



Figura 7.5. Modelo fotogramétrico sólido texturizado.

dos factores. El primero de ellos es la zona de acción de cada una, ya que, en el caso de la fotogrametría, el área de trabajo está mucho más delimitada que en el caso del LiDAR, que toma datos hasta donde alcanzan sus pulsos láser. El segundo de esos factores es la redundancia en cuanto a los puntos obtenidos mediante el escáner láser, puesto que hay una gran cantidad de puntos que pueden llegar a estar casi duplicados, encontrándose al mismo tiempo en varios escaneos distintos. Todo esto se ha tenido en cuenta a lo largo del posproceso.

7.5. Resultados obtenidos

La aplicación de distintas técnicas de levantamiento digital en tres dimensiones en el yacimiento de Torregarcía nos ha permitido la obtención de un modelo completo de las estructuras de la Zona A.1 del yacimiento. Así pues, las carencias de la nube de puntos obtenida mediante LiDAR terrestre han podido ser cubiertas gracias a la nube fotogramétrica, y viceversa (Fig. 7.6). De este modo hemos podido constatar tanto las limitaciones como los puntos fuertes de cada una de estas técnicas al ser aplicadas en un yacimiento de estas características.

Este modelo digital de Torregarcía nos proporciona además una base sólida para poder llevar a cabo una restitución o una reconstrucción de las estructuras. Aunque ya en el punto actual, podemos extraer una importante cantidad de información acerca de estas.

La nube de puntos resultante de ambas técnicas de digitalización puede ser sometida a una considerable cantidad de procesos. Un ejemplo de ello es la posibilidad de extraer cualquier tipo de plano ortogonal (Fig. 7.7), con la que se pueden examinar sus paramentos. Además, al encontrarnos con una nube totalmente georreferenciada y dimensionada con una gran precisión, se puede llevar a cabo todo tipo de mediciones, cálculos, que nos arrojen una mayor cantidad de información acerca de la capacidad productiva que pudo llegar a tener en su momento.

Ejemplo de ello son los cálculos de volúmenes que se han podido realizar de todas aquellas piletas que no presentaban colmatación (Fig. 7.8). La extracción de dichos volúmenes ha sido posible en un total de 34 piletas, y a partir de este hemos podido conocer que, la capacidad total que poseen estas es de 29,38 m³.

Pero no tan sólo podemos acercarnos al estudio de su funcionalidad. Otro aspecto de gran interés sería el estudio de la evolución que han venido sufriendo las estructuras a lo largo del tiempo. En este sentido, tal y como ya hemos podido observar durante las labores de adquisición de datos en campo y sometiendo posteriormente a un primer examen al modelo de Torregarcía, encontramos indicios de cómo algunas de las piletas o balsas que conforman el grueso de las estructuras presentes en el yacimiento han visto cambiada su morfología original. Es por ello por lo que el modelo digital juega un papel clave en el estudio de las distintas fases presentes en el yacimiento y los posibles cambios de funcionalidad a los que han podido ser sometidos parte de sus estructuras.

En definitiva, podemos constatar cómo actualmente, y de manera cada vez más generalizada en trabajos similares, la digitalización utilizada como una herramienta de documentación del patrimonio histórico-arqueológico va cobrando cada vez una mayor importancia. Y no es tan sólo ya por el hecho de ser un soporte más en el que preservar dicho patrimonio, que ya de por sí es un gran valor, o como base fundamental para su divulgación, sino por la fuente de información fiable que representa, ya que, obtenida con el máximo detalle y precisión posibles, puede ser perfectamente sometida a estudio.

