

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.



Figura 8.1. Investigador operando el magnetómetro.

adquisición de datos. Además, el equipo se complementa tanto con odómetro como con GPS con corrección RTK para la georreferenciación de los datos tomados.

Para georreferenciar los resultados, como equipo de posicionamiento auxiliar al MX V3 se emplea un Sistema Global de Posicionamiento (GNSS) con correcciones en tiempo real RTK (*Real Time Kinematic*) realizadas desde la ERGNSS (Red Nacional de Geodesia). Para optimizar la toma de datos trabajamos con una configuración GPS *Base + Rover*. La Base RTK se conecta a la Red mediante radiomódem integrado y este transmite las correcciones que son recibidas por el Rover RTK mediante su módem interno. En condiciones óptimas, pueden llegar a comunicarse hasta 10 km de distancia y áreas urbanizadas entre 3 y 4 km. El equipo utilizado como Base es el Stonex modelo S10 y como Rover se utiliza un Stonex modelo S10A.

La toma de datos en campo se realizó con el *software* MONMX, licenciado por la Universidad de Cádiz y desarrollado por la empresa SENSYS Magnetometers & Survey Solutions. El *software* permite seleccionar distintas configuraciones de trabajo, número de canales o gradiómetros, así como el modo de movimiento del equipo, remolcado o empujado manualmente.

Para el procesado en laboratorio de los datos obtenidos por el MX V3 se utilizan dos *softwares*: DLMGPS y Magneto. El *software* DLMGPS permite unir los *tracks* o transectos con los datos GPS, de manera que se pueden seleccionar todos los *tracks* realizados o sólo los que interesen. Los datos son exportados como archivos DLM. Este *software* puede trabajar con archivos de gran tamaño, por lo que puede exportar información de varias hectáreas de exploración. Además permite proyectar los datos en distintos sistemas de coordenadas. El archivo DLM es importado en el *software* Magneto, una herramienta para la visualización y análisis de los resultados de la medición geomagnética. En su pantalla principal ofrece un mapa de resultados codificado por colores con cuadrícula de coordenadas y escala de valores. Todos los parámetros pueden ser modificados para optimizar la visualización. Los elementos de análisis se administran por capas, facilitando el orden en la configuración de los datos representados. Permite la exportación de los datos en distintos formatos como ASCII o Geotiff.

8.2. Metodología de trabajo en campo y laboratorio

La superficie de exploración ofreció buenas condiciones para el trabajo, por tratarse de un área plana, con poco o ningún desnivel. Algunos inconvenientes derivan de la presencia de vegetación arbustiva protegida en el Parque

Natural que ha limitado los trabajos en algunas parcelas. La exploración magnética se ha realizado conforme al siguiente proceso metodológico:

- Análisis preliminar de las áreas a prospectar.
- Creación de proyectos GIS para la gestión de datos.
- Documentación fotográfica de las áreas exploradas.
- Exploración magnética con equipo empujado manualmente Sensys MX V3 en su configuración de 5 gradiómetros.
- Proceso de captura de datos mediante *software* Mon MX, almacenamiento en la Unidad Central MX Compact V3.
- Posproceso de los datos de exploración mediante los *softwares* DLMGPS y *Magneto*.
- Análisis de magnetogramas y generación de plantas o imágenes de representación del contraste de susceptibilidad magnética, medido en nanoteslas (nT).
- Georreferenciación de los resultados de la exploración.
- Tratamiento gráfico con indicación de las alteraciones geomagnéticas más relevantes detectadas.

En el posproceso en laboratorio, mediante el *software* de procesamiento de magnetometría se obtiene un magnetograma que, por defecto, representa la escala magnética en blanco y negro. Para este caso de estudio, se selecciona una paleta de colores con base de rojo, amarillo y negro dentro del espectro magnético. Gracias a esto, es posible detectar un mayor número de anomalías pues la diferenciación mediante colores aporta una mayor cantidad de información.

A este resultado se le añade una segunda capa que consiste en la implementación de curvas de intensidad. En nuestro caso, se ha optado por el uso de curvas que reflejan dicha intensidad en intervalos de 5 nanoteslas (5nT). De este modo, se le añade a la interpretación de magnetogramas un segundo criterio con el cual es posible diferenciar y, si se necesitara, aislar aquellos elementos que nos fueran de mayor interés, con la finalidad de analizar anomalías como indicios de estructuras, posibles zonas de enterramiento o incluso identificar o diferenciar funcionalidades de áreas concretas a través de indicios de los procesos de trabajo (hornos, hogares, etc.).

8.3. Descripción de los proyectos e interpretación de las lecturas

Se trabajó sobre doce parcelas, por tanto, se llevaron a cabo 12 proyectos individualizados de prospección magnetométrica en la Zona A de Torregarcía. Estos proyectos presentan orientaciones y dimensiones dispares, puesto que se elaboraron en función de las características y los elementos que ofrecía el terreno. Del mismo modo, cada proyecto presenta unos valores relativos máximos y mínimo, expresados en nanoteslas, que se detallan en la siguiente tabla (Tabla 8.1).

El Proyecto 01 se localiza al oeste del Área 1 definida en la zonificación del yacimiento, y se ha realizado entre el

exterior del conjunto edilicio y el vallado de protección (Fig. 8.2). Cubre una superficie de 150 m². Los valores magnéticos de la exploración se sitúan entre los +339/-558 nT. Los valores más elevados deben relacionarse con la pasada cercana al vallado del yacimiento, la ubicada más al oeste de la exploración, en su zona centro y sur. Obviando estos valores, destacan, por una parte, una serie de puntos con altos valores negativos, cuya interpretación no es segura, pues puede tratarse de elementos metálicos puntuales o vestigios de áreas de combustión. Y, por otra parte, se detectan anomalías positivas con valores menores a +20 nT, que conforman geometrías irregulares y que probablemente se correspondan con elementos naturales del sustrato geológico (capítulo 9). Finalmente se detecta valores negativos no inferiores a -10 nT.

