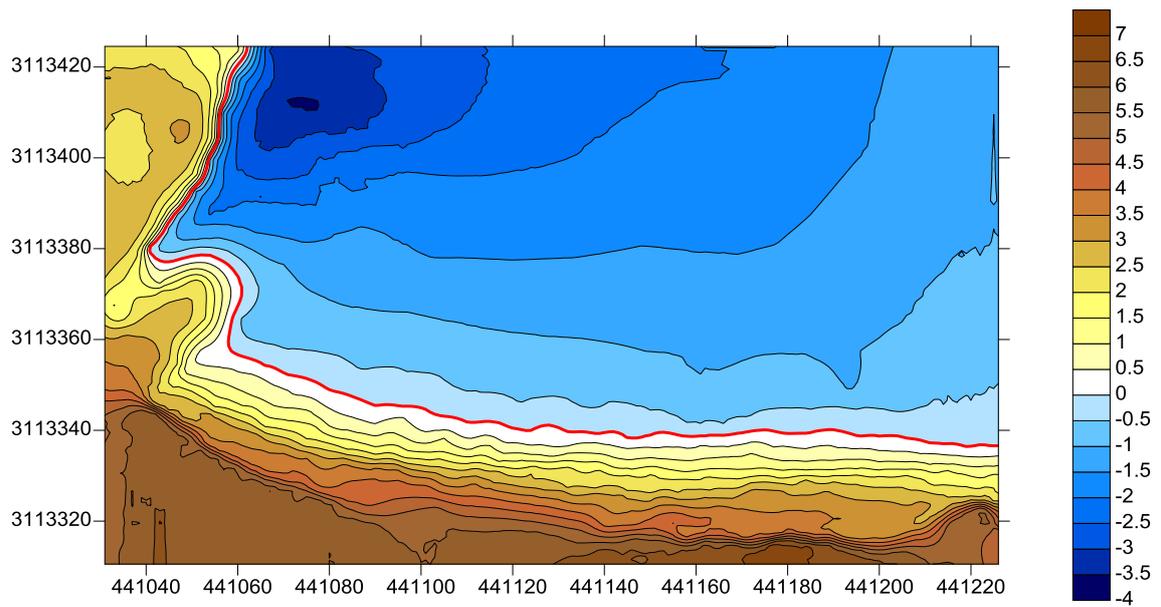


Figura 24. Representación gráfica del levantamiento topográfico del día 17 de abril de 2013.

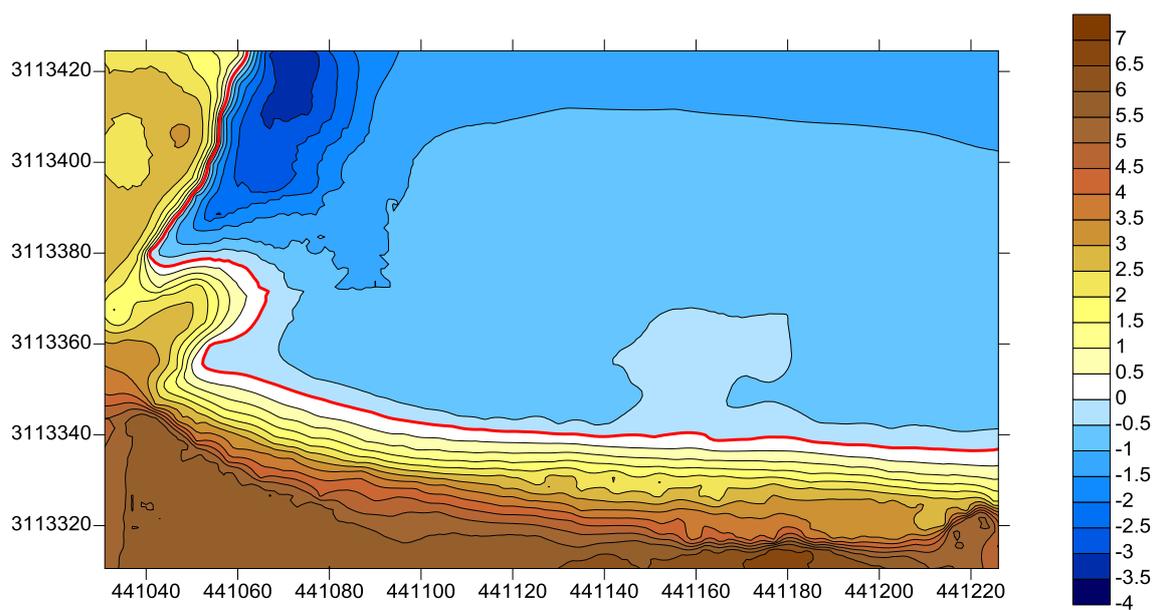


Figura 25. Levantamiento topográfico del 25 de abril de 2013, realizado en condiciones de bajamar viva.



Figura 26. Imagen de la zona baja de la playa de San Felipe el día 25 de abril en bajamar.

A fin de apreciar con mayor claridad los cambios experimentados entre las tres topografías, la figura 27 ilustra tres perfiles representativos de la playa. Dichos perfiles corresponden a la franja de cantos y parte de las arenas de la zona inferior.