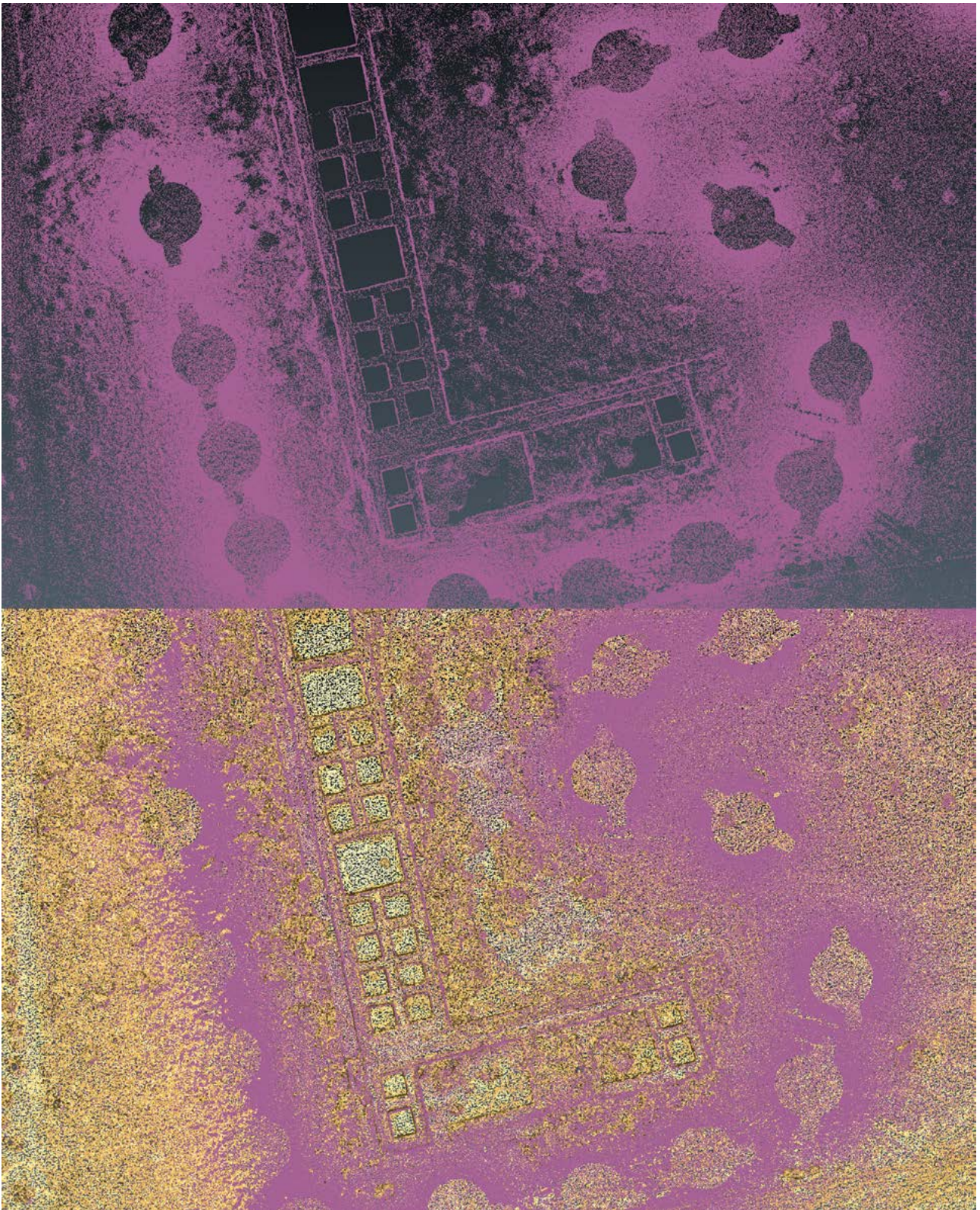


Figura 7.6. Nube de puntos LiDAR (superior) y combinación de esta con la nube de puntos de la fotogrametría (inferior).

