

El tratamiento LiDAR y el paleopaisaje en el yacimiento de Torregarcía¹

Los espacios costeros son entornos complejos y frágiles situados en la interfaz de la tierra y el mar, y caracterizados por una fuerte dinámica, tanto natural como antropogénica, como se ha visto en el caso del sector oriental de la Bahía de Almería en el capítulo 2. Su estudio paleopaisajístico debe tener necesariamente en cuenta tales especificidades. En este contexto, es precisa la adaptación de los métodos y técnicas de investigación que podríamos denominar “clásicos”, integrando una visión interdisciplinar y con la ayuda de la innovación tecnológica. La evolución de los espacios costeros se caracteriza por su alto dinamismo, por lo que es importante tener en cuenta condicionantes naturales y antrópicos. La combinación de ambos condicionantes permite evaluar la transformación paisajista siendo elementos fundamentales para conocer las potencialidades arqueológicas e interpretar la implantación de los yacimientos (Ménanteau 2005). En este capítulo se explica la metodología para generar un mapa topográfico mediante LiDAR con objeto de conocer los condicionantes del paleopaisaje del yacimiento arqueológico de Torregarcía. Para ello generamos una serie de mapas de situación, viendo la necesidad de hacer una correcta interpretación de los datos LiDAR y analizando una serie de condicionantes naturales y antrópicos que modificaron el actual paisaje. Con todo ello proponemos las líneas y perspectivas para poder reconstruir el paisaje histórico.

6.1. Modelo LiDAR

6.1.1. Metodología

La metodología LiDAR (*Light Detection And Ranging*) es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para medir la distancia entre el aparato y el objetivo, calculando con precisión las coordenadas x, y, z. Un sensor LiDAR es capaz de emitir un haz de luz intermitente que recoge una gran cantidad de datos en poco tiempo. Si se desplaza, es capaz de mapear con eficacia un objeto o lugar. Aunque existen equipos manuales y terrestres, vamos a hablar fundamentalmente de los aerotransportados. Dentro de estos existen dos tipos distintos por el vehículo utilizado, drones o aviones. Para el primer caso es necesario tener el sensor y un dron con suficiente carga de pago para el equipo. En el segundo, el sensor va aerotransportado en un avión y, por tanto, suelen ser datos recogidos por agencias estatales o autonómicas que cuentan con los recursos necesarios. En el caso de Torregarcía, contamos con la información proporcionada por el Centro Nacional de Información Geográfica, para el año 2014. En este

repositorio podemos acceder a una gran variedad de datos de distinto origen, desde ortofotografías actuales a planos antiguos, pudiendo buscar mediante un visor cartográfico el área de interés. Dentro de estos tenemos un apartado con los Modelos Digitales de Elevaciones, desde donde podemos descargar esta información con diferentes resoluciones, a 2, 5, 25 y 200 metros. Sin embargo, para el estudio del paleopaisaje nos interesa tener la máxima resolución, que se puede conseguir gracias a los datos en bruto LiDAR, también accesibles desde el portal web.

El procesado de datos LiDAR consiste fundamentalmente en convertir una secuenciación de puntos con las tres coordenadas en una cartografía en formato ráster (matriz de celdas o píxeles), donde cada celda represente dichos valores. La forma de realizarlo varía dependiendo del *software* utilizado, generalmente con Qgis, ArcGIS o SAGA, pero requiere utilizar complementos externos como Lastools. La metodología para el procesamiento de los datos está siendo analizada y cada vez aparecen nuevas formas de conseguir mejores resultados (Poirier *et al.* 2013; Chase *et al.* 2017). De forma general, el proceso parte de convertirlos por el equipo, de formato .laz a .las. Este primer paso consiste en descomprimir los archivos del primer formato al segundo. Con los datos .las se puede generar un conjunto convertible a distintos formatos como ráster. Sin embargo, estos serían en bruto, es decir, con toda la información espacial que se ha registrado, incluyendo edificios, carreteras, reflejos generados por las nubes u otras cuestiones como errores de interpolación de datos LiDAR. Esta metodología tiene dos grandes fortalezas. La primera es que los haces de luz son capaces de atravesar determinados objetos, como puede ser entre las hojas de los árboles, permitiendo conseguir información de superficie incluso en áreas que no son visibles. La segunda, es que es posible conocer su origen, por lo que podemos extraer la información que no nos interese, dependiendo de la clasificación. Por defecto, los datos vienen clasificados en suelo, baja, media y alta vegetación, edificios, ruido y sobreexposición. De esta forma, convertimos un MDS (Modelo Digital de Superficie) con todos los elementos que lo componen a un MDT (Modelo Digital del Terreno), que sólo tiene información del suelo. Por supuesto, este proceso automático a veces da pequeños errores, dada que la clasificación y la información recopilada puede estar mal ordenada, por lo que es conveniente realizar una propia (Monterroso 2017; Lozić y Štular 2021).

6.1.2. LiDAR en Torregarcía

En el caso que nos ocupa, hemos utilizado la metodología de procesado anteriormente descrita para clasificar los datos y convertirlos en un conjunto en formato ráster.

¹ Este capítulo ha sido coordinado por Pedro Traperó Fernández y Enrique Aragón Núñez.

Los procesados cubren un área de 8 x 8 km alrededor del yacimiento de Torregarcía. Hemos seleccionado como centro no el sitio en sí, sino la rambla de las Amoladeras, que es el principal curso de agua junto con la rambla Morales al este. La resolución de datos LiDAR de este vuelo es de entre 1 y 2 m entre puntos (Fig. 6.1). Esto implica que la resolución máxima real que podemos utilizar para el modelo es aproximadamente de 1 m, considerando la interpolación media de los puntos donde hay 2 m de separación. Con modelos como este se pueden conseguir actualmente resoluciones de hasta 0,5 m, aunque debemos esperar a tener datos de vuelos más recientes con mayores puntos por píxeles.

En nuestro caso de estudio es muy importante hacer una correcta clasificación de los datos para poder reconocer el paleopaisaje, dado que podemos incurrir en errores de interpretación de la topografía si consideramos elementos antrópicos modernos. En la figura 6.2 podemos observar varios detalles del modelo que se ha generado, respecto a cuatro espacios específicos. En el medio natural

generalmente no tenemos elementos antrópicos y en el Parque Natural de Cabo de Gata no existen masas arbóreas, sólo vegetación baja. En general, se ha podido eliminar convenientemente este tipo de datos que no nos interesan, así como otros bandeados de ruidos. Sin embargo, es en las zonas con acción antrópica donde el resultado es más regular, dado que tenemos áreas con invernaderos, que podemos eliminar, pero con una interpolación grosera. Lo mismo ocurre con el caso de las urbanizaciones y edificios de Retamar y el Toyo.

6.2. Condicionantes del paleopaisaje

6.2.1. Restitución de la topografía con LiDAR

La primera clave para poder conocer el paleopaisaje es saber cómo es la topografía actual y cómo pudo ser en otras épocas históricas. Con los datos LiDAR antes analizados podemos visualizar cómo pudiera ser el espacio. Tenemos la problemática antes indicada de eliminar correctamente todos los elementos antrópicos actuales, de los cuales las