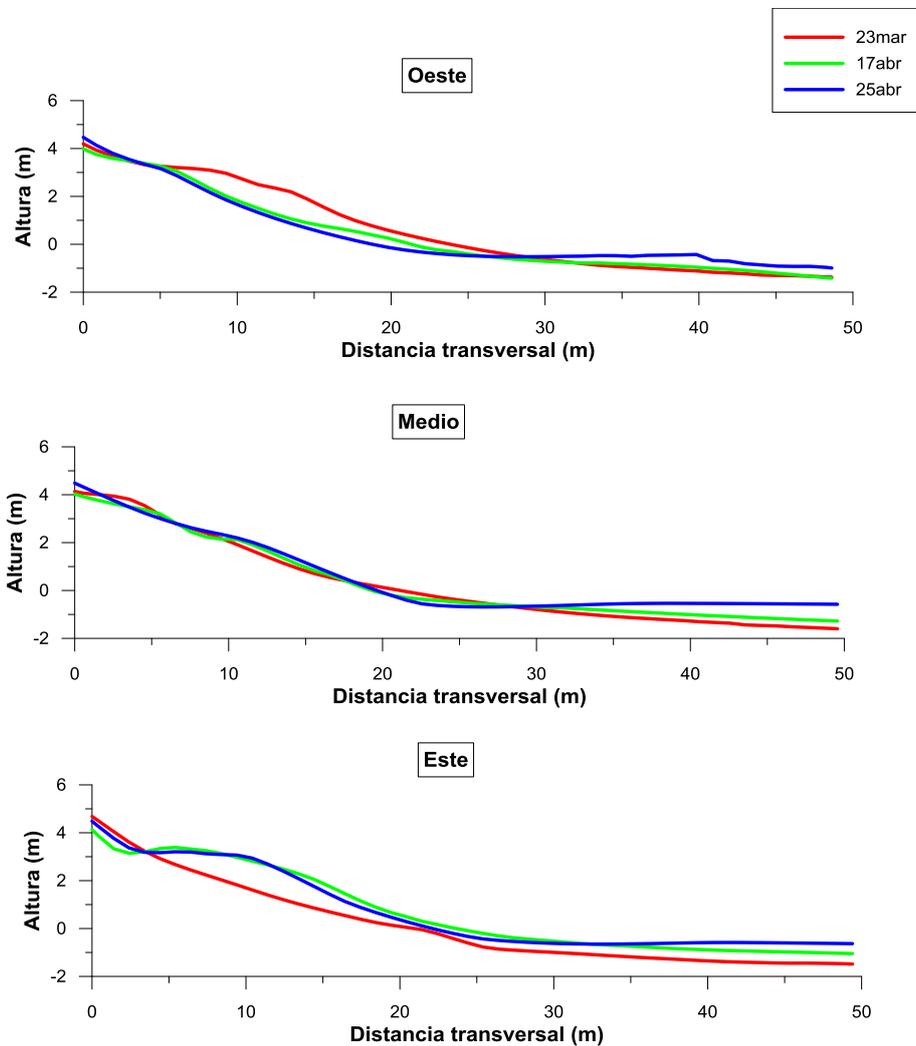


Figura 27. Representación gráfica de los perfiles obtenidos a través de la topografía para cada uno de los sectores transversales; oeste, medio y este. La línea roja corresponde al perfil del día 23 de marzo de 2013, la verde al 17 de abril de 2013 y la azul al 25 de abril de 2013. La imagen superior indica la localización de cada uno de dichos perfiles.

En general, se puede observar que la zona supramareal formada por cantos, presenta una pendiente bastante más pronunciada que el intermareal. El submareal que corresponde a la franja de arena en la mayoría de los perfiles permanece casi llana.

Al analizar los cambios que presentan cada uno de estos perfiles se puede observar como existe una variabilidad a lo largo de la playa de San Felipe. Dos son los cambios más significativos en los perfiles:

a) Mientras en el extremo oeste la parte superior del perfil experimenta una pérdida considerable de material en abril, se produce una acumulación en el límite oriental de la playa.

b) En la última campaña se aprecia que la zona inferior de los tres perfiles ha experimentado una acumulación de material.

4. DISCUSIÓN

4.1. Composición

La naturaleza de los cantos que se encuentran en la playa depende fundamentalmente de los materiales que se encuentran aflorando a lo largo de la cuenca del barranco de San Felipe. Los materiales más destacables son las lavas basálticas olvínico-piroxénicas y tefríticas (ciclo post Roque Nublo, Plioceno y Pleistoceno), así como lavas fonolíticas e ignimbritas (Mioceno superior), todos ellos presentes en las muestras analizadas. Los basaltos olvínicos y los olivínicos-piroxénicos pueden pertenecer a dos ciclos diferentes, al ciclo Roque Nublo y al post Roque Nublo. Los que poseen olivino alterado proceden de las lavas basálticas olivínico-piroxénicas que se encuentran en el extremo oeste de la playa, mientras los cantos con olivinos frescos proceden de las lavas olivínico-piroxénicas por las que discurre el barranco.

En cuanto a la relación entre el índice de Zingg y la composición de los cantos (Fig.28) se observa el mismo patrón de homogeneidad que en la morfología (Fig.15A). Todos los cantos corresponden a formas tabular, equidimensional y alargadas, mientras que no hay ninguno que corresponda a formas laminares, debido a las propias limitaciones del experimento. Por otra parte, no hay ningún tipo de diferenciación entre partículas máficas y félsicas.

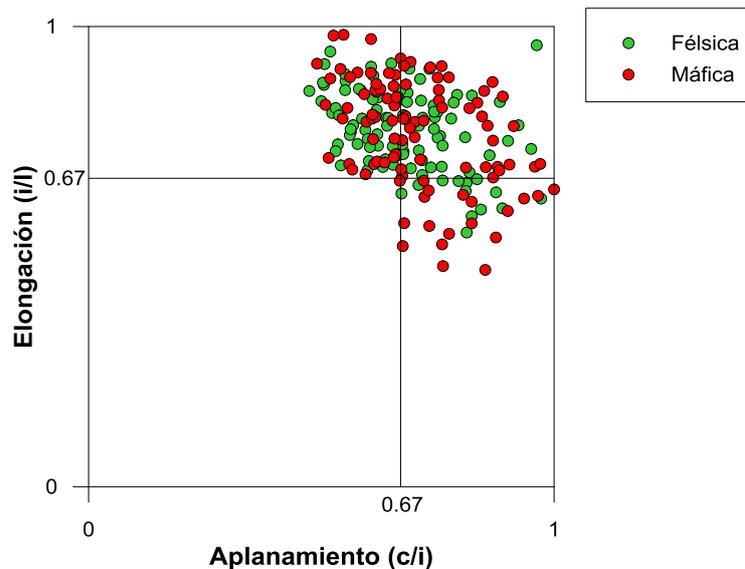


Figura 28. Clasificación de Zingg en función de la composición básica de cada uno de los cantos muestreados.