El Proyecto 02 se localiza entre el vallado de protección y el lado exterior norte de la estructura arqueológica (Área 1). Cubre una superficie de 269 m² (Fig. 8.3). Los valores magnéticos se sitúan entre +466/-173. Al igual que el Proyecto 01, las mediciones negativas más altas se relacionan con la cercanía del vallado metálico, en la primera pasada norte de la exploración. En el ángulo NE del proyecto se localizan dos anomalías de similar composición y tamaño, con valores máximos de entre +250/+300 nT. Se relacionan con el exterior del sector noreste del conjunto productivo romano, precisamente donde los espacios constructivos muestran ambientes diferenciados de las naves de *lacus* o piletas. Pueden interpretarse como espacios asociados a procesos de combustión. Otras anomalías positivas se dispersan por el espacio explorado, pero son de menor tamaño, más irregulares y sin un orden lógico aparente. Como en el proyecto anterior, la mayoría de las mediciones muestran valores bajos que se sitúan entre los +10/-10 nT y se relacionarían con la composición del sustrato geológico. Si algunas anomalías entre estos valores se corresponden

Tabla 8.1. Proyectos y sus valores de energía (nT).

| Proyectos | Valores nanoteslas (+/-) |
|-------------|--------------------------|
| Proyecto 01 | 4853.97/-7984.62 |
| Proyecto 02 | 6665.85/-2476.81 |
| Proyecto 03 | 3622.85/-3921.81 |
| Proyecto 04 | 6710.71/-2866.82 |
| Proyecto 05 | 6171.76/-4969.79 |
| Proyecto 06 | 2302.93/-1082.76 |
| Proyecto 07 | 6551.71/-3634.64 |
| Proyecto 08 | 654.93/-307.92 |
| Proyecto 09 | 3962.83/-2866.82 |
| Proyecto 10 | 1609.85/-944.82 |
| Proyecto 11 | 983.92/-2152.71 |
| Proyecto 12 | 8855.86/-8737.49 |



Figura 8.2. Proyecto 1.

con elementos edicios, es algo difícil dilucidar puesto que estaríamos ante elementos —geológico-antrópicos— de valores similares, no obstante, se aprecian algunas representaciones que no mantienen la tendencia general de la orientación del geológico.

El Proyecto 03 se llevó a cabo dentro del Área 2, marcando su extremo SW el pozo, y su límite norte el vallado de protección del yacimiento, lo que hace que la superficie coincida parcialmente con la del Proyecto 3 de georradar (Fig. 8.4). Cubre una superficie de 262 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +253/-274 nT. En su planta se pueden observar un conjunto de anomalías positivas puntuales, con valores entre +200/+225 nT, algunas de las cuales han podido contrastarse con la exploración GPR y nos permite identificarlas como elementos metálicos localizados en niveles arqueológicos. Como en los proyectos anteriores, la mayor parte de las lecturas se sitúan entre los +10/-10 nT y, por lo general, su conformación se alinea con la configuración geológica, aunque alguna representación muestra una orientación ligeramente diferente, orientada hacia el NE-SW. También, el ángulo SE del área explorada muestra uniformidad, y por su conformación, podría relacionarse con la existencia de un espacio pavimentado más que con el propio sustrato geológico (véase capítulo 9).

El cuarto proyecto, limita al norte con el Proyecto 03, y al sur con la valla, correspondiendo espacialmente con el Proyecto 2 de georradar (capítulo 9) (Fig. 8.5). Se realizó

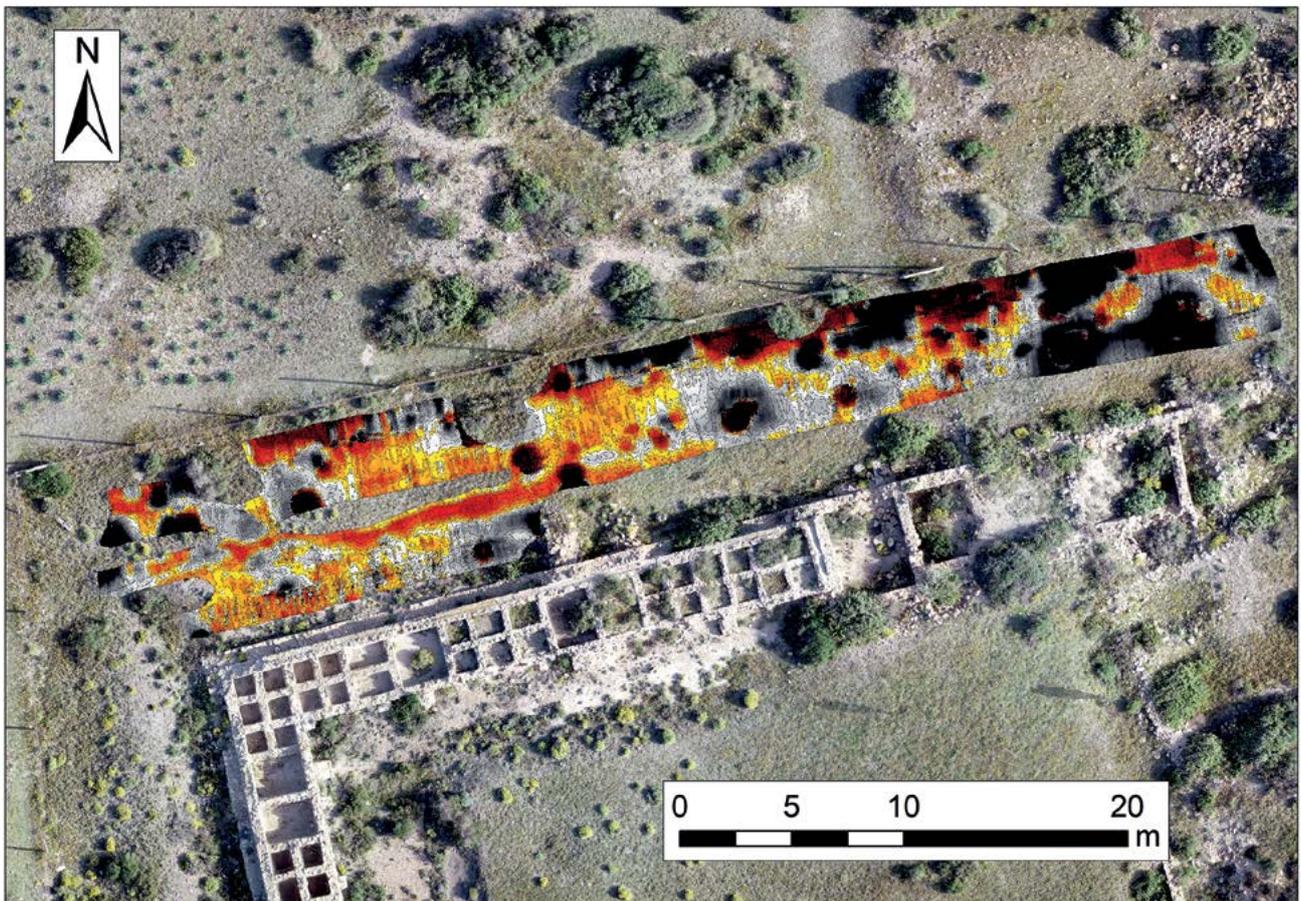


Figura 8.3. Proyecto 2.