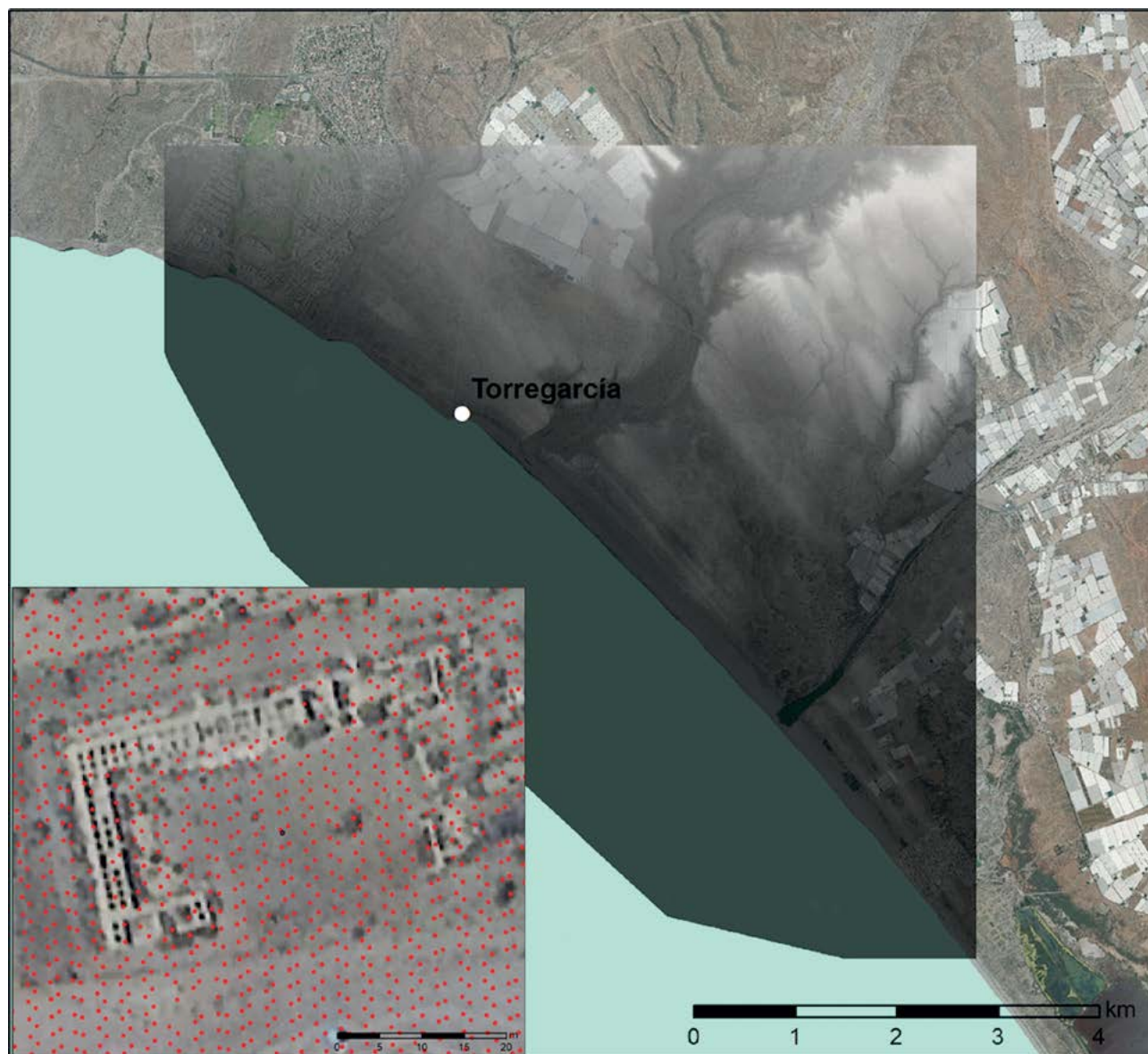


Figura 6.1. Área estudiada mediante LiDAR y detalle de la resolución de puntos en el yacimiento de Torregarcía.

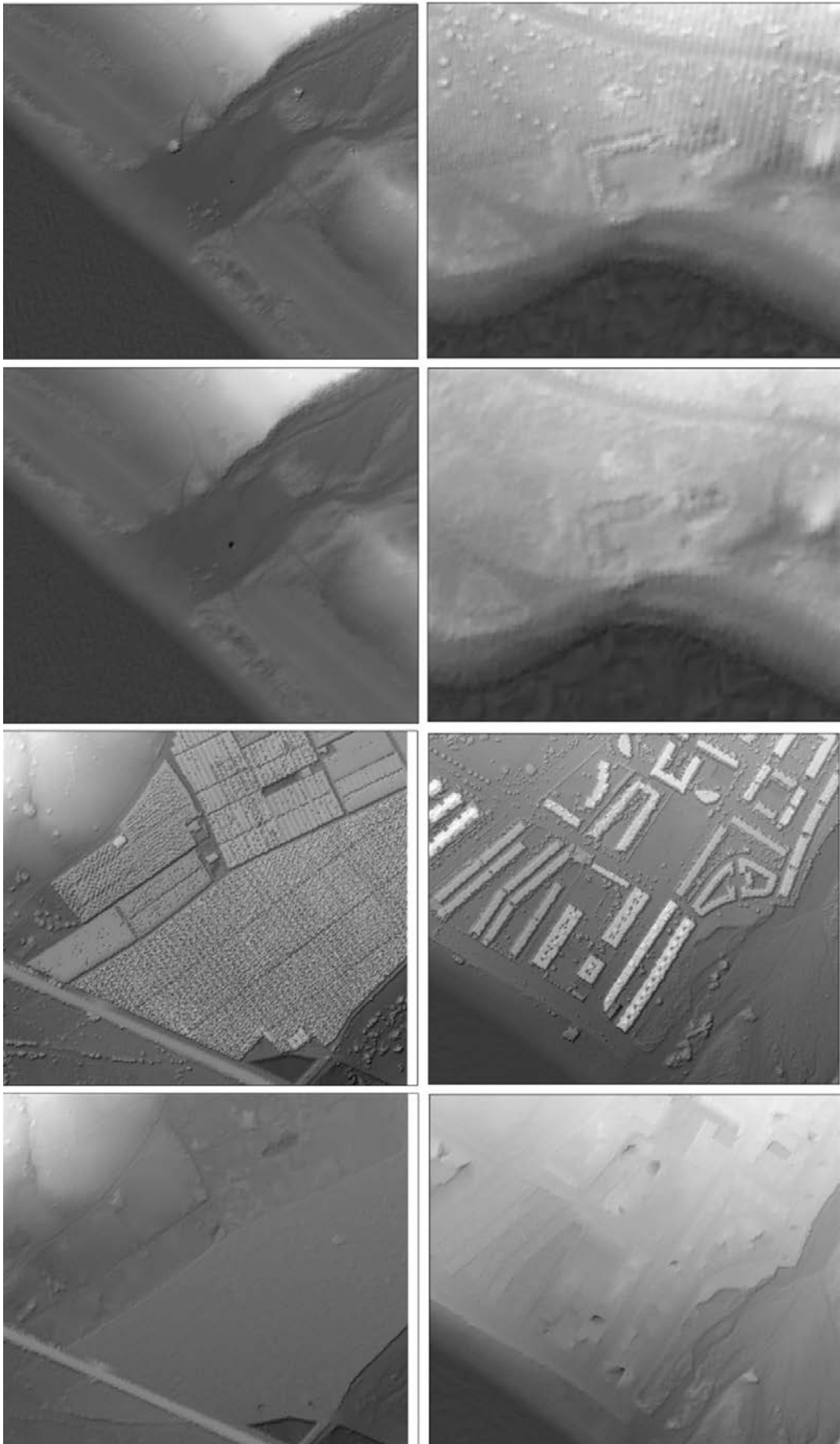


Figura 6.2. Ejemplos de análisis LiDAR, arriba datos en bruto y abajo procesados. De izquierda a derecha, detalle de desembocadura de rambla, yacimiento arqueológico, invernaderos y edificaciones en la zona de estudio.

carreteras y especialmente los puentes no han podido ser suprimidos, aunque su existencia no modifica el análisis, ya que se encuentran alejados de la actual línea de costa.

En la figura 6.3 se puede observar una propuesta topográfica clasificada de forma que se vean los lugares que podrían ser susceptibles de formar parte de la costa antigua. La topografía del terreno es bastante suave siendo muy claros los cambios en las desembocaduras de las ramblas aunque no tanto en el interior por la inferencia de elementos antrópicos, principalmente invernaderos. Este tipo de construcciones son eliminadas, pero la topografía base se compone de unas interpolaciones que desdibujan las cotas reales.

Hemos realizado también una serie de perfiles que muestran en general una topografía suave. En el perfil 1 de la figura 6.3, la topografía no aumenta más de 40 metros en 8 kilómetros. La topografía baja paulatinamente desde el noroeste hacia el sureste, con las interrupciones producidas por las ramblas, que sí son un elemento que transforma el paisaje. En el perfil 2 se puede observar bien esta cuestión, siendo uno casi recto salvo donde se encuentra la rambla. En resumen, este elemento está generando una profunda erosión del terreno, que se materializa en una pérdida de cota y en el incremento del aterramiento.

6.2.2. Condicionantes naturales

De entre los condicionantes naturales, es importante comparar la geología con la topografía, dado que nos va a dar información de la dificultad de modificación en el tiempo de un determinado estrato. Esto implica que hay áreas que han podido verse más erosionadas, mientras que otras difícilmente pueden cambiar. Igualmente interesa contrastar posibles depósitos aluviales de distinto origen que antes pudieran no existir. Por tanto, necesitamos de una visión general de la geología de la zona, no para saber cómo ha cambiado el paleopaisaje, sino para comprender qué áreas han podido ser más susceptibles de transformación.