Se ha analizado detalladamente si la composición afecta a la distribución de los cantos a lo largo de la playa. Los resultados obtenidos muestran un patrón de homogeneidad igual que el que presenta la forma en función de la composición. La figura 29 muestra la uniformidad que presentan los dos tipos de rocas en las detecciones de la tercera campaña. Esta uniformidad se interpreta como que la diferencia de densidad entre ambos tipos de materiales no es suficiente para que exista un patrón diferenciado en el transporte de las partículas. Es decir, si el régimen energético al que está sometida esta playa fuese menor, cabría esperar una selección de los cantos en función de su densidad, pero dado que la playa se encuentra completamente expuesta al oleaje dominante del NNE, y que éste es un oleaje muy energético, tiene capacidad suficiente para mover todos los cantos, con independencia de que presenten densidades de $2,6 \text{ g/cm}^3$ ó $2,9 \text{ g/cm}^3$.

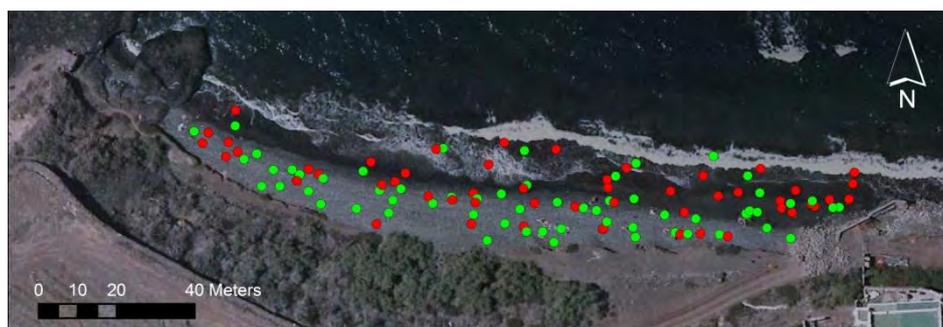


Figura 29. Representación de la posición de los cantos en la tercera campaña en función de su composición. Los valores verdes corresponden a las félsicas y los rojos a las máficas.

4.2. Morfología

El índice de Zingg (Fig.15A) que presentan todos los cantos es bastante parecido, siendo la mayoría de ellos equidimensionales. No obstante, existen pequeñas diferencias cuando se realiza la media por áreas (Fig.15B). Dichas diferencias se pueden apreciar en las zonas situadas por encima de la berma del este y el oeste.

Los cantos del oeste presentan valores mayores en elongación y menores en aplanamiento, mientras que para los del este es a la inversa. En consecuencia, los del oeste tienen formas más tabulares mientras que los del este son más alargados. No obstante, estas diferencias morfológicas no son lo bastante importantes para que puedan atribuirse a diferencias en cuanto a la cantidad de energía que se recibe en cada zona.

Otra forma de abordar el estudio morfométrico es mediante la esfericidad de los cantos, para lo que se ha utilizado la expresión de Sneed y Folk (1958) (Ec. 4), también conocida como la esfericidad de máxima proyección o la esfericidad efectiva de sedimentación, según la cual valores próximos a 1 indican que la partícula tiende a la equidimensionalidad, es decir, que todos sus ejes son iguales.

$$\Psi = \sqrt[3]{\frac{C^2}{IL}} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde C es la longitud del eje corto, I la del intermedio y L la del largo.

El objetivo es establecer la relación que existe entre la esfericidad y la distancia recorrida. Sin embargo, en la figura 30 se puede observar como no existe ningún tipo de relación, ya que cantos con valores elevados de esfericidad no se mueven y otros con menores valores si lo hacen.

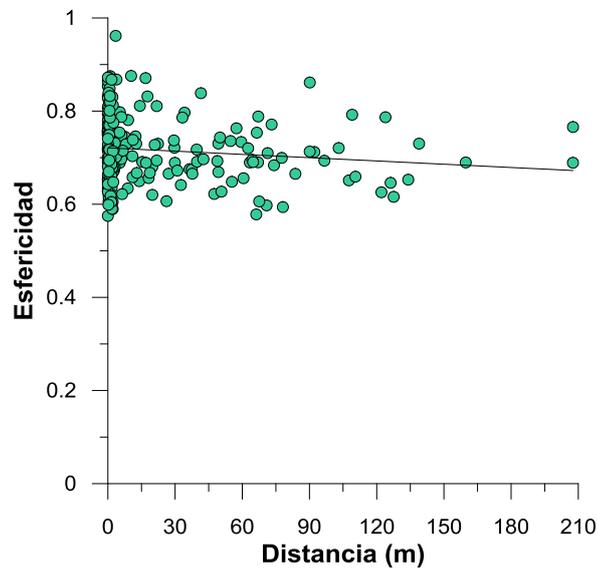


Figura 30. Representación de la distancia recorrida por día de cada uno de los cantos frente a su esfericidad.

En cuanto al volumen de las partículas, la tabla VI muestra los valores medios para cada una de las zonas (este, centro y oeste) en las que se cogieron las muestras. A partir de esta tabla, es llamativa la tendencia a la disminución de volumen hacia el

este, lo que podría ser indicativo de una cierta deriva litoral en ese sentido. Además, dicha deriva permite explicar la presencia de grandes bloques redondeados que hay en la zona más oriental del área de estudio, al tiempo que podría ser la responsable de la gradación morfológica observada en la figura 15B.

Tabla VI. Valores medios del peso, volumen y densidad para las tres zonas de la playa. Nótese que cada zona engloba las muestras situadas arriba y debajo de la berma.