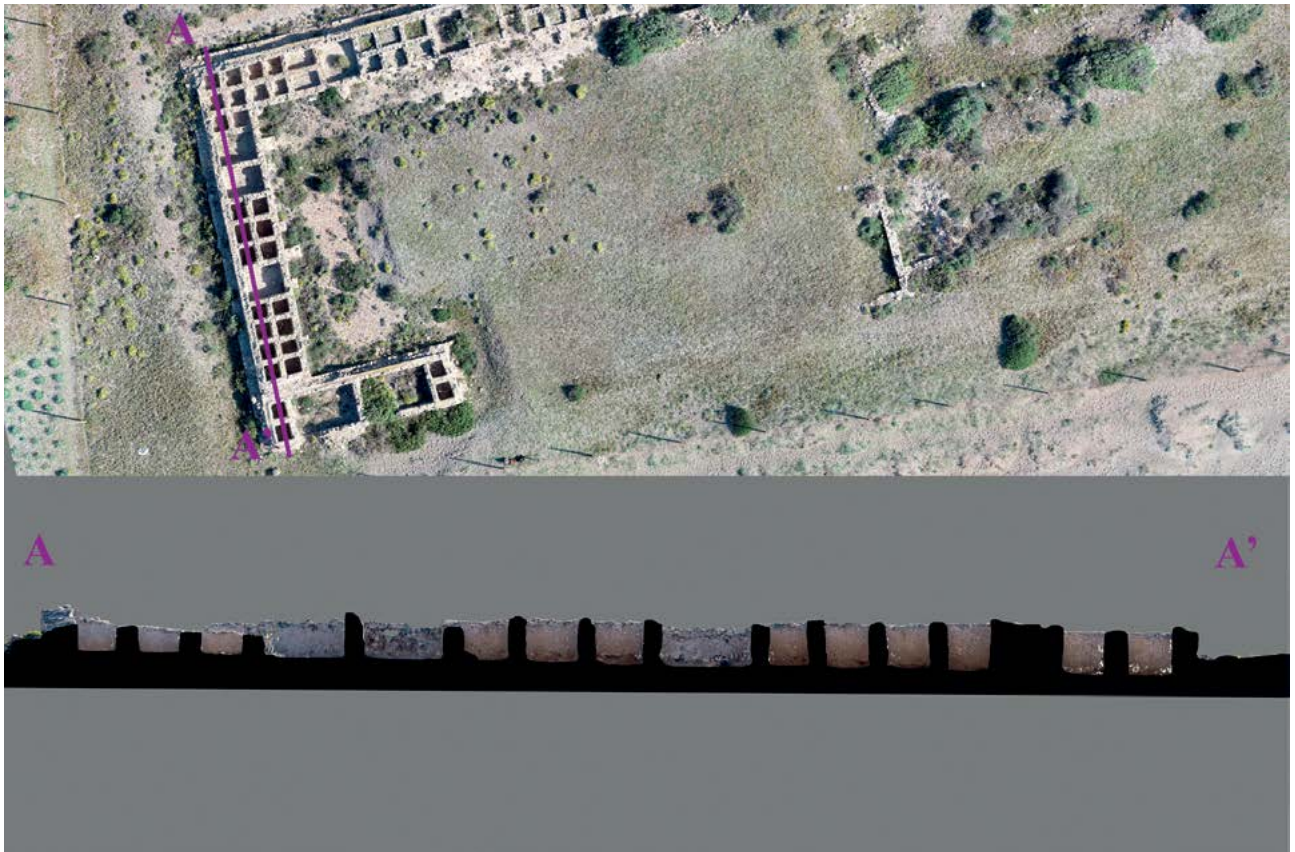


Figura 7.7. Sección del ala oeste de las estructuras.

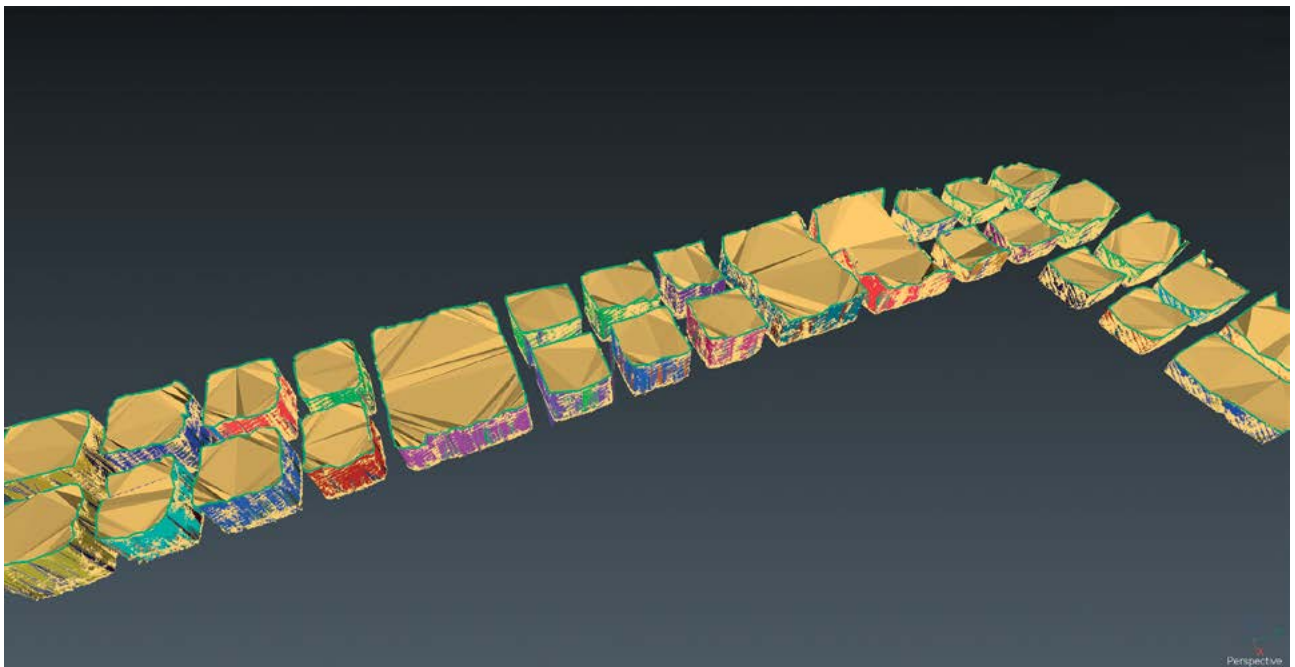


Figura 7.8. Extracción de volúmenes de piletas a partir del modelo digital de Torregarcía.