En la figura 6.4 podemos observar la geología del área trabajada con LiDAR, a través de los datos del Instituto Geológico y Minero de España. La geología de la zona está formada fundamentalmente por sedimentos neógenos y cuaternarios, con cierta influencia de rocas volcánicas neógenas de la cercana sierra de Cabo de Gata, dado que atraviesa la falla de Carboneras generando la Serrata de Níjar hacia el noreste del área de estudio (Villalobos y Pérez 2006; Lores 2007).

En específico, la zona actual prácticamente está compuesta por estratos de arenas de distinto origen, que se comentarán más adelante. Estos niveles producidos por acciones sedimentarias, a nivel paleopaisajístico pueden ser modificadas a lo largo del tiempo. Sin embargo, tenemos fundamentalmente una geología de areniscas y conglomerados de fauna marina, en algunos casos rota por estas erosiones generando glacis. Por tanto, nos

encontramos con un espacio muy cambiante a lo largo del tiempo, como es la dinámica aluvial de la rambla de las Amoladeras, las playas fósiles, el sistema dunar y la generación de lagunas temporales (Braga y Martín 2007). Estos eventos generan la geología actual, donde el proceso de cambio ha sido muy importante a lo largo del tiempo, por lo que es difícil definir solamente con este condicionante las diferentes áreas que han podido transformarse. En este sentido, Torregarcía se encuentra al pie de la playa actual, sobre un cordón litoral y un conglomerado de origen marino.

La principal fuente de aporte sedimentario en el tramo litoral almeriense proviene del sistema de ríos y ramblas, entendidas estas últimas como cauces poco profundos de aguas superficiales esporádicas, con perfiles transversales en artesa (George 2007). Concretamente, en el espacio costero directamente relacionado con el yacimiento de Torregarcía se identifica la llamada rambla de las Amoladeras. Esta es un estrecho y corto valle asimétrico que presenta una topografía suave, sin superar el 7 % de pendiente y con una altura máxima de 50 m s.n.m. Su morfología está condicionada por la tectónica, como en otros casos de la zona almeriense (Aguirre y Yesares-García 2003). El tramo de la desembocadura tiene una topografía rebajada por la erosión, en el que se pueden identificar restos aislados de depósitos coluviales de escaso espesor, que corresponderían a etapas de erosión debidas a sucesivos encajamientos de la rambla. Finalmente es distinguible, en ocasiones, en su último tramo costero acumulaciones de paleosuelos rojos fosilizados por los depósitos coluviales. Los abanicos aluviales de la rambla de las Amoladeras tienen extensión reducida presentando perfiles radiales cóncavos y perfiles transversales convexos. La serie estratigráfica general se ha establecido en el perfil este de la rambla, que es el que presenta mayor desarrollo y potencia (10 m en su parte proximal). El conjunto basal está constituido por una sucesión alternante de conglomerados gruesos separados por arenas con intercalaciones de conglomerados finos. El conjunto superior, por su parte, muestra una mezcla de depósitos compactos consistente en arenas y guijarros bien cementados con una fauna marina, que representan diferentes niveles de paleoplaya.

En concreto, a lo largo de este tramo litoral vinculado a Torregarcía y la rambla de las Amoladeras, como en general en el de costa identificado con el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, destacan las paleolíneas costeras, con numerosas paleoplayas, algunas muy ricas en fósiles, que pueden estar más o menos levantadas y/o escalonadas. Para el caso de la rambla de las Amoladeras, estas paleoplayas se desarrollaron hasta el Pleistoceno con el dominio del glacis² en la desembocadura de la rambla. La singularidad

² En este artículo se ha utilizado como referencia los criterios que recoge la obra de George (2007) sobre la definición de glacis definido como un extenso relieve con: a) con longitudes y amplitudes kilométricas; b) de topografía casi plana de escasa pendiente, conformada en este caso por arenas, gravas y cantos de paleoplayas levantadas y escalonadas, y c) surcada por ramblas.

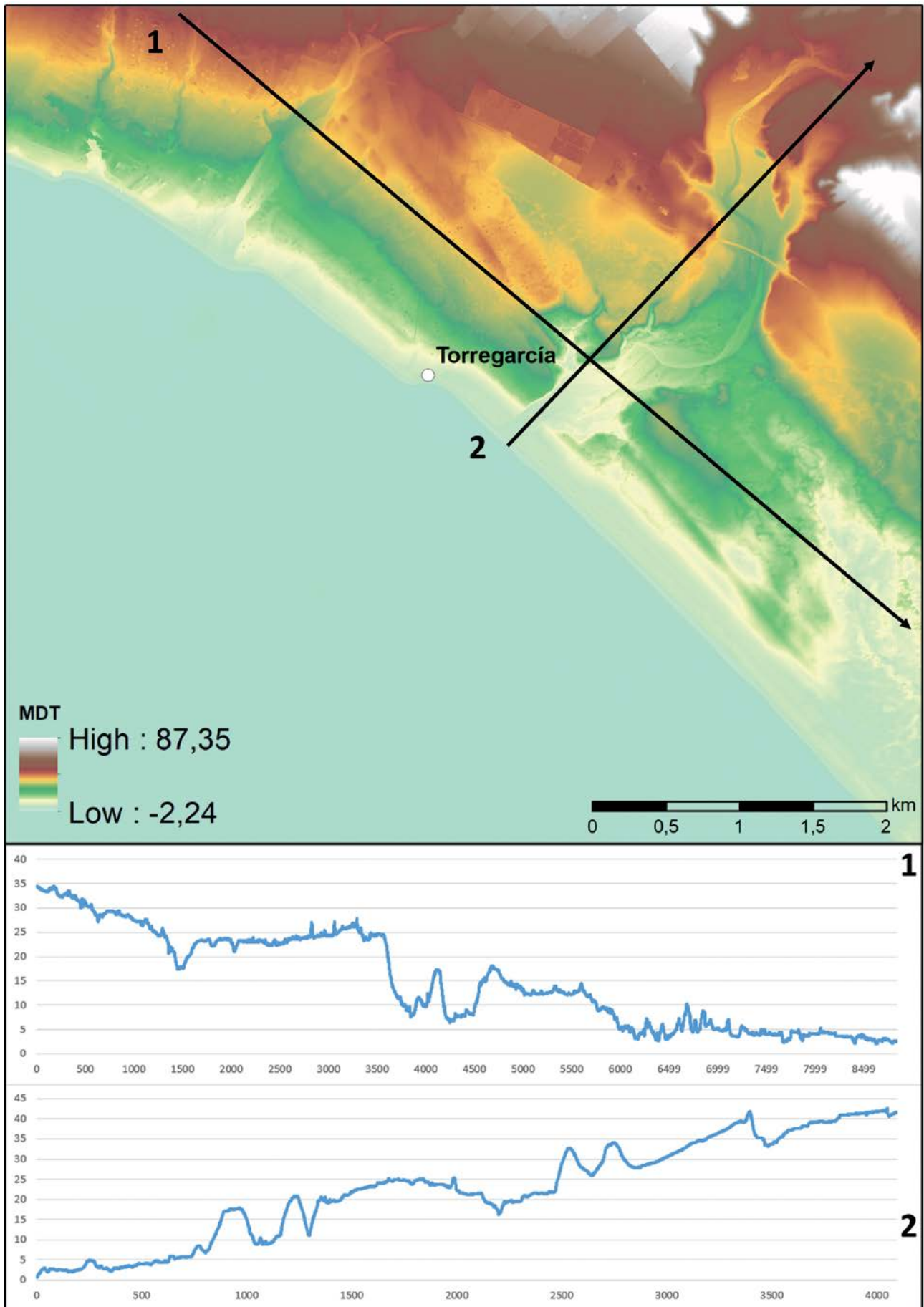


Figura 6.3. Ráster generado con LiDAR clasificado con indicación de dos perfiles topográficos.