	Peso (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/cm³)
Este	498,68	171,36	2,80
Centro	401,64	150,09	2,67
Oeste	451,57	140,18	2,80

Sin embargo, si representamos el volumen frente a la distancia recorrida durante los 42 días que duró el estudio, en función de los sectores en que se ha dividido la playa, podemos observar que no existe ningún patrón definido, ya que encontramos cantos muy voluminosos que se desplazan mucho más rápido que cantos mucho menores. Los valores de R^2 varían entre 0,11 para la zona EB hasta 0,001 para la zona MB. Por tanto, y a pesar de lo que se pueda observar en la tabla VI, el volumen no es un factor determinante en el movimiento de los cantos.

Otro de los posibles factores responsables del movimiento de los cantos es su propio peso. Pero como sucede con el volumen, no existe correlación entre la distancia recorrida durante el período de estudio y el peso de los cantos (Fig. 31). Esto se corresponde con lo citado por Bertoni *et al.* (2012) quienes afirman que ni el peso ni el tamaño de los cantos son factores que ejerzan algún tipo de control sobre el transporte, debido a que ni los ligeros (menos de 1 Kg) ni los pesados (más 1 Kg) muestran tendencias particulares de desplazamiento. A pesar de esto, existen estudios donde se contradicen estos hechos, como en Curtiss *et al.* (2009), que en su estudio observan dos tipos de escenarios diferentes, uno en el que los tamaños están igual repartidos, mala selección, y otro donde las partículas de gran tamaño tienden acumularse en la zona baja de la playa y las pequeñas en la superior. El primero de estos escenarios sucede con intervalos de alta energía del oleaje y el segundo en condiciones de calma (baja energía del oleaje).

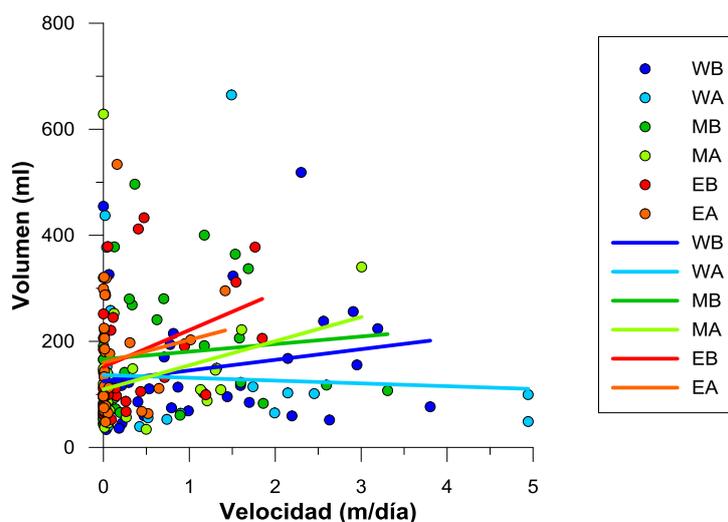


Figura 31. Representación gráfica del volumen de cada canto frente a la velocidad de desplazamiento para los distintos sectores en que se ha dividido la playa.

La figura 32 muestra la variación de la velocidad de desplazamiento entre campañas consecutivas frente al peso de cada canto detectado, y la tabla VII muestra los valores de los coeficientes de correlación obtenidos en dicha figura.

Tabla VII. Resumen de los valores de R^2 obtenidos en las gráficas de la figura 32.

Zona	Campaña 0 y 1	Campaña 1 y 3	Campaña 3 y 4
WB	0,08	0,02	0,05
WA	0,17	0,29	0,00
MB	0,01	0,03	0,00
MA	0,37	0,39	0,13
EB	0,06	0,38	0,00
EA	0,07	0,43	0,09