La aplicación de la magnetometría sobre el yacimiento y el procesamiento de sus datos¹

Otro de los métodos aplicados a la Zona A de Torregarcía ha sido la magnetometría. Este es uno de los métodos geofísicos más indicados para la investigación histórico-arqueológica no invasiva, por su rapidez, economía y transporte. Se trata de un método pasivo (Piro 2009; Boschi 2009, 299) que se puede usar tanto en tierra como en el mar, cuya limitación más importante es la menor capacidad de resolución en profundidad. Dependiendo de la potencia de la fuente de interferencia magnética, pueden detectarse elementos hasta una profundidad de 2,5 a 3 m. m. Aunque el magnetismo puede medirse en 3D lo normal es hacerlo en 2D (Sala *et al.* 2016).

La magnetometría consiste en la detección de anomalías derivadas de las propiedades magnéticas de los suelos y los elementos. La amplitud de esas alteraciones depende del contraste o diferencia de susceptibilidad magnética del suelo con los elementos, del volumen de estos y de la distancia con los sensores. A diferencia del georradar, esta técnica no muestra información tomográfica en profundidad, de manera que la imagen o imágenes obtenidas constituyen una planta resumen de los datos del subsuelo hasta -1,5 m, aproximadamente, denominada magnetograma.

Cuando una estructura arqueológica enterrada se caracteriza por el contraste de la susceptibilidad magnética respecto a sus alrededores, mostrará magnetización inducida en la dirección del Campo Magnético Terrestre (Aspinall *et al.* 2009, 22; Piro 2009, 31, Fig. 1; Fassbinder 2015, 85).

La superficie suele ser más magnética que la roca, así las estructuras excavadas producirán una señal magnética positiva y el material de relleno se puede detectar por una señal negativa (Fedi *et al.* 2017, 204). A veces, las estructuras arqueológicas muestran un contraste magnético ‘dipolar’, esto es, que la misma estructura proporciona dipolos magnéticos, positivo y negativo (Aspinall *et al.* 2009, 69).

El contraste se acentúa con la concentración de minerales ferrosos o de material termo-remanente (Boschi 2009, 305). Los cambios muy leves en la química del suelo también pueden influenciar los resultados magnéticos, como cuando se crea el humus. Siempre que el humus ha sido perturbado o removido, se hace evidente en los datos magnéticos, como se ejemplifica en los surcos de labranza o en los senderos modernos (Welch 2001, 18). Estas variaciones de la magnitud física medida son las

anomalías (Boschi 2009, 298).

De los diversos tipos existentes de magnetómetros, empleamos en esta exploración el de paso de flujo, o *fluxgate*, que mide los componentes del CMT. Actualmente contamos con *arrays* de sensores arrastrados por vehículos que pueden cubrir varias hectáreas al día (Sala *et al.* 2016). El espaciado de los sensores dependerá del tamaño y de la profundidad en la que se encuentren las estructuras. En el trabajo de campo se evitará el ruido, esto es, cualquier perturbación que oscurezca o reduzca la densidad o cualidad de una señal (Aspinall *et al.* 2009, 77).

8.1. Aspectos técnicos del equipo de magnetometría utilizado

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del equipo geofísico utilizado durante la toma de datos en la campaña de Torregarcía realizada en la Zona A en el año 2021. El magnetómetro se utilizó junto con un sistema de posicionamiento global (GPS), que sirvió para el correcto georreferenciado de los productos finales. Estos productos se elaboraron a partir de la utilización de una serie de *software* bajo licencia.

Empleamos un equipo MX V3, un magnetómetro multicanal modulable de la casa Sensys (*fluxgate gradiometer* FGM650/3). Su diseño modular permite hacer mediciones con diversas configuraciones, siendo muy adaptable a las características del área a prospectar. El número mínimo de canales con los que trabaja el equipo es de 3 y el máximo de 16 gradiómetros. En su configuración completa el ancho de barrido en la exploración es de 3,75 m. El sistema está previsto para ser empleado manualmente por uno o varios operarios, o remolcado mediante vehículo motorizado (Fig. 8.1).

La frecuencia de muestreo (*sample rate*) es también modulable, permitiendo elegir entre distintos módulos de frecuencia, entre estos: 20, 100 y 200 Hz. A su vez, depende de la velocidad de recolección de los datos. Este ajuste influye directamente en el número de valores de medición o puntos tomados por metro. Normalmente, cuando el equipo va empujado por un operador se elige la configuración de 20 Hz y cuando es remolcado con un vehículo que puede alcanzar hasta los 100 km/h la configuración de 100 Hz.

La distancia aplicada en este caso entre los sensores o gradiómetros es de 25 cm. Los gradiómetros se conectan a una unidad central, MX Compact V3, donde se registran todos los datos de la exploración. El sistema es controlado por el operador a través de una tableta con el *software* de

¹ Este capítulo ha sido coordinado por José Antonio Ruiz Gil, Francisco Javier Catalán González y Lázaro G. Lagóstena Barrios.