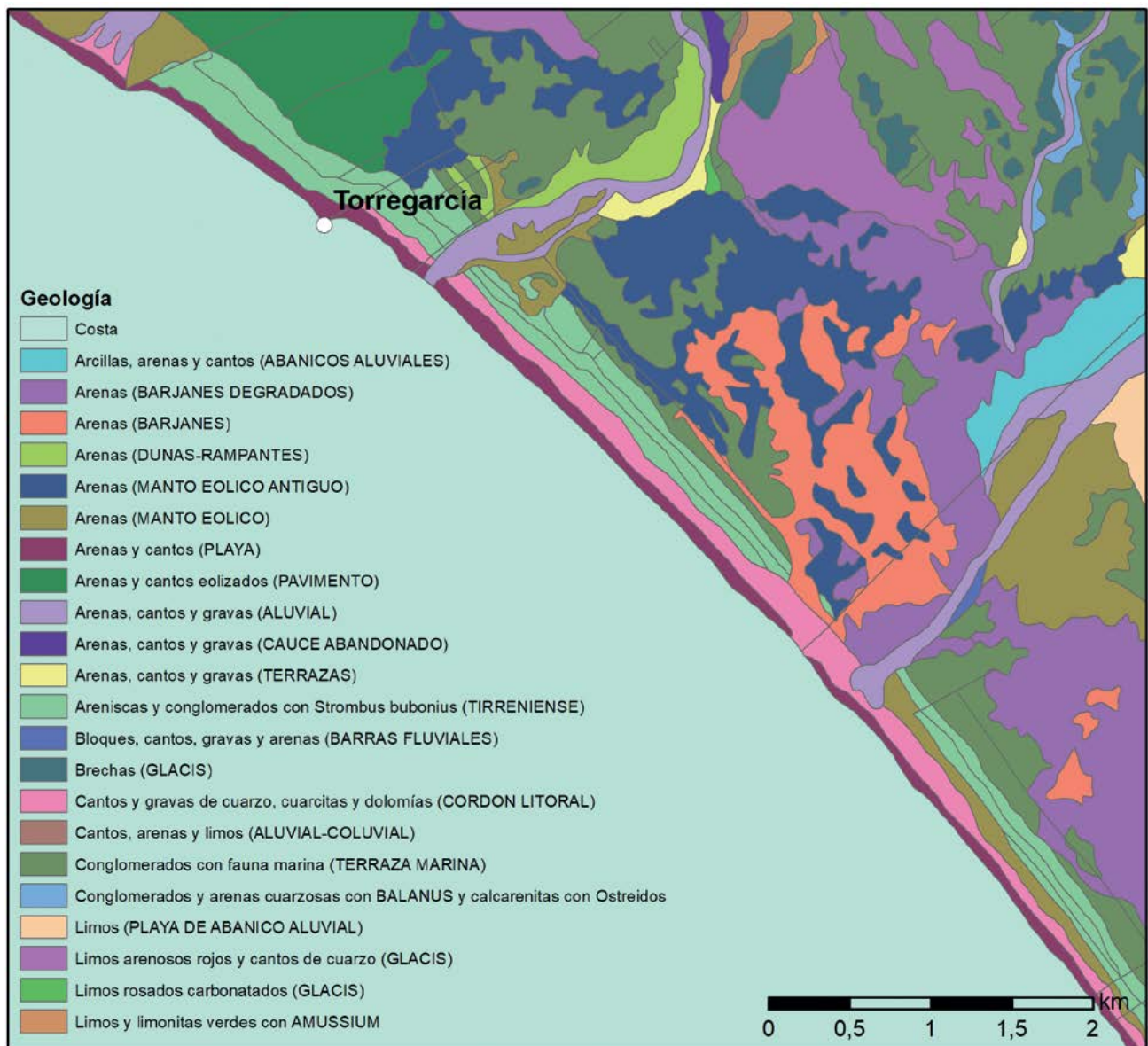


Figura 6.4. Geología del área de estudio.

másica positiva de la rambla de las Amoladeras se encuentra en una progresiva inestabilidad sedimentaria, dado que aporta más áridos a las playas que los que recibe por transportes y depósitos fluviales desde tierra adentro. La inestabilidad sedimentaria de la desembocadura de la rambla de las Amoladeras determina, a su vez, una erosión que remonta en el perfil del cauce, desde la orilla hacia aguas arriba.

En este contexto, las singularidades de acumulación de arenas positivas se identifican con las desembocaduras de las ramblas, y actúan como fuentes de aportes sobre todo a las playas abiertas, como es el caso de la playa de Torregarcía. En contraposición, la propia playa de Torregarcía muestra una dinámica litoral característica que marca las diferencias granulométricas en su orilla en base a un número de factores bien localizados (Martínez-Martínez *et al.* 2015):

- Las fuentes de los aportes de arenas para la acreción de las playas están, en gran medida, en las aportaciones positivas referenciadas para el caso de la rambla de las Amoladeras.
- El oleaje de acreción (de bonanza) predominante, en este marco geográfico en periodo estival, sería del sur-poniente.
- En el periodo invernal, también el oleaje del sur-poniente azota fuerte y participa dominantemente en la erosión, junto con los temporales de levante.
- Las corrientes de deriva, entre la orilla y la zona de rompientes, de acreción y en dependencia con el oleaje del sur-poniente, transportarían y depositarían las arenas hacia el levante.
- La Playa de Torregarcía quedaría a sotamar de las fuentes de alimentación de arenas (singularidades másicas positivas) de la desembocadura de la rambla de las Amoladeras.

- Las corrientes de deriva del levante no transportarían significativamente arenas hacia esta Playa de Torregarcía.
- Como la playa de Torregarcía no recibiría arenas desde la desembocadura de la rambla de las Amoladeras, por las corrientes de deriva provocadas por el oleaje de bonanza del levante, en este ambiente permanecerían las gravas y gravillas residuales de los procesos de erosión, que se habrían llevado a las arenas.

En la línea directamente costera, destaca la amplia área de arenas eólicas de Torregarcía (Tabla 6.1), compuesta por dunas embrionarias y pequeñas, que se combinan con los depósitos de gravas, resultado de un transporte y depósito de áridos a causa de vientos del levante, desde el cauce de la rambla de las Amoladeras. En la morfología costera de la zona se ha marcado la desembocadura de esta rambla como “la fuente más significativa de aportes de áridos, para formar flechas en este marco geográfico” (Martínez-Martínez *et al.* 2015, 67). Es significativo como fósil antrópico la presencia del llamado “pozo de la Amoladera” o “el Pocico” (Fig. 6.5), para sacar el agua de un acuífero, en un entorno de playas levantadas, lo que verifica la funcionalidad de la desembocadura de la rambla de las Amoladeras como singularidad másica positiva, pero en una progresiva inestabilidad sedimentaria (González Asensio 1997b; López-Geta 2010).

La formación de las flechas provocadas por la rambla se ha interpretado como causa directa en la creación de una albufera en las inmediaciones del tramo de la playa de Torregarcía que, posteriormente, se rellenó con depósitos sedimentarios. Estos causarían la fosilización

de las paleolíneas costeras. Directamente relacionado con este episodio en la desembocadura de la rambla de las Amoladeras, es posible identificar, una secuencia de cuatro paleoplayas levantadas y escalonadas, con fósiles que traducen un paleoambiente con clima tropical. De acuerdo con la información ofrecida por el Geoparque Cabo de Gata-Níjar (Geoparque 2016) estas paleoplayas están datadas entre más de 250 000 años y 95 000 años. Siguiendo este esquema tanto los humedales de las Salinas del Cabo de Gata como de la Charca o Charcón de la desembocadura de la rambla Morales se interpretarían como restos de la albufera cegada, que ha evolucionado a glaciis en una parte considerable de la misma.

El oleaje es otro de los factores a tener en cuenta a la hora de entender la dinámica litoral. Resultante de la incidencia del viento sobre la superficie del mar, este efecto puede llegar a influir de forma relevante en la conformación de la línea de costa. En el marco geográfico de la playa de Torregarcía, se dan dos vientos casi codominantes:

- viento de levante (del E-NE); y
- viento del poniente-sur (del E-SE, SE-S y S-SW).