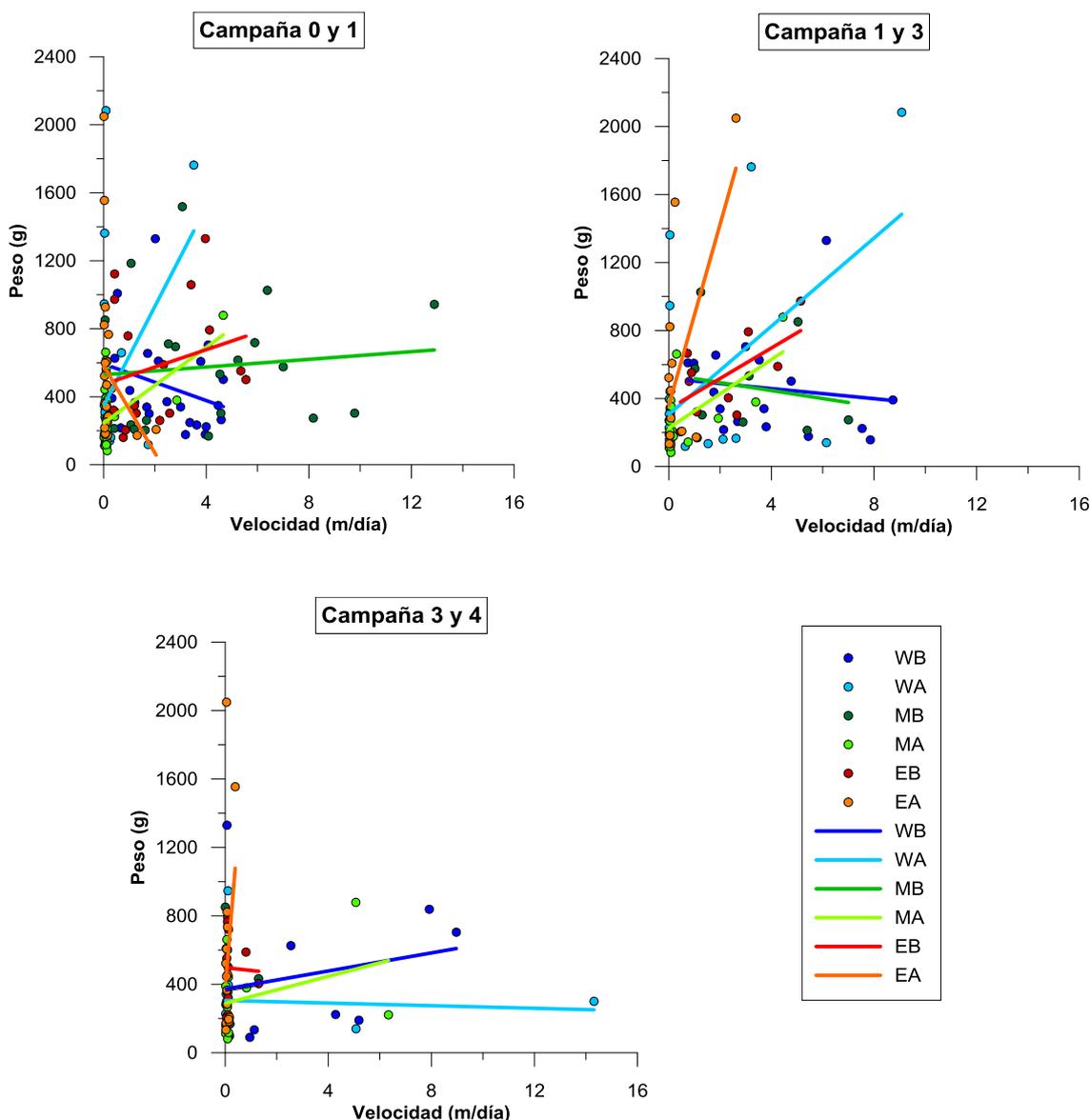


Figura 32. Correlación entre la velocidad (m/día) de los cantos con su peso (g) en función de los seis sectores previamente establecidos. La campaña 4 y 6 no se representan debido a la escasez de datos.

En cuanto a la relación entre el peso (g) y el volumen (ml), es claramente diferente para los dos tipos de cantos predominantes en el área de estudio (Fig.13). Los máficos pesan más y tienen volúmenes más pequeños. Mientras que los félsicos presentan mayores volúmenes y menores pesos. Esta relación es fuerte para ambos casos, presentando un coeficiente de determinación de 0,99. La densidad media de estos dos tipos de rocas es de $2,59 \text{ g/cm}^3$ y $3,00 \text{ g/cm}^3$ para las partículas félsicas y máficas respectivamente.

4.3. Transporte de cantos

El uso de los trazadores RFID permite una identificación a largo plazo, ya que el tiempo de vida útil es de aproximadamente 50 años (Allan *et al.*, 2006), aunque debido a las condiciones extremas a las que están sometidos los cantos, puede que dicho período se acorte. Además, otra de las grandes ventajas que presentan, es que a pesar de estar enterrados se pueden localizar, hasta cierta profundidad.

Las tasas de recuperación de este estudio de investigación varían entre un 71,5% hasta un 15%. Los porcentajes de recuperación de las tres primeras campañas (1, 3 y 4) corresponden con los datos obtenidos en la bibliografía. Sin embargo, los de la última son ligeramente inferiores. A pesar de esto, entre los distintos estudios realizados existe una gran disparidad de resultados. Por ejemplo, Allan *et al.* (2006) obtienen tasas de recuperación muy variables, desde un 90%, ocho meses después de la siembra, a un 18%, diecisiete meses después. Asimismo, todos los autores confirman que las menores tasas de recuperación se dan en verano, debido a su enterramiento por la arena. La barra de arena de la playa de San Felipe se ha ido desplazando hacia tierra con el avance de este estudio, es decir, hacia la época estival. Esto se muestra en los levantamientos topográficos realizados (Figs.23, 24 y 25), donde se observa que por debajo del nivel medio del mar, las líneas de cota se van separando cada vez más, indicativo la formación de una llanura. Por tanto, la baja tasa de recuperación de la última campaña, coincide con el momento en que la arena cubre gran parte de los cantos situados en la zona intermareal de la playa.

Por otra parte, el transporte de los cantos solo puede ser explicado en función del oleaje incidente, ya que el bajo grado de utilización de esta playa por parte de los usuarios permite despreciar el movimiento debido a causas de origen no natural. En este sentido Miller y Warrick (2012) sostienen que existe una fuerte relación entre el transporte de sedimento y la máxima altura de ola significativa con un $R^2=0,93$, mientras que si se considera la altura significativa media, esta relación disminuye a valores de $R^2=0,77$.

La figura 33 muestra la dirección predominante del transporte de cantos durante el transcurso de tiempo entre la primera y tercera campaña, que es el período donde la mayor parte de los cantos presentan valores de transporte más elevados. Obsérvese que la dirección predominante es hacia el ESE, dirección en la que hay una porción significativa de cantos que se movieron más de 80 m en ese período, mientras que los escasos cantos que presentaron otras direcciones se movieron mucha menos

distancia. Un transporte tan importante de material solo puede ser explicado por un evento de muy alta energía, como fue el fuerte temporal de swell procedente del NNO, y caracterizado por períodos de 15 s y alturas de ola significativa entre 2,5 y 3,2 m (Fig.6 izq), lo que explicaría la dirección del transporte de cantos hacia el E de la playa.