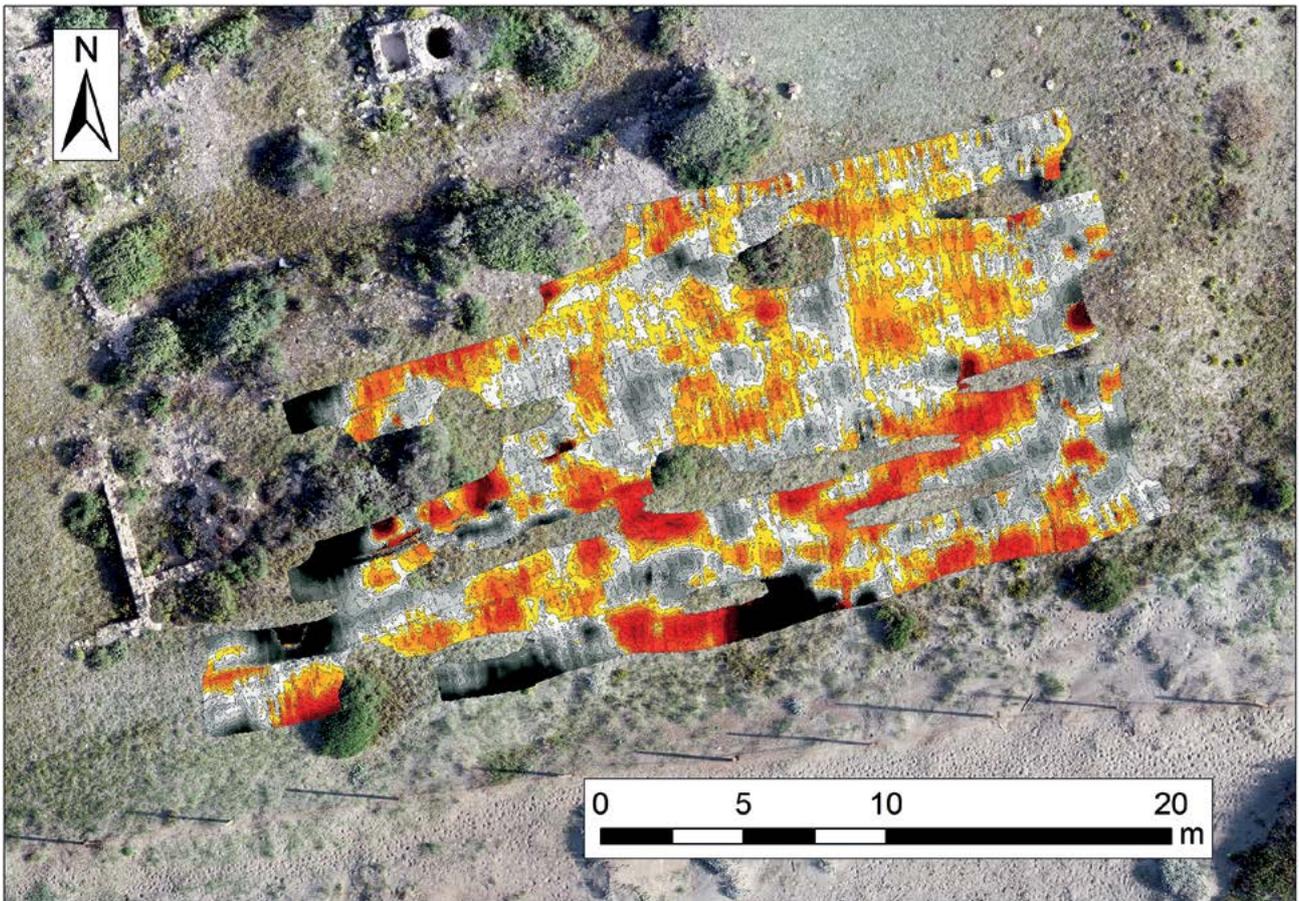


Figura 8.4. Proyecto 3.



Figura 8.5. Proyecto 4.

con pasadas en dirección E-W. Cubre una superficie de 321 m². Los valores magnéticos de la exploración se sitúan entre los +469/-200 nT. Estos valores extremos se relacionan con una anomalía dipolar cercana al vallado, por lo que cabe descartar una interpretación arqueológica para la misma. Por lo general el proyecto muestra valores de bajo magnetismo, entre +10/-10 nT. A diferencia de proyectos anteriores esos valores, aunque incluyan la representación del sustrato geológico, muestra también indicios de elementos antrópicos. Concretamente en el área central del proyecto (recuadro negro), la representación de las lecturas muestra claros límites con orientaciones N-S bastante aproximadas a la alineación en este sentido de las estructuras edificadas emergentes. Así, identificaríamos espacios construidos o pavimentos delimitados por estos, mostrando una zona de unos 8,5 m de lado. Dado que la realización de la exploración fue transversal a estas anomalías, no es posible interpretarla como interpolaciones o efectos borde de la toma de datos. También al sur del proyecto se aprecian anomalías que pueden estar alineadas con el cierre sur del conjunto constructivo excavado.

El Proyecto 05 se hizo en el interior del patio central del conjunto edilicio, correspondiendo con el Proyecto 1 de georradar (capítulo 9) (Fig. 8.6). Cubre una superficie de 387 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +432/-347 nT. Los principales valores se relacionan con una anomalía dipolar localizada casi en el centro del proyecto y que se ha identificado como un elemento metálico en la exploración

GPR. Otras anomalías dipolares de menor entidad se localizan dispersas por la superficie del proyecto. También, el extremo sur muestra valores influidos por el cerramiento metálico del conjunto. Como en los casos anteriores, la mayor parte de las lecturas se sitúan entre los +10/-10 nT, y como en el Proyecto 04, hallaríamos en estas lecturas una representación del sustrato geológico, pero también de elementos antrópicos pues hay varias zonas que delimitan las representaciones de los valores magnéticos con elementos con orientaciones N-S y E-W similares a los de la *officina purpuraria*. Así se aprecian varias de estas geometrías en el ángulo NW de la exploración, y también a todo lo largo del lateral este. Las formas, dimensiones y orientaciones de estas anomalías son compatibles con las descritas en el Proyecto 04.

El Proyecto 06 se realizó en la zona exterior del vallado de protección, al NW, entre el área perimetrada y el camino que discurre al norte, en sentido W-E (Fig. 8.7). Cubre una superficie de 363 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +161/-75 nT. El área cubierta es de gran interés por constituir una potencial zona de ocupación cercana al conjunto productivo. Lamentablemente las condiciones de exploración no eran óptimas, debido a la presencia de vegetación arbustiva, protegida por ubicarse en Parque Natural. Por ello se exploró sobre las áreas que permitían el paso del equipo. Los valores magnéticos más altos, positivos y negativos, se concentran en el sector sur del espacio explorado, y especialmente en las cercanías



Figura 8.6. Proyecto 5.