El análisis de un periodo de tiempo de largo plazo (desde 1999 a 2009), gracias a los datos que aporta la Estación meteorológica del Aeropuerto de Almería (Martínez-Martínez *et al.* 2015), permite observar las velocidades de los vientos que generan los oleajes. Estos oleajes son relevantes para una mejor comprensión de los procesos de erosión sufridos en este tramo de costa y de los que destaca episodios concretos a lo largo de los diferentes meses del año:

Tabla 6.1. Localización en el tiempo de los temporales erosivos, por oleajes “sea”, en las playas de arena del Parque Natural del Cabo de Gata-Níjar, durante un periodo temporal significativo de años, a partir de datos de vientos del Aeropuerto de Almería (1999-2009). (Fuente: Martínez-Martínez 2015, 293 Fig. 6.1)

MES AÑO	DÍAS POR MES CON VIENTOS FORMADORES DE OLEAJES EROSIVOS												SUMA ANUAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1999	0	1	2	0	2	1	1	0	0	2	0	1	10
2000	0	0	0	5	0	2	1	2	1	1	2	1	15
2001	5	0	3	1	2	4	4	2	1	2	1	0	25
2002	0	0	2	2	2	5	1	0	0	1	0	0	13
2003	1	0	2	4	0	1	0	0	0	2	1	0	11
2004	1	1	3	5	4	1	0	1	0	1	0	0	17
2005	2	0	0	1	1	4	1	0	0	0	0	1	10
2006	0	0	2	1	1	1	0	1	0	2	0	0	8
2007	1	0	1	0	0	1	1	3	2	0	0	1	10
2008	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	10
2009	2	0	1	1	1	2	0	0	0	1	0	2	11
Σ	12	3	16	26	14	22	9	9	4	14	5	6	

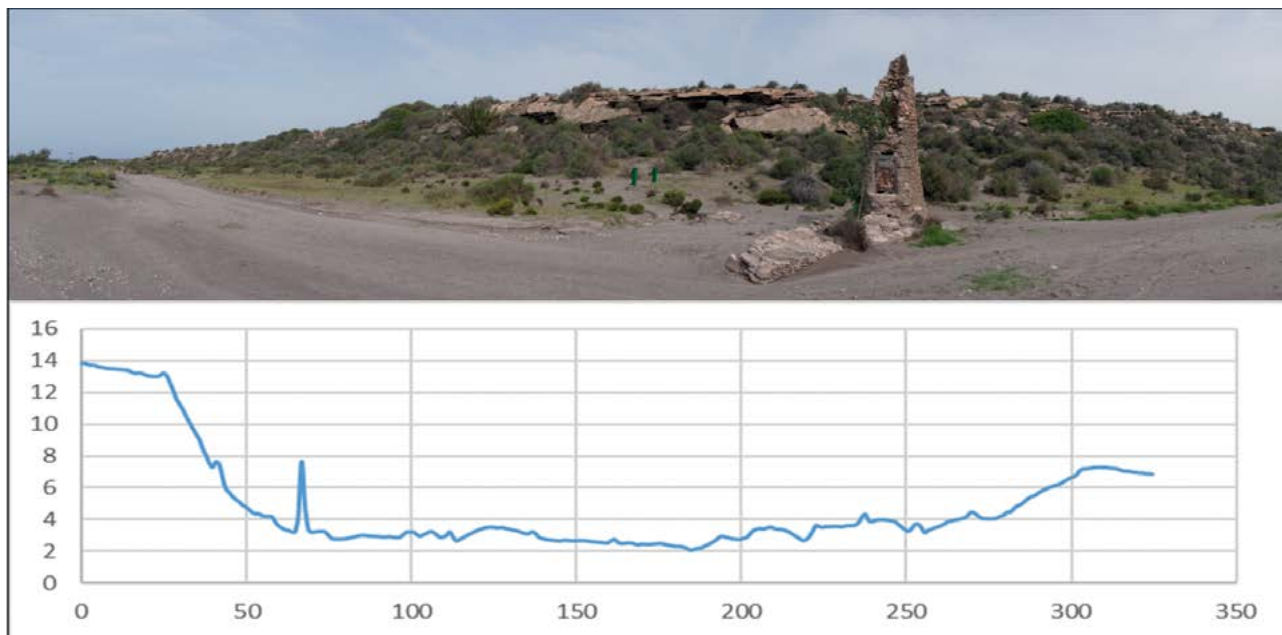


Figura 6.5. Perfil topográfico de la rambla de las Amoladeras en sentido Noroeste-Sureste y fotografía del pozo. La pequeña elevación de ocho metros se corresponde con el pozo.

- entre marzo y junio (primavera), por el oleaje que origina los vientos reforzados codominantes del lugar;
- alrededor del mes de octubre, por el oleaje relacionado con fenómenos atmosféricos ligados a depresiones aisladas en niveles altos (DANA), o gotas frías; y
- en torno al mes de enero, por los oleajes dependientes de los vientos relacionados con las borrascas invernales.

Todos estos episodios afectarían, por tanto, a una pérdida progresiva de sedimentos costeros, mientras que los aportes de arenas se situarían en el resto del año estadístico. En un año real en concreto, los procesos de pérdidas y de ganancias de estas en las playas podrían presentar ciertas variaciones en el tiempo. La tabla 1 resume el número de días con vientos sostenidos con velocidades mayores a 30 km/h, por mes y año, en la serie temporal analizada. A partir de 30 km/h, el viento puede formar olas, que suelen rebasar los 2 m. Estas alturas implican la presencia de olas con una energía suficiente como para determinar erosión en las playas de arena.

Finalmente, para el litoral del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, los fondos marinos se caracterizan de forma general por las praderas más occidentales de *Posidonia oceanica*, que delimita las llanuras de arena y fango de los accidentados fondos rocosos, como también se ha resaltado en el capítulo 2. Para el caso concreto de la Playa de Torregarcía localizamos la alternancia de grandes espacios de arena con concentraciones de roca, así como vegetación de alta densidad (*Posidonia*) (Fig. 6.6). La morfología de los sedimentos se caracteriza por depósitos no consolidados medios-gruesos en el primer tramo (profundidades de -5 m) a finos-medios en el segundo tramo (profundidades de -5 m a -15 m). La batimetría además nos muestra un progresivo descenso que va desde

los 0 a los -15 m en una línea de 850 m, lo que desarrolla un perfil de profundidades muy suave (Romero *et al.* 1997).

Como último elemento para tener en cuenta entre los condicionantes naturales, se encuentra la sismología del Sureste peninsular, que sin duda juega un papel relevante en la modificación de la realidad paisajística que hoy día conocemos y que viene siendo elemento de actualidad hasta nuestros días (Espinar 1994). Históricamente, existen testimonios para los siglos XVII y XVIII (González Dávila 1771) que hacen referencia a algunos terremotos que afectaron a la ciudad de Almería, como ocurrió en 1614, en el mes de octubre. Directamente conectados con nuestra área de estudio se registraron en diciembre de 1658, en Almería y toda su comarca, terremotos que se describen como “intensísimos”. En el Acta del Ayuntamiento de Almería del 4 de enero de 1659 consta que, el 31 de diciembre del año anterior, hubo un gran terremoto que afectó a las fortificaciones y castillos de la parte del Levante de la ciudad y que otras torres como las de San Pedro, la Carbonera, Torrejón del Cabo y Torre de la Testa acabaron igualmente afectadas por el temblor, llegando incluso a derribar un pedazo de la muralla. Una descripción muy detallada de estos fenómenos la debemos a don Antonio de Mendoza y Quesada, que escribió al Duque de Maqueda. Este testimonio se conserva en el Archivo de esta familia nobiliaria, ubicado en la Plaza de Santo Domingo de Madrid y, de acuerdo al catálogo de Galbis, se encuentra en el legajo 60, apartado F (Toro 1849; Galbis 1932, 38-39):

“...Serían las una cuando la tierra giraba y arrastraba torres hacia el mar, y creímos sepultarnos en las olas, por lo cual huimos hacia la Alcazaba; pero ésta se caía, rodaban murallas y su suelo se llenaba de grietas,