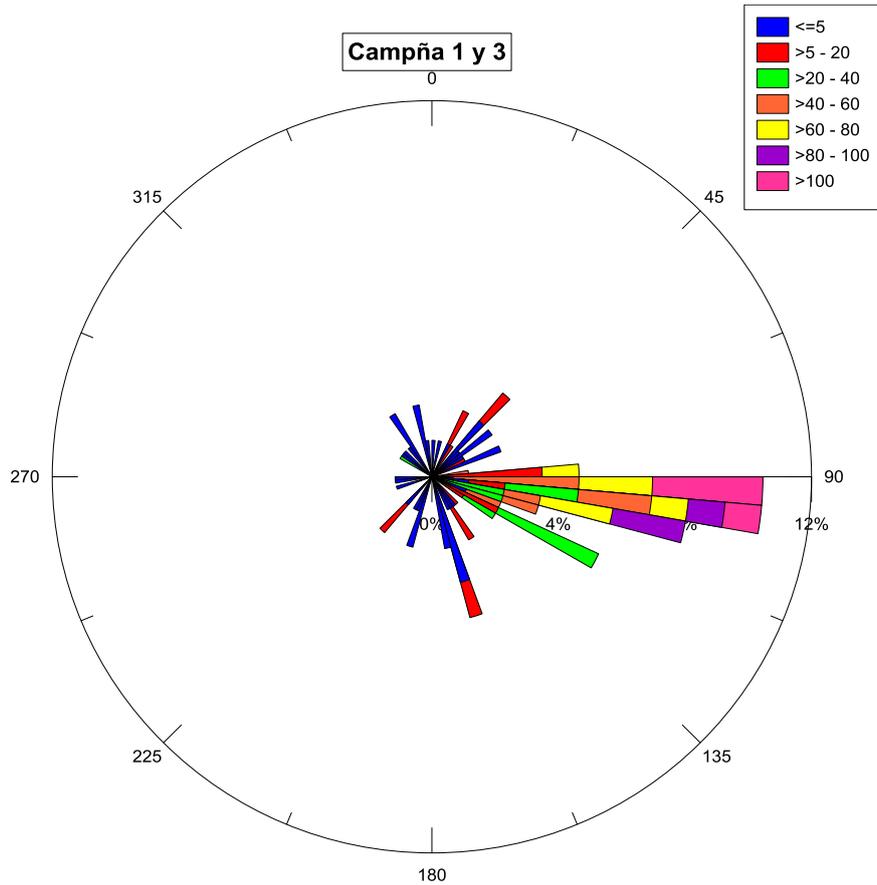


Figura 33. Dirección del transporte de cantos desde la campaña 1 hasta la 3. Los diferentes colores representan la distancia recorrida (m) durante dicho período.

Para comprobar la exactitud de los datos de transporte obtenidos durante este estudio, se utiliza el método de comparación de superficies topográficas. Este, permite identificar la presencia o ausencia de cambios altitudinales significativos con respecto a otras superficies. Para ello, restamos las superficies topográficas representadas en las figuras 23, 24 y 25, obteniendo los siguientes resultados (exclusivamente para la zona de cantos).

La figura 34 corresponde al período comprendido entre las campañas 2 y 5. Durante el transcurso de estos 25 días se produjeron dos temporales significativos, uno el 24 y 25 de marzo y otro el 5 de abril de 2013 (Fig.6), ambos con oleajes procedentes del NNO. En dicha figura se puede apreciar claramente como en la zona oeste de la playa existe una disminución muy significativa del volumen de sedimentos, ya que el descenso altitudinal es de unos 1,5 m. Por el contrario, en el extremo este hay ganancias del mismo orden de magnitud. El volumen positivo presenta un valor de $1062,56 \text{ m}^3$, mientras que el negativo es de $1084,34 \text{ m}^3$, por tanto existe un balance neto negativo. Estos hechos, coinciden con lo anteriormente mencionado, es decir, los dos temporales mencionados tuvieron la capacidad de mover más de 1000 m^3 de cantos a lo largo de unos 120 m de playa, originando un transporte neto en dirección E.

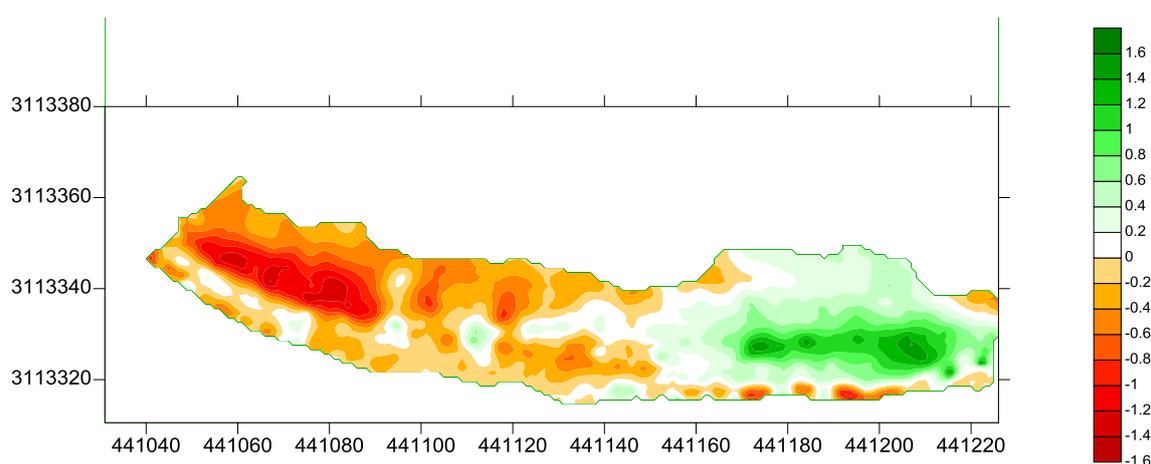


Figura 34. Cruce entre la superficie topográfica del 23 de marzo con la del 17 de abril de 2013. Los colores rojos representan pérdidas de sedimento, mientras que las verdes representan ganancias.

Lo que respecta al período entre las campañas 5 y 6, la figura 35 muestra que los valores de ganancias y pérdidas son mucho menores. El volumen positivo es de $422,17 \text{ m}^3$ y el negativo de $514,39 \text{ m}^3$, lo que produce un balance neto negativo. Si bien es cierto que en este caso la separación temporal es de tan sólo 8 días, también debe tenerse en cuenta que no hubo ningún evento de muy alta energía, sino un oleaje propio de régimen de alisios, con componente dominante del NNE que incide de modo prácticamente perpendicular a la playa. Aún cuando no se conoce el comportamiento del oleaje en las proximidades de la orilla, ni el régimen de corrientes asociado, es razonable asumir que un oleaje que incide de modo perpendicular genera

corrientes de entrada desde los laterales que convergen en la zona central. Este patrón es el que explicaría los cambios topográficos observados, consistentes en ligera erosión en los extremos de la playa y acumulación en la zona central. Estos movimientos en los cantos a penas se han apreciado, lo que puede ser debido a la baja tasa de recuperación de cantos, en la última campaña, como por los escasos movimientos que presentan.