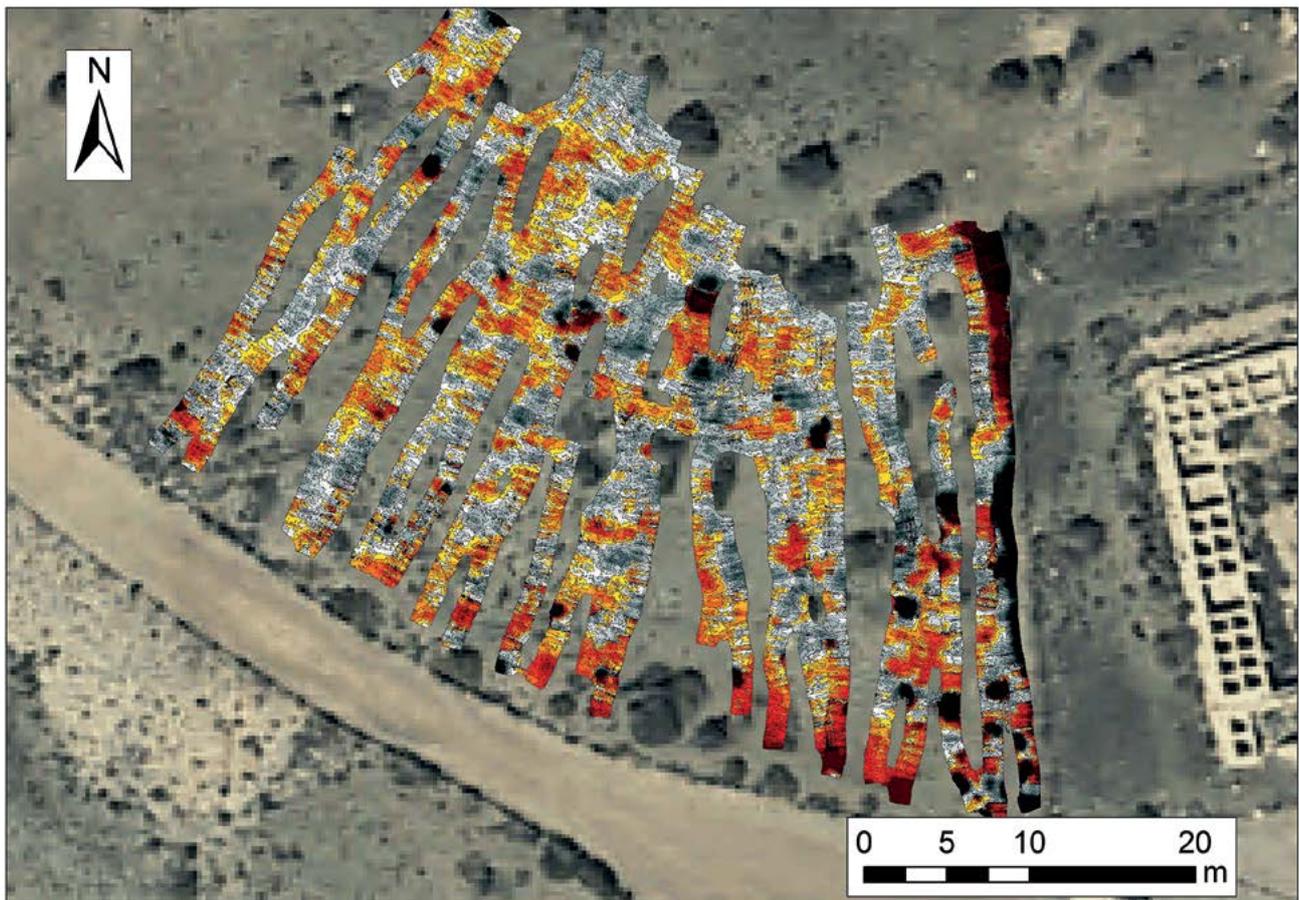


Figura 8.7. Proyecto 6.

del recinto metálico. No se puede dilucidar claramente el origen de estas anomalías pudiendo deberse a elementos metálicos, superficiales o no. Tampoco los valores bajos, similares a los proyectos anteriores, permiten visualizar elementos con potencial origen antrópico.

El Proyecto 07 se localiza al oeste del conjunto, entre el yacimiento y la torre contemporánea que da nombre al lugar (Fig. 8.8). Cubre una superficie de 901 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +458/-254 nT. Los registros positivos y negativos más altos se localizan en el extremo este de la exploración y se relacionan con el influjo del vallado. Pero también se detectan otras anomalías dipolares de menor entidad que se relacionan con las del Proyecto 01 y con las del extremo NW del Proyecto 02, y que ofrecen en conjunto una acumulación diferenciada de las detectadas en el resto de exploraciones. Como en los casos anteriores, la mayor parte de las lecturas, de menor intensidad, se sitúan entre los +10/-10 nT, y presentan morfologías compatibles con la formación del sustrato geológico, siendo complicado apreciar indicios de elementos artificiales, sin descartar su existencia. Por otra parte, se detectan algunas anomalías puntuales que aparecen alineadas en dirección a la ermita de la Virgen del Mar, situada al noroeste del yacimiento, y que pueden corresponder con indicios de un antiguo camino. Este fenómeno se repite hacia la zona sur de la exploración; en este caso podría conectarse con accesos a la torre vigía del siglo XVI.

El Proyecto 08 se realiza al sur del conchero (Área 3), tiene como límite este un camino y pequeño aparcamiento, y al sur la propia playa (Fig. 8.9). Cubre una superficie de 308 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +45/-21 nT. Salvo una anomalía dipolar en el centro del lateral norte de la exploración, los valores mostrados son de poca intensidad y parecen reflejar el comportamiento de la base geológica en este sector del litoral, siendo los valores más altos a medida que nos alejamos de la orilla (+10/+15 nT) y más bajos al acercarnos (+5/-10 nT), y sin que parezcan detectarse formaciones de origen antrópico, que tampoco pueden descartarse completamente.

El Proyecto 09 se localiza al este del anterior, al otro lado del aparcamiento antes mencionado (Fig. 8.10). Cubre una superficie de 556 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +277/-200 nT. Este proyecto presenta varias anomalías dipolares, puntuales y dispersas, especialmente por su área central. En su mitad sur se identifican dos lecturas longitudinales que atraviesan el proyecto en paralelo, con orientación NW-SE y que representan la continuidad de las formaciones apreciadas al oeste en el Proyecto 08. Aunque puedan interpretarse como el sustrato geológico, no debe descartarse una relación antrópica con estas anomalías. Hay que considerar que es probable que este asentamiento contara con alguna infraestructura portuaria por lo que las anomalías de los proyectos 08 y 09 deben valorarse para una futura comprobación de su composición.