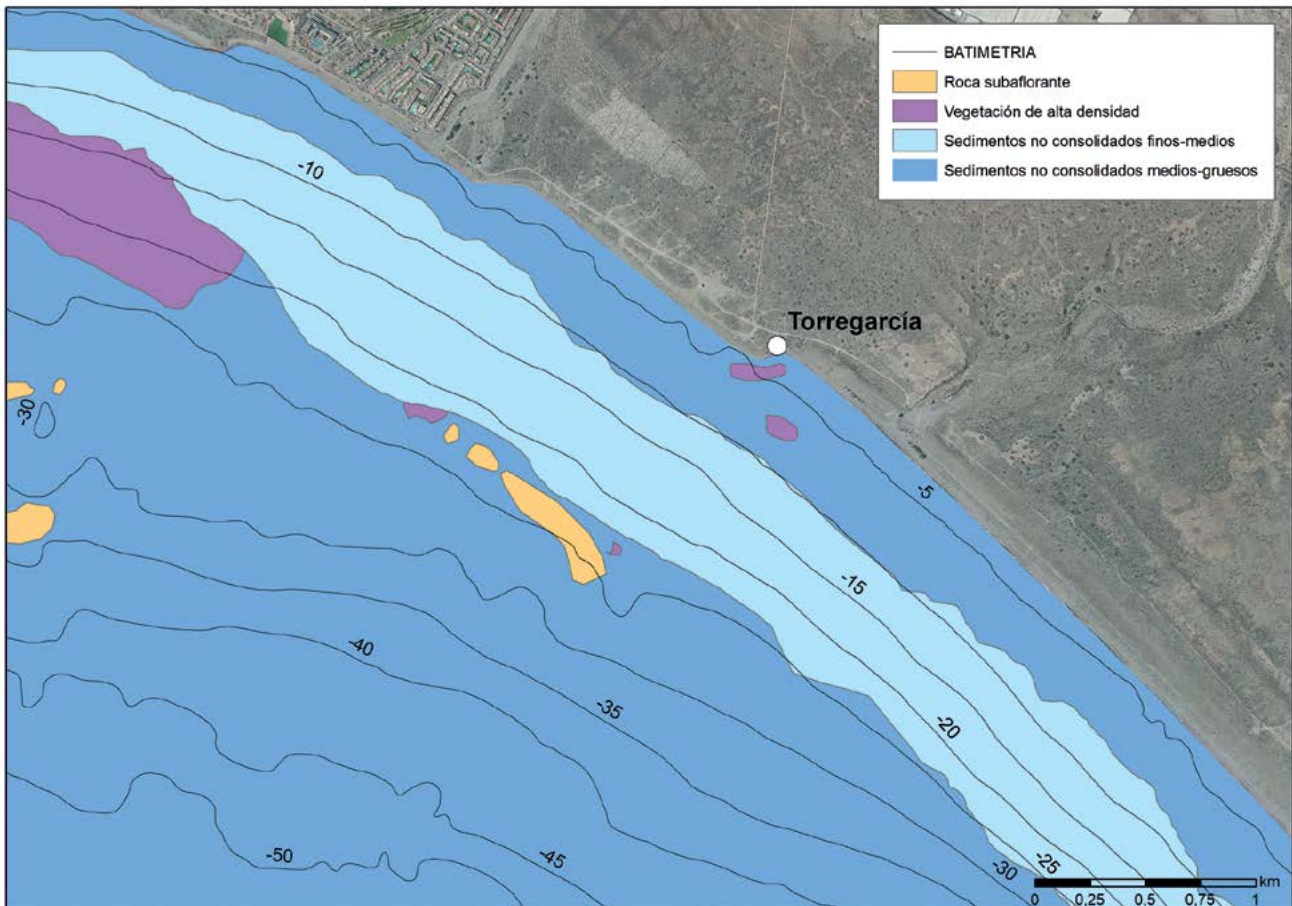


Figura 6.6. Tipo fondo Marino y morfología sedimentaria del área de estudio.

sonando bloques en lo hondo. Entre los dos fuertes se sentían ruidos y hervir agua, y las lastras de la Chanca se elevaron, echando el agua hacia el mar y empujando las olas, y a las cinco supimos que en el Barranco del Infierno humeaba la tierra, y cayeron torres, como la de La Testa de Torrejón, y pedían ayuda desde San Pedro, pues mucha gente de armas moría entre las piedras...”

Los efectos son devastadores, llegando a la zona de Cabo de Gata, y algunos autores lo han catalogado como de magnitud VIII-IX (Espinar 1994, 164). Junto a estos, otros seísmos han sido registrados a lo largo de la historia de Almería que igualmente han rondado magnitudes de grado entre VI y IX. A pesar de que desconocemos cómo este tipo de eventos afectaron al patrimonio costero almeriense en concreto, en la actualidad existen autores que han puesto de manifiesto la incidencia de estos episodios catastróficos y el gran riesgo que suponen para el patrimonio (Bennett y McLeod 2017).

6.2.3. Condicionantes antrópicos

El entorno costero de Almería muestra una importante modificación paisajística desde la Antigüedad a partir del aporte de sedimentos que se reflejan en los cauces fluviales y en el cambio de la línea de costa, como consecuencia de una profunda acción antrópica, tal y como muestran diferentes estudios previos sobre el geológicos de la

provincia (Arteaga y Hoffmann 1987; Hoffmann 1988, 45-48). El impacto que la actividad humana ha generado sobre el territorio, y en concreto en el yacimiento de Torregarcía, ha sido manifestado recientemente (López Medina *et al.* 2022), destacando la actividad minera que sufrió el territorio a lo largo de su historia (Sánchez Picón 1981; Muñoz Buendía 2007). Igualmente, relevante fue la extracción y explotación de arenas con un registro de 17 520 317 m³ de las costas almerienses hasta su prohibición en 1996 (López Medina *et al.* 2022), con especial incidencia en el tramo del cordón dunar de Cabo de Gata donde en las cercanías se constató un registro de extracción de áridos de unos 20 000 m³/año entre 1965 y 1973 (Viciara 1999, 84; 2001, 416-422). Las zonas mineras directamente vinculadas al área de estudio constituyen el área ocupada entre Rodalquilar y San José y también Sierra Alhamilla, las cuales han presentado desde la Antigüedad una importante actividad minera.

El origen de los yacimientos minerales vinculados a la Sierra del Cabo de Gata está relacionado fundamentalmente con la presencia de calderas, el relleno de filones y las alteraciones hidrotermales de las rocas volcánicas. Los principales metales objeto de explotación han sido el plomo, el zinc, el manganeso, el cobre, la plata y el oro, con una intensa actividad minera conocida desde la Prehistoria (Ortiz 2007, 2) y que ha sido analizada en el capítulo 3.

Entre los impactos más notables podemos destacar la presencia de escombreras, labores a cielo abierto (cortas), entradas a galerías subterráneas, edificios abandonados, etc. Estos han acelerado sin duda el proceso de alteración del territorio costero donde se localiza el yacimiento de Torregarcía. Por otro lado, uno de los condicionantes antrópicos que más afectarán al paisaje almeriense será el de la deforestación. En ocasiones se ha remitido a los siglos XV y XVI como principales inicios de explotación maderera con motivo de la construcción naval, pero no será hasta el siglo XVIII cuando poseamos evidencias claras del proceso de deforestación que sufre el Sureste de la Península Ibérica. En el siglo XVIII se realizan los primeros inventarios forestales (Gómez Cruz 1991; García Latorre y García Latorre 1995-1996).

Estos documentos muestran que todavía había millones de árboles en las montañas y en los territorios del norte de Almería, aunque en las tierras bajas los bosques aparecían sólo como parches aislados entre extensos matorrales. Las referencias a los grandes animales del bosque se hicieron escasas. No obstante, este tipo de documentos hace referencia a la existencia de bosques en algunas de las zonas más áridas de la provincia hasta los primeros años del siglo XIX como, por ejemplo, en la pequeña Sierra de los Pinos, un lugar en el que las precipitaciones son inferiores a 200 mm/año y donde se inventariaron casi 70 000 árboles (extraordinariamente, este pequeño bosque ha sobrevivido hasta nuestros días). Además, en el Cabo de Gata, un paisaje desértico hoy en día, el botánico Simón de Rojas informó en 1805 de la existencia de “muchos madroños” (Sagredo 1987; García Latorre *et al.* 2001). Será en el transcurso del siglo XIX cuando se perciban los cambios drásticos sobre la vegetación del territorio almeriense a causa de la actividad minera y el uso de carbón vegetal. A pesar de la dinámica descrita, la minería no fue la única razón de la transformación del medio ambiente. Madoz señala otras dos cuestiones importantes: (1) el aumento de la superficie cultivada y (2) el uso doméstico de la leña. De esta forma, en el *Diccionario* de Madoz (1845) se encuentran más de 40 referencias a la deforestación que tiene lugar en la provincia de Almería. En esta dinámica, los bosques desaparecían, el equilibrio hidrológico se alteraba, los procesos erosivos se aceleraban y se producían inundaciones torrenciales de alto factor destructivo. La erosión de los suelos almerienses se ha visto sin duda acelerada, y algunos autores han planteado una conexión directa con los procesos de cambio antropogénicos en las cuencas hidrográficas del sureste semiárido andaluz, en los últimos dos siglos afectando directamente su dinámica natural (Gil Olcina 2007; Garzón-Casado *et al.* 2011). Un elemento sin duda relevante a la hora de entender mejor la transformación del entorno paisajístico de un yacimiento como el de Torregarcía.