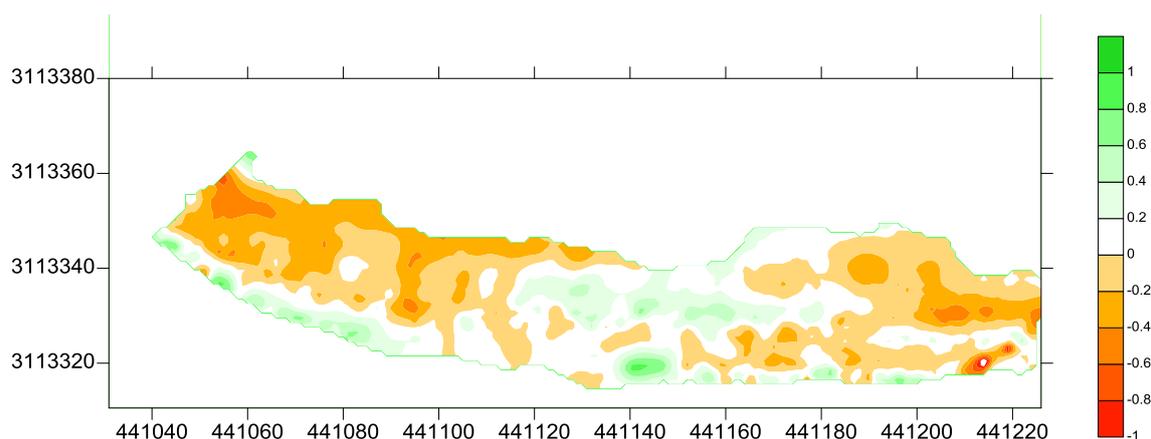


Figura 35. Comparación entre las superficies topográficas del 17 y 25 de abril de 2013.

Por tanto podemos afirmar que la dirección de transporte está claramente relacionada con la dirección del oleaje incidente en la playa. Sin embargo, el vínculo entre el transporte y los temporales no es tan evidente, debido que en los períodos entre campañas donde se han producido temporales, por ejemplo, el temporal del 5 de abril (Fig.6 dcha), muchos de los cantos presentan tasas de transporte muy bajas.

A parte del oleaje, también existen otros factores como la pendiente de la playa que a su vez controla la zona de swash (Curtiss et al., 2009). Por lo general, las playas de cantos las olas rompen cerca de la orilla y se desarrollan directamente en la zona de swash, generando estas elevadas intensidades durante la subida de la ola (run up) y su bajada (run down) por el frente de playa (Komar, 1998). Esto coincide con los resultados obtenidos en este estudio, donde se aprecia que las zonas con mayores desplazamientos son las que se localizan por debajo de la berma.

Uno de los principales motivos por el gran transporte de los cantos desde la zona superior hasta la inferior es por la fuerza de la gravedad que actúan sobre cada uno de los canto. Sin embargo, cuando se producen movimientos masivos de cantos hacia la

parte inferior, como sucede entre la campaña 1 y 3 en la zona media alta de la playa, implica la existencia de otro factor. Dicho factor responsable del movimiento masivo de los cantos es el retroceso de la berma, como se puede apreciar en los perfiles longitudinales realizados a lo largo de la playa. Durante dichos períodos se han producido temporales, considerándose estos el principal motivo del retroceso de la berma. Entre el transcurso de tiempo entre la campaña 0 y la 3 se registró un temporal (Fig. 6 izq), cuya duración fue de 25 horas donde se alcanzaron alturas de olas de hasta 3,3 m de altura de ola significativa. La existencia de otro temporal, de magnitudes inferiores, provocó otro retroceso de la berma. Durante el período de 33 días, comprendido entre las campañas 2 y 6 se ha registrado un retroceso de la berma de hasta 4 m en algunos puntos. Estos resultados coinciden con las entradas masivas de cantos de la zona alta a la inferior.

En la bibliografía se cita que la dinámica de la berma de cantos se puede explicar por las diferencias estacionales en la altura de ola y por las propiedades internas de la propia berma. Según Curtiss *et al.* (2009), el oleaje intenso y el pequeño ratio arena-cantos que tiene lugar en invierno, produce una intensidad de los desplazamientos en la zona de swash, produciéndose acreción de cantos en la berma, mientras que en verano, el pequeño oleaje y el gran ratio arena-cantos aumenta la intensidad del backwash, produciéndose erosión de cantos en la berma.

Este proceso permitiría explicar el comportamiento aparentemente anómalo observado en cantos como el 2, 3 y 194. Este último, de 64,36 g, experimentó un desplazamiento entre las campañas 1 y 3 pasando por encima de la cresta de la berma. Este mismo comportamiento se repite para los cantos 3 y 2, de 609,89 g y 436,94 g, respectivamente. El ascenso en Z que han experimentado estos dos cantos es de 1 m aproximadamente, lo que pone de manifiesto la gran energía requerida para ascender por el frente de la berma hasta acabar en la zona superior (Fig. 36). Este aporte energético fue producido por el temporal que tuvo lugar entre el 24 y 25 de marzo, que generó una acreción de cantos en la berma.



Figura 36. Movimiento de los cantos 2, 3 y 194 entre la primera y la tercera campaña (flecha azul). La línea amarilla y roja, representan la posición de la berma el 14 de marzo de 2013 y 23 de marzo de 2013, respectivamente.

No obstante, no está claro si el retroceso de la berma se debe a los temporales, o a las situaciones de calma, ya que los mismos autores también mencionan que no está clara la interrelación entre la energía del oleaje y la pendiente de la playa, y la alteración de las velocidades de swash, pues la acción prolongada del oleaje de alta energía y la baja permeabilidad de la zona superior puedan aumentar el backswash, generando erosión en la berma.