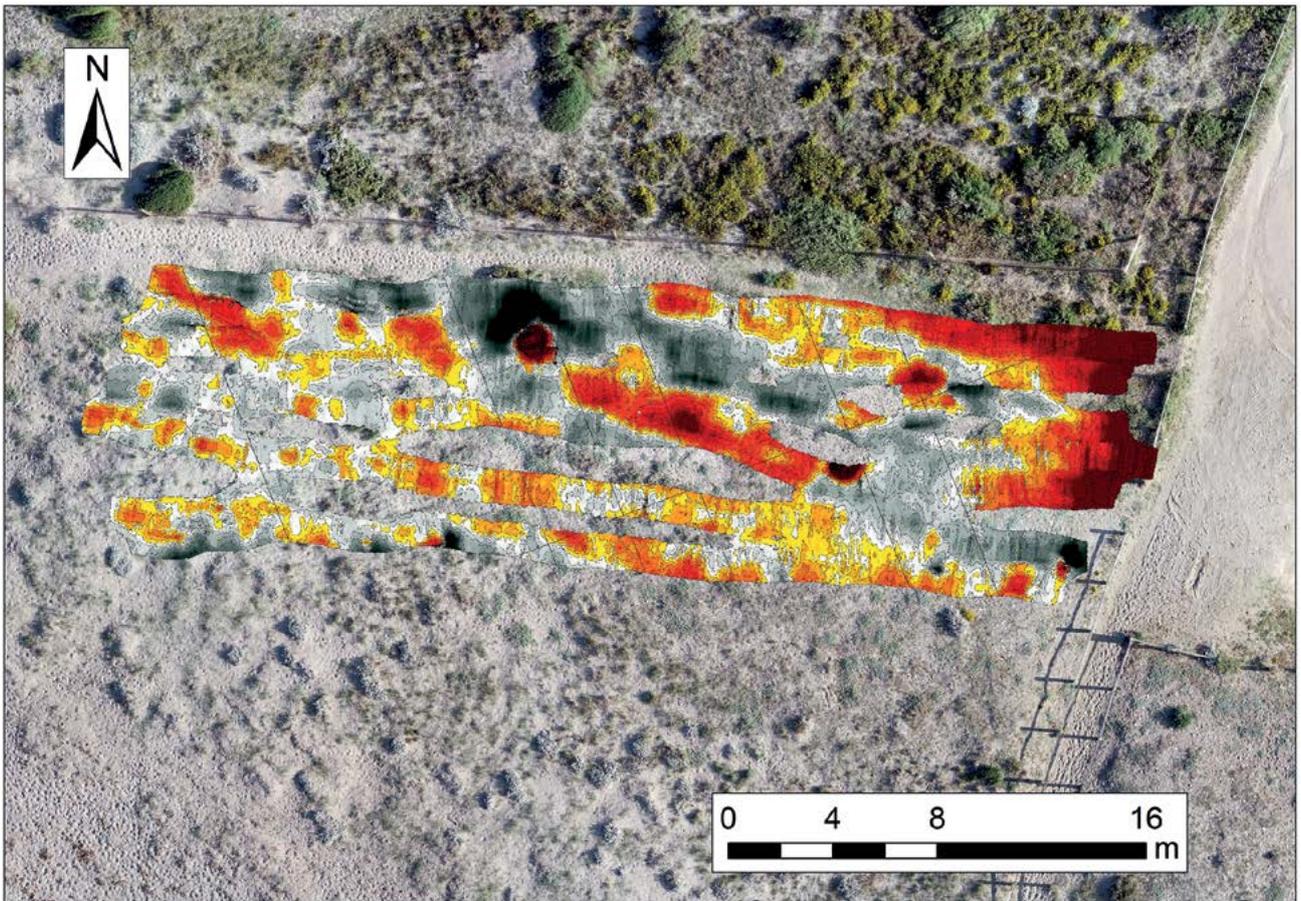


Figura 8.8. Proyecto 7.



Figura 8.9. Proyecto 8.

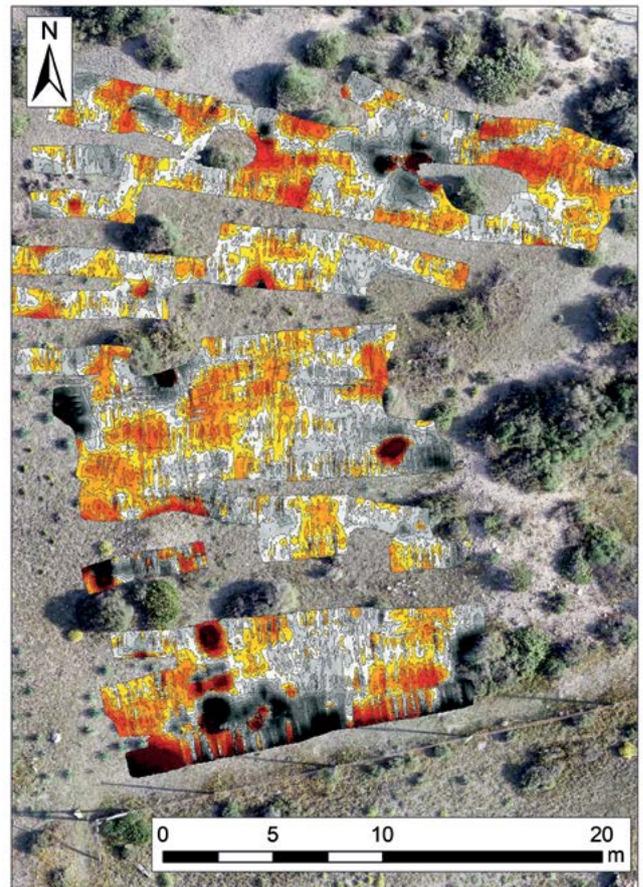


Figura 8.10. Proyecto 9.

El Proyecto 10 se ubica al suroeste del Proyecto 08, entre el vallado y la playa, de manera que su ángulo NE conecta con el ángulo SW del Proyecto 08 (Fig. 8.11). Cubre una superficie de 140 m². Los valores magnéticos se sitúan entre +112/-66 nT. Estos valores se relacionan con una anomalía dipolar en el extremo NW del proyecto. La mayor parte de los valores se sitúan entre +5/-10 nT y muestran una configuración compatible con la disposición del sustrato geológico. En los tres últimos proyectos descritos hay que considerar la influencia del espacio intertidal y la posibilidad de que algunos valores se relacionen con máximos del creciente mareal.

Finalmente, los proyectos 11 y 12 se llevaron a cabo en el Área 3, sobre la zona del conchero (Fig. 8.12). El proyecto 11 cubre una superficie de 288 m² y el 12, 116 m². El Proyecto 11 muestra valores magnéticos que se sitúan entre +68/-150 nT. Y el Proyecto 12 entre +619/-611 nT. Los valores más altos del Proyecto 11 se corresponden con una anomalía dipolar ubicada en el cuadrante NE del proyecto. La mayor parte de los valores del proyecto son muy bajos y se sitúan entre los +5/-5 nT, unos valores compatibles con la composición del depósito sobre el que se realiza la exploración (capítulo 10). La representación de estos valores muestra una disposición en formas alargadas, alineadas, con orientación SW-NE que posiblemente correspondan con la estructura deposicional de la formación del conchero como vertedero de desechos de la producción purpuraria. Los valores aquí son más