6.3. Perspectivas y discusión

Cualquier estudio que pretenda reconstruir un paisaje histórico es una aproximación a la realidad pasada, que depende de cuantos condicionantes consideremos.

Ponderar la importancia de uno u otro es una de las prioridades para tener un acercamiento más fiable. El Modelo Digital del Terreno generado a través de LiDAR nos da la base de la topografía, que tiene que ser complementada con elementos geológicos, ambientales y antrópicos.

El uso de LiDAR para reconstruir la topografía actual es uno de estos criterios básicos, ya que podemos observar espacios que pudieron ser más o menos transformados. Como hemos comentado, la cota general es extremadamente baja, una suave pendiente constante que desemboca en el mar. Esta orografía sólo está gravemente afectada por la acción erosiva de las ramblas, como la ya mencionada de las Amoladeras. El procesado de estos datos ha resultado poco efectivo para determinar la topografía histórica, ya que, si la comparamos con la información geológica, tenemos principalmente cuatro elementos a considerar. El primero son cotas altas que no son afectadas por costa y que se alejan del área de estudio. Segundo, un conglomerado de distinto origen, generalmente fósiles marinos, como manto rocoso en toda la costa, difícil de ser alterado, pero extremadamente plano por su propia configuración y los factores erosivos. Tercero, cordones dunares de diverso origen, como puede ser el eólico, del que no podemos determinar a ciencia cierta su cronología, ya que pueden ser procesos muy rápidos de deposición y erosión. Finalmente, ramblas fluviales generadas por acciones de arrastre aluvial, pero también deposición dada la estacionalidad de las lluvias en la región.

Un criterio fundamental para reconstruir la topografía histórica es ver qué elementos han sido más resistentes al paso del tiempo. Salvando el lecho marino formado principalmente por niveles de glaciares, menos profundos, el entorno de Torregarcía no tiene ningún elemento que por su propia topografía o geología pudiera quedar inalterado. Lo mismo ocurre con los procesos deposicionales, que pueden ser muy recientes y cambiantes como veremos más adelante.

Sí es posible acercarnos a determinar cómo sería la configuración de las ramblas fluviales, caso de la de las Amoladeras, gracias a su topografía y elementos antrópicos, como es un pozo, que es de al menos la mitad del siglo XIX (Madoz 1845, 107). El mismo sobresale actualmente cinco metros y medio sobre el suelo, teniendo una cota relativa de 8,75 metros (Fig. 6.5). Aquí la referencia:

“Desde aquí sigue la playa al ESE. 3 millas donde está la torre de Garcia; y al SE. 2°S. de esta como 3 millas de la de San Miguel también con 2 cañones. Aquí suelen fondear provisionalmente algunas embarcaciones para abrigarse del levante. Se puede fondear en cualquiera parte desde aquí hasta el cabo de Gata, procurando que este quede al SE. para el E. cuyo fondeadero nombran de los Arraletes. Todo su fondo es arena de 8 hasta 20 brazas a dist. de la playa como 3 cables. Este fondeadero es malo en tiempo de invierno, porque el SO. es travesía y levanta mucha mar: y así hallándose

en él con la menor apariencia de este viento, se dará a la vela, porque sólo puede servir en una necesidad. No hay aguada más que de un pozo junto a la torre [sic]”.

La configuración de esta rambla nos muestra una perspectiva interesante y es que al menos en el momento de construcción del pozo, de fecha indeterminada, la cota era muy superior. Esto nos da idea del importantísimo proceso erosivo ocasionado por las crecidas, si bien pueden haberse acentuado por procesos antrópicos modernos, como es la extracción de arenas, la tala y las roturaciones recientes de tierras.

Centrándonos específicamente en el yacimiento arqueológico, su paisaje ha debido cambiar mucho a lo largo del tiempo. Se ha llevado a plantear la hipótesis de que en época romana la orilla estuviera más alejada. La erosión ha provocado la pérdida irreparable de parte del yacimiento de enorme relevancia para el patrimonio histórico-arqueológico del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar y el riesgo del propio enclave arqueológico ante el avance de la erosión (López Medina *et al.* 2022).

Este planteamiento viene respaldado por el análisis de cartografía aérea a través de la ortofotografía Digital Pancromática de Andalucía 1956-57 y las ortoimágenes de España (satélite Sentinel2 y ortofotos del PNOA) que muestran que, aunque los restos arqueológicos se encuentra hoy a unos escasos 10 m de la línea costera, llegaron a estar a más de 50 m de la misma hasta los años 70-80, como ya hemos resaltado en los capítulos 2 y 4.

En la siguiente figura 6.7 se puede observar el cambio radical de la línea de costa. Si comparamos las ortofotografías del Vuelo Americano de 1956, en algunos puntos la costa está efectivamente a más de 50 metros, mientras que otros se mantienen con menor alteración. En la ortofotografía de 1973 del vuelo Interministerial, ya la línea de costa es esencialmente la misma que la actual. Esta comparativa, con el modelo digital generado con datos LiDAR es muy relevante para comprender el proceso de evolución de esta región. Se puede observar que efectivamente desde al menos finales del siglo XX, la línea de playa no se ha visto muy alterada, siendo los cambios de marea mínimos. Tan sólo se aprecia una pequeña variación en algunos