5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

El sistema de detección mediante marcas RFID proporciona buenos resultados, en cuanto a la relación entre tasas de recuperación y costes.

Las tasas de recuperación de este estudio han oscilado entre el 50-70%, excepto en la campaña 6 que disminuyó hasta el 15%. Este brusco descenso se atribuye a la masiva entrada de arenas en la zona intermareal de la playa, que habrían enterrado una gran parte de los cantos allí situados. Para confirmarlo, sería necesario continuar las mediciones a largo plazo, para poder obtener los patrones estacionales que afectan a la playa.

En la playa de San Felipe fundamentalmente existen dos tipos de cantos, félsicos y máficos, cuya composición se explica por la naturaleza de los materiales que se encuentran en la misma playa, y por los que discurre el barranco de San Felipe. Dichos tipos, tienen densidades medias de $2,6 \text{ g/cm}^3$ y $3,0 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Los cantos de esta playa presentan las cuatro formas posibles; tabular, equidimensional, laminar y alargada, si bien la mayor parte corresponden a la forma equidimensional. De los doscientos cantos seleccionados para desarrollar este estudio, ninguno presentaba la forma laminar debido a las limitaciones propias del experimento. La forma predominante de dichos cantos es la equidimensional.

En cuanto a los patrones de distribución, se confirma la inexistencia de relación entre el transporte de los cantos con su morfología y composición, puesto que existe una distribución uniforme en función de las características morfométricas y composicionales de los cantos, lo que se explica por el fuerte oleaje que incide en esta playa.

A pesar de no haberse efectuado un estudio de detalle de propagación del oleaje en la zona, se aprecia una marcada relación entre la dirección de aproximación del oleaje (medido en aguas profundas) y la dirección hacia la que se mueven los cantos en la playa. El transporte neto de los cantos hacia el este también ha quedado evidenciado a partir de los levantamientos topográficos efectuados.

El oleaje, también es el responsable de movimiento de la berma, que ha experimentado un retroceso significativo durante el tiempo de realización de este estudio.

Por último y con perspectivas de futuro, cabe destacar la necesidad de realizar mediciones durante más tiempo para poder obtener los patrones estacionales, tanto de transporte como morfológicos. Además, obtener la propagación del oleaje teniendo en cuenta la línea de costa y la batimetría, y poder relacionar mejor todos los procesos a los que se ve sometida la playa de San Felipe.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allan, J.C., Hart, R. and Tranquili, J.C. (2006): The use of Passive Integrated Transponder (PIT) tags to trace cobble transport in a mixed sand-and-gravel beach on the high-energy Oregon Coast, USA. *Marine Geology*, 232: 63-86.

Balcells, R., Barrera, J.L. ITGE (1990): *Mapa Geológico de España 1:25.000, hoja 1101-III-IV (Arucas)*. ITGE, Madrid.

Bertoni, D., Sarti, G., Benelli, G., Pozzebon, A. and Raguseo, G. (2010): Radio Frequency Identification (RFID) technology applied to the definition of underwater and subaerial coarse sediment movement. *Sedimentary Geology*, 228: 140-150.

Bertoni, D., Sarti, G., Benelli, G., Pozzebon, A. and Raguseo, G. (2012): Transport trajectories of “smart” pebbles on an artificial coarse-grained beach at Marina di Pisa (Italy): Implications for beach morphodynamics. *Marine Geology*, 291-294: 227-235.

Bray, M.J., Workman, M., Smith, J. and Pope, D. (1996): Field measurements of shingle transport using electronic tracers. *Proceedings of the 31st Conference of River and Coastal Engineers, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food*: 10.4.1-10.5.3.

Curtiss, G.M., Osborne, P.D., Horner-Devine, A.R. (2009): Seasonal patterns of coarse sediment transport on a mixed sand and gravel beach due to vessel wakes, wind waves, and tidal currents. *Marine Geology*, 259: 73-85.

Dickson, M.E., Kench, P.S. and Kantor, M.S. (2011): Longshore transport of cobbles on a mixed sand and gravel beach, southern Hawke Bay, New Zealand. *Marine Geology*, 287: 31-42.

Hughes, R.J. (1963): A method of comparing volume measurements on pebbles. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 33, 3: 609-615.

Komar, P.D. (1998): Beach processes and sedimentation. *Prentice-Hall*, New Jersey, 544 p.

Lamarre, H., MacVicar, B. and Roy, A.G. (2005): Using Passive Integrated Transponder (PIT) tags to investigate sediment transport in gravel-bed rivers. *Journal of Sedimentary Research*, 75: 736-741.

Lee, M.W.E., Bray, M.J., Workman, M., Collins, M.B. and Pope, D. (2000): Coastal shingle tracing: the 'Electronic Tracer System' (ETS). *Tracers in the Environment*, special issue: 431-435.

Menéndez, I., Silva, P.G., Martín-Betancor, M., Pérez-Torrado, F.J., Guillou, H., Scaillet, S. (2008): Fluvial dissection, isostatic uplift, and geomorphological evolution of volcanic islands (Gran Canaria, Canary Islands, Spain). *Geomorphology*, 102: 189-203.

Miller, I.M. and Warrick, J.A. (2012): Measuring sediment transport and bed disturbance with tracers on a mixed beach. *Marine Geology*, 299-302: 1-17.

Sear, D.A., Lee, M.W.E., Oakley, R.J., Carling, P.A. and Collins, M.B. (2002): Coarse sediment tracing technology in fluvial environments: a review. *Tracers in the Environment*, special issue: 21-55.

Sneed, E.D. and Folk, R.L. (1958): Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study of particle morphogenesis. *Journal of Geology*, 66: 114-150.

Van Wellen, E., Chadwick, A.J. and Mason, T. (2000): A review and assessment of longshore sediment transport equations for coarse-grained beaches. *Coastal Engineering*, 40: 243-275.

Voulgaris, G., Workman, M. and Collins, M.B. (1999): Measurement techniques of shingle transport in the nearshore zone. *Journal of Coastal Research*, 15: 1030-1039.