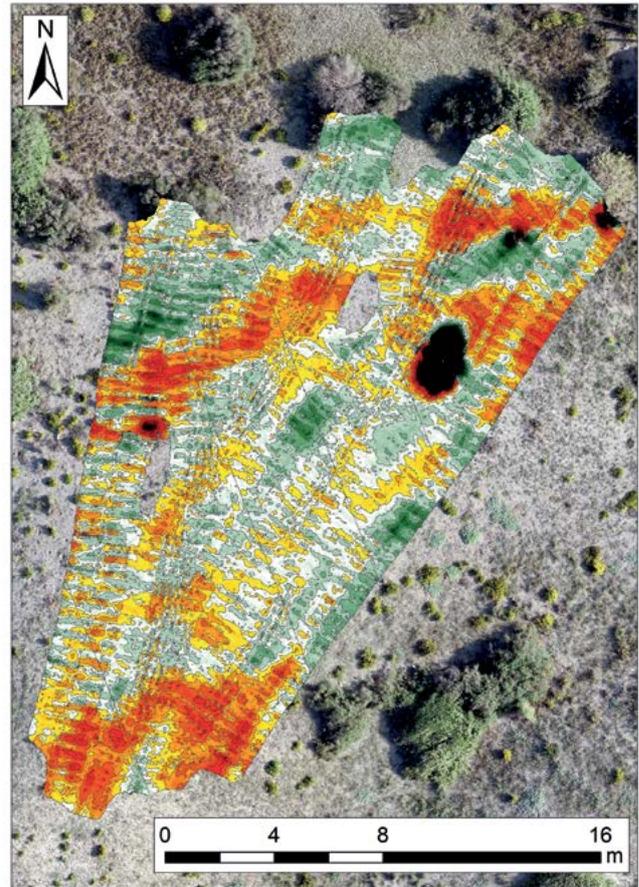


Figura 8.11. Proyecto 10.

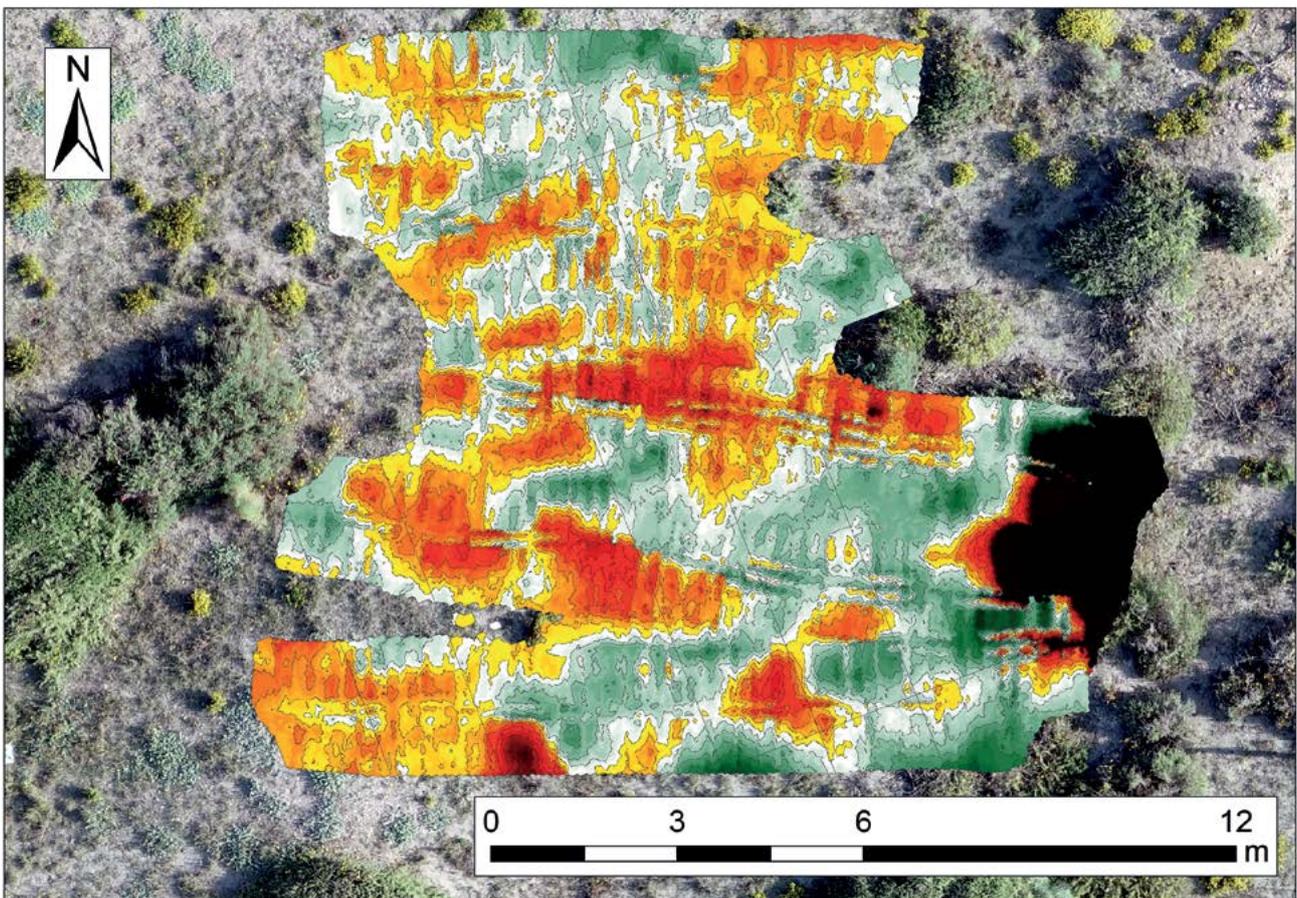


Figura 8.12. Proyecto 11.

bajos que los que se asocian con el sustrato geológico y con potenciales estructuras arqueológicas (Proyectos 04-05) lo que contribuye a caracterizar la composición magnética de un vertido de estas características.

Respecto al Proyecto 12, los altos valores detectados corresponden con una potente anomalía localizada en el lateral este de la exploración (Fig. 8.13). Salvo esta, los valores se comportan como en el Proyecto 11. Dado que registraría los vertidos en la base del montículo formado por los restos de moluscos, la morfología de las anomalías no muestra gran continuidad con la del proyecto anterior, aunque pueden contribuir a conocer el comportamiento estratigráfico de los vertidos en los niveles inferiores del conchero.

8.4. Valoración

Aunque en la descripción de cada proyecto se han indicado e interpretado, en la medida de lo posible, las anomalías y valores magnéticos resultantes de la exploración y el posproceso, aportamos en este epígrafe algunos elementos de interés como valoración global.

En primer lugar, la exploración magnética se ha realizado abarcando todos los espacios libres del conjunto arqueológico conocido, y buena parte de las áreas periféricas que permitían la accesibilidad y el trabajo (Fig. 8.14). Independientemente de los resultados aquí

ofrecidos, el futuro avance de las investigaciones permitirá retroalimentar la interpretación de los datos obtenidos en esta campaña.