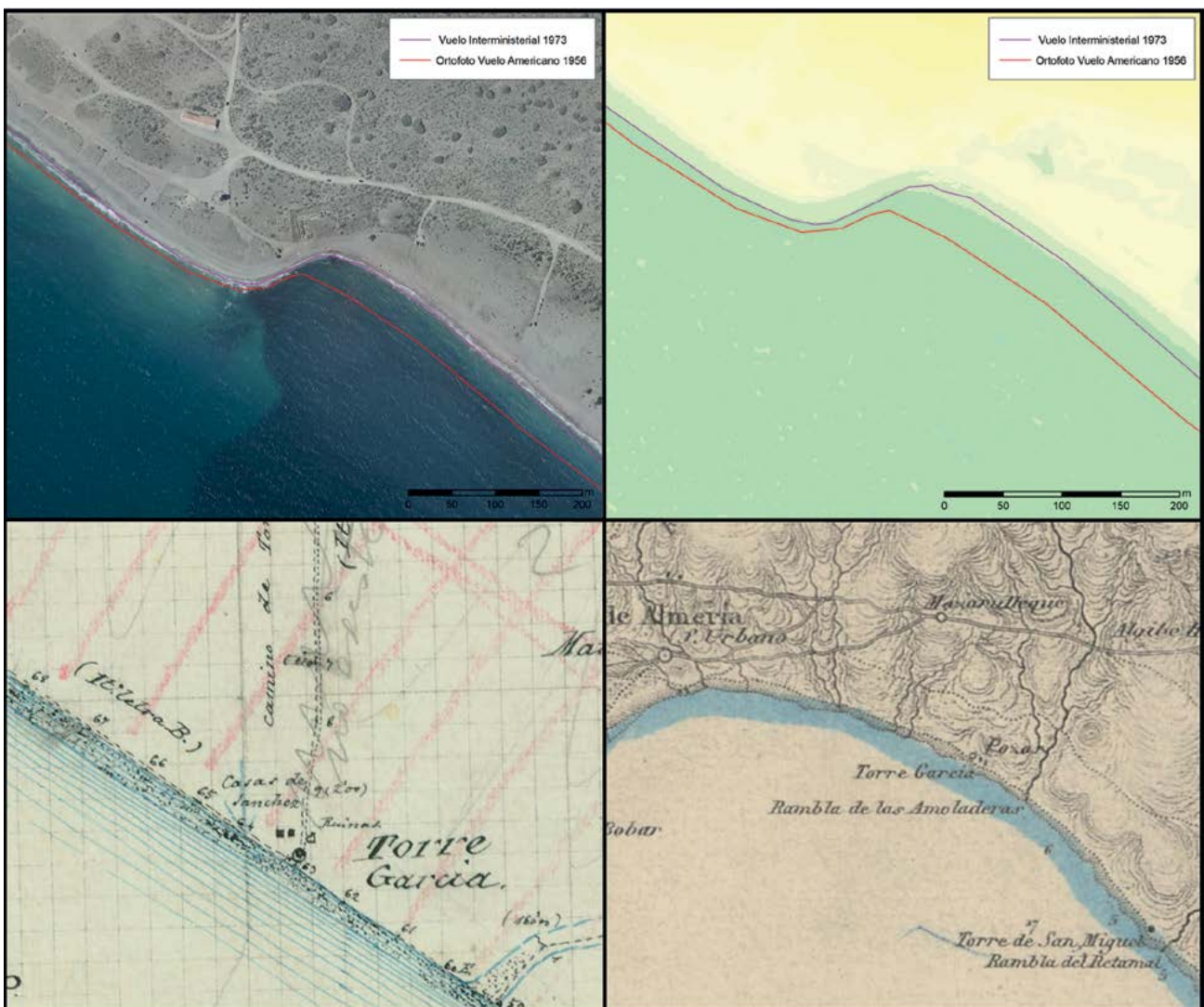


Figura 6.7. Arriba: Ortofotografía actual y MDT comparado con la línea de costa en el vuelo Interministerial de 1973 y el vuelo del Ejército Americano en 1956. Abajo: comparativa de la línea de costa con los mapas topográficos de 1896 (izquierda) y mapa de Coello, 1855 (derecha).

puntos de la línea al sureste del yacimiento. Sin embargo, en la figura del Vuelo Americano, si hay un cambio que topográficamente corresponde con una línea de costa desconocida para nosotros. Hemos revisado la cartografía histórica de la zona, para ver si este proceso se repite y tenemos la información de los mapas topográficos de 1896 donde no se representa este pequeño atolón, cuando sí se presentan en otros puntos de la costa, como en la cercana barriada del Retamar. Además, cabe recalcar que esta discontinuidad en la costa se deba al efecto producido por la falla de Carboneras³. Finalmente, en el mapa de Coello de 1845 es representada con pequeños entrantes y salientes que no corresponden con los actuales, si bien no se trata de una cartografía topográfica tomada en campo como la anterior.

Con esta información podemos plantear como hipótesis que la línea de costa ha cambiado mucho a lo largo del tiempo, al menos en algunos tramos como los que hemos visto. El origen de este cambio puede estar en las labores de extracción de áridos en la zona. Ahora bien, con la visión de prácticamente 200 años de historia en cartografía, podemos ver como se pasa de un perfil aparentemente irregular hasta la costa salpicada de pequeños entrantes y salientes actual, cuya línea se encuentra más al interior que antes. Independientemente de la geología y tectónica de la zona, vemos varias perspectivas.

La primera es que los procesos erosivos ocasionados por la minería, deforestación y roturación de tierras haya generado un mayor depósito de sedimentos. Esto podría dar la percepción que se van a acumular con mayor cantidad en la costa, pero puede ser el efecto contrario. Al no existir una masa forestal que retenga las aguas y al estar más suelos los sedimentos, la dinámica de las ramblas genera un proceso erosivo mucho mayor que el anterior.

Por otro lado, puede ser la acción antrópica resultado directo de la retirada de áridos de estas playas, si bien no sabemos exactamente cuándo se origina esta dinámica. En cualquier caso, es muy probable que el paisaje para época romana fuera muy distinto, estando efectivamente la línea de costa más separada que la actual. Ahora bien, si bien en los siglos inmediatos las acciones erosivas han sido muy grandes, ello no quiere decir que ya empezasen antes, especialmente asociadas a la minería en la región.

³ *Vid.* capítulo 11. Análisis preliminar de la malacofauna del conchero.

La aplicación de la metodología no invasiva en Torregarcía: el levantamiento digital¹

Son muchas las distintas técnicas enmarcadas dentro de la metodología histórico-arqueológica no invasiva que se han aplicado al yacimiento de Torregarcía, como se ha introducido en el capítulo 5. En este, de entre todas esas técnicas, nos centraremos en el levantamiento digital en tres dimensiones. Así pues, para llevar a cabo el estudio de esta *officina purpuraria* y las estructuras de la Zona A.1 allí presentes, resultaba de vital importancia llevar a cabo una documentación digital del lugar.

A la hora de realizar una digitalización de un elemento determinado, mueble o inmueble, existen principalmente dos técnicas distintas. La primera de ellas sería el levantamiento digital mediante el uso de LiDAR. Esta primera técnica se basa en el uso de un escáner láser para la adquisición de los datos necesarios con los que posteriormente se obtendrá un modelo 3D. La segunda de estas técnicas, la fotogrametría, nos permite de igual manera obtener una nube de puntos o una malla en tres dimensiones texturizada, pero basándose en la adquisición de fotografías del elemento objeto de estudio, que serán sometidas a una serie de procesos para obtener dichos recursos 3D. Dentro de la fotogrametría podemos encontrar dos principales subdivisiones, terrestre o aérea, diferenciándose estas por el medio desde el que son tomadas las fotografías.

Ahora bien, para el caso de Torregarcía, no nos hemos decantado por el uso de una u otra técnica, sino que se ha llevado a cabo una combinación de todas las citadas anteriormente, tanto LiDAR como fotogrametría, aérea y terrestre, teniendo como objetivo principal, la generación de un modelo virtual de máxima calidad y precisión, a partir del que obtener información del yacimiento al ser sometido a posprocesos y análisis.

Cabe mencionar que la combinación de diversas técnicas de levantamiento digital no resulta ser algo nuevo, ya que podemos encontrar bastantes trabajos en los que se viene aplicando en elementos patrimoniales de diferente naturaleza (Calvillo Ardila *et al.* 2021).

7.1. Técnicas y equipamiento empleados

7.1.1. Escaneo Láser

Para el levantamiento digital de las estructuras de la Zona A.1 de Torregarcía mediante la tecnología LiDAR se ha empleado un escáner laser de la casa comercial Leica, ampliamente conocida dentro del mundo de la

topografía por la fabricación e integración de ópticas de altísima precisión en toda su gama de instrumentos. Concretamente, el escáner empleado en este caso ha sido el modelo BLK360. Si algo caracteriza a este escáner son sus reducidas dimensiones, permitiendo una alta operatividad a la hora de realizar un levantamiento digital, sin que su fácil manejo y rapidez en la toma de datos conlleve una pérdida de calidad o precisión en la nube de puntos resultante.

El BLK360 funciona mediante un telémetro láser de 360° de acción, con el que captura un total de hasta 360 000 puntos por segundo con presión milimétrica. Dicha tecnología LiDAR se apoya en la integración en el aparato de tres cámaras panorámicas y esféricas HDR (*High Dynamic Range*), con las que la nube de puntos generada en el proceso de escaneo es coloreada, obteniendo el color real de cada uno de esos puntos. Sin embargo, una de las grandes limitaciones que tiene el BLK360, y que condiciona por completo el proceso de la toma de datos tal y como veremos más adelante, es su reducido radio de acción. El escáner de Leica es capaz de tomar puntos hasta una distancia máxima de 60 metros, pero su radio de acción con máxima precisión se ve reducido hasta la mitad, pudiendo llegar a los 30 metros de distancia. Por ello, la manera en la que se plantea el levantamiento digital en campo se ve completamente condicionada por este factor, siendo de vital importancia y consideración para poder generar nubes de puntos de la máxima precisión.

En cuanto al *software* utilizado a lo largo de todo el proceso de obtención de la nube de puntos a partir del escaneo láser, nos encontramos con toda una serie de soluciones informáticas desarrolladas por la propia Leica. El primero de los programas es el Leica Cyclone FIELD 360, una aplicación desarrollada tanto para sistemas iOS como Android, desde la que se opera el BLK360 introduciendo los parámetros de cada uno de los escaneos que se realizarán en las labores de levantamiento digital. Seguidamente nos encontramos con el BLK Data Manager, cuya finalidad es simplemente la de exportar los datos crudos de cada uno de los escaneos efectuados.

Ya una vez obtenidos los datos brutos, comienza la fase de posproceso de la información, comenzando en primer lugar con la utilidad Cyclone REGISTER 360. Esta solución de Leica tiene los siguientes objetivos:

- transformar los datos brutos en nubes de puntos exportables a distintos formatos;
- alinear los distintos escaneos realizados para la documentación digital; y
- georreferenciar la nube de puntos.

¹ Este capítulo ha sido coordinado por Manuel Ruiz Barroso.