En relación con el conjunto principal pueden realizarse las siguientes consideraciones: el perímetro exterior de las naves de *lacus*, al norte y al oeste, parecen no ofrecer grandes anomalías magnéticas, y aunque hay evidencias de la existencia de elementos murarios, estos no han sido claramente detectados por la exploración magnética; destacamos el conjunto de anomalías dipolares de pequeña entidad detectadas en los proyectos ejecutados al oeste de la *officina* (01, 02 y 07) que pueden relacionarse con evidencias de los procesos de trabajo aquí desarrollados, aunque no puede descartarse como causa una contaminación metálica reciente de este espacio.

En las zonas claramente situadas al interior del conjunto arqueológico sí parecen detectarse elementos constructivos asociados a las fases antiguas del asentamiento. Sin embargo, hay dificultades para diferenciar la detección del sustrato geológico del material constructivo, por la similitud de las orientaciones entre el sustrato natural y el edificio romano, y por la posible similitud en la respuesta magnética del material constructivo y la roca natural. No obstante, destacamos la existencia de potenciales elementos arqueológicos articulados en los proyectos 04 y 05.

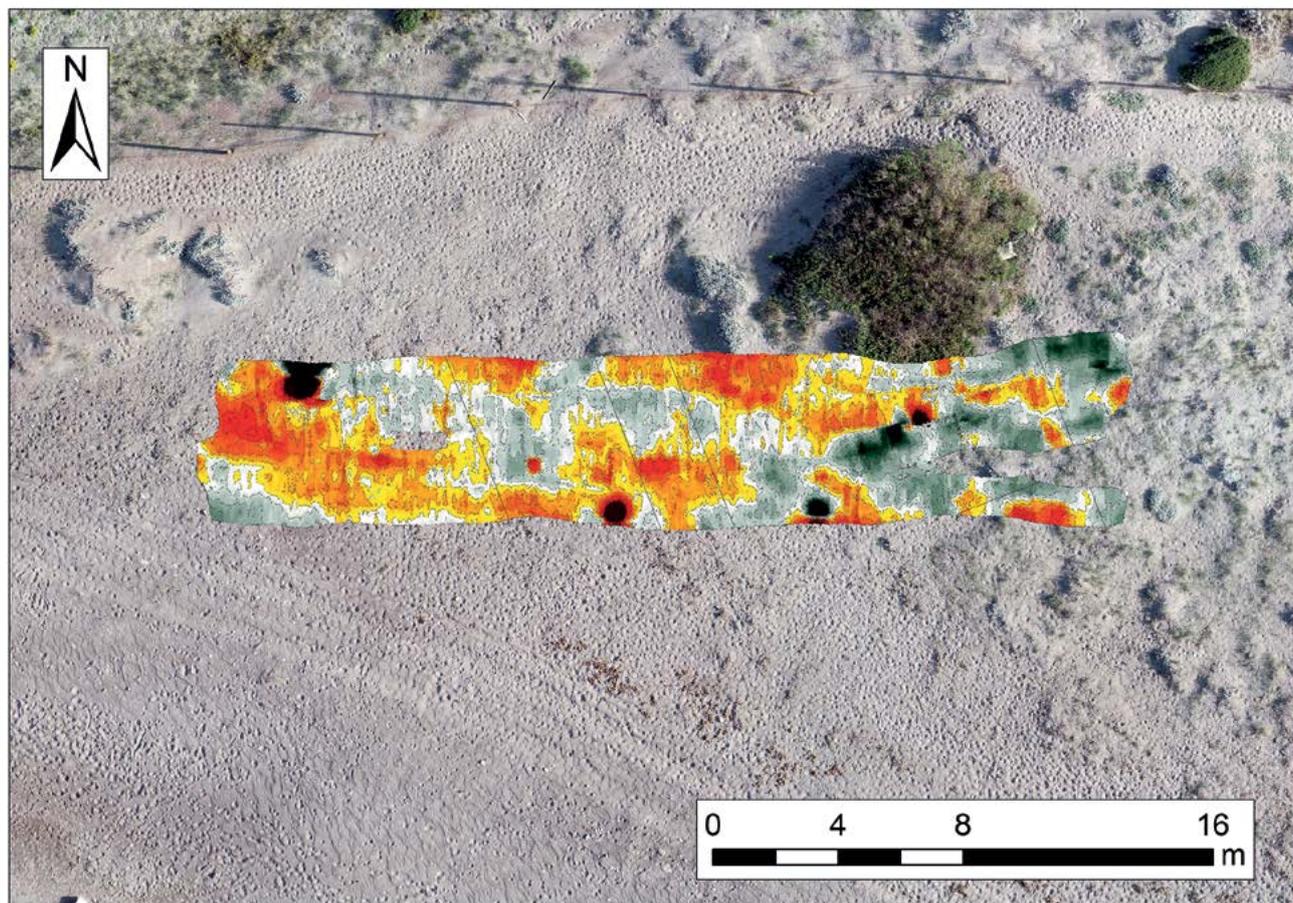


Figura 8.13. Proyecto 12.

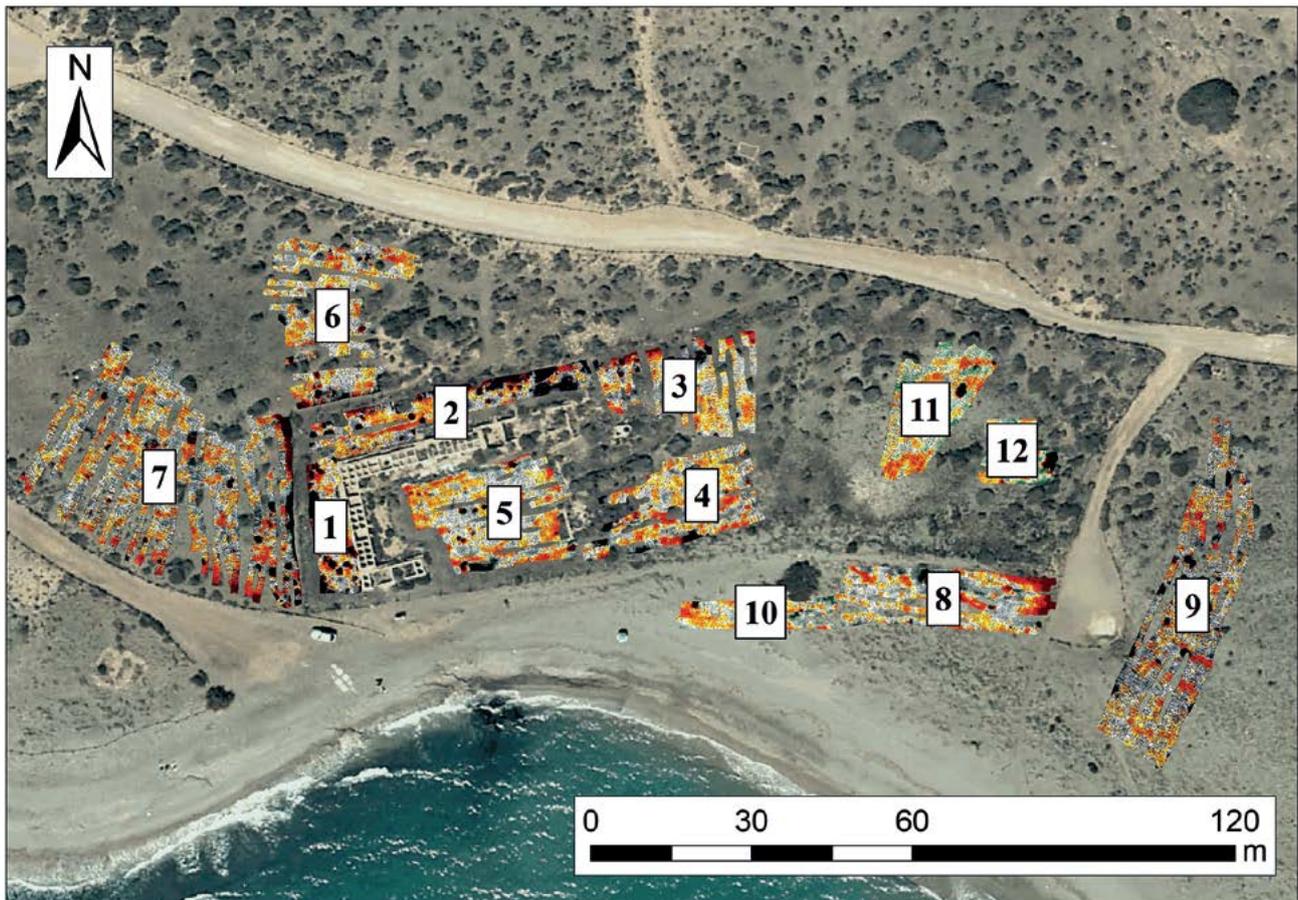


Figura 8.14. Vista general de los 12 proyectos de magnetometría sobre ortofoto.

Consideramos la caracterización del sustrato geológico, que ya detectaba con claridad la exploración georradar, como una aportación de la exploración magnética, pues permite conocer con cierto detalle la base natural sobre la que se desarrolla el asentamiento antiguo.

También, como aportación singular, destacamos la caracterización magnética del conchero de moluscos asociado a la actividad de la factoría excavada. Las lecturas magnéticas, junto con las analizadas y modelizadas gracias a la exploración por georradar, contribuyen a una experiencia de análisis de un vertedero productivo de la antigüedad romana, como caso de estudio extrapolable a otros contextos (*vid.* capítulo 10). La exploración magnética permite aquí conocer mejor los procesos deposicionales que generaron el área de vertidos.

La aplicación del georradar sobre el yacimiento¹

Una vez analizada la aplicación de la magnetometría, se pasa a la interpretación de otra de las técnicas aplicadas al estudio de las instalaciones productivas de Torregarcía, la exploración georradar. El objetivo de esta exploración no era sino obtener mayor información de los potenciales elementos arqueológicos existentes en el subsuelo de la Zona A del yacimiento, que no hayan sido afectados y documentados aún mediante la técnica arqueológica tradicional. Entre estos elementos, la técnica georradar puede documentar vestigios constructivos que completen la información sobre la arquitectura conocida del yacimiento, pero también elementos arqueológicos de carácter negativo que ofrezcan una baja resistividad o amplitud a la onda electromagnética. De la misma manera, se obtiene información sobre el sustrato natural y geológico sobre el cual se asentó la instalación en el período romano.

En el caso que nos ocupa, se han analizado tres áreas dentro del conjunto arqueológico definido por las estructuras actualmente visibles: el patio interior del implante edilicio productivo; el sector sureste del cerramiento arqueológico; y, dentro del mismo, el sector este. Los tres espacios reunían condiciones adecuadas para la aplicación de la técnica, aunque al mismo tiempo limitaba el tipo y modelo de georradar aplicado, como se ha detallado anteriormente (capítulo 5).

Es importante indicar que las áreas exploradas con georradar en este complejo productivo han sido igualmente objeto de estudio con la técnica geofísica de la magnetometría, por lo que es necesario realizar un análisis comparativo de los resultados de ambas técnicas sobre los mismos espacios como se ha realizado en otros contextos arqueológicos (Peña Ruano *et al.* 2007; Linford *et al.* 2019a; 2019b; Murín *et al.* 2022).

9.1. Método y equipamiento GPR

La exploración geofísica GPR, aplicada con fines histórico-arqueológicos, tiene como fundamento la medición de un campo artificial que modifica las propiedades físicas del suelo y los elementos que lo componen. Desde una perspectiva práctica, la antena emisora del equipo transmite una onda electromagnética que se propaga por el subsuelo, y parte de esa energía emitida es transmitida, disipada y reflectada. Esta última es captada por la antena receptora aportando información sobre los componentes del suelo. La velocidad de propagación de la onda emitida se ve modificada según las diferentes propiedades

fisicoquímicas del subsuelo, la permisividad eléctrica, la conductividad, la permeabilidad magnética o las propias características de las ondas emitidas. Esas diferencias arrojan lecturas diferentes, de tal manera que las señales son decodificadas y las reflexiones geofísicas pueden ser interpretadas (Annan 2003, 1-30; Daniels 2004, 1-11; Jol, 2008, 5-8).

La aplicación de esta herramienta para trabajos histórico-arqueológicos, desde la perspectiva de la metodología no invasiva, quizás sea la de más amplio desarrollo en los últimos años. Por ello, se ha ido enriqueciendo y han ido aumentando las publicaciones teórico-prácticas con el georradar como protagonista, desde el enfoque de nuestra disciplina (Conyers 2011, S13-S22; Zhao *et al.* 2013, 107-117; Manataki *et al.* 2015, 13-24).

Respecto a los equipamientos y *softwares* empleados en el asentamiento de Torregarcía, se ha utilizado el equipo RIS Hi-Mod 1A de la casa italiana IDS (*Ingegneria dei Sistemi*). El equipo adquiere los datos de forma manual, es decir, la antena va incorporada en un carro traccionado por un operador. Este georradar, de un solo canal, está compuesto por dos antenas que emiten los pulsos electromagnéticos en dos frecuencias centrales de forma simultánea, 200 y 600 MHz. Que el equipo sea de bifrecuencia redundante en la calidad de los datos obtenidos, de tal manera que en el procesado de los datos es posible visualizar los radargramas o secciones con la frecuencia de 200 MHz, donde la onda consigue penetrar a mayor profundidad, y con 600 MHz con la que se consigue mayor resolución en los radargramas. La velocidad máxima de adquisición de datos en esta configuración es de 9 km/h, las dimensiones de la caja de antena son de 38 x 43 cm, con 512 muestreos por barrido (@512 Sample/Scan), intervalo de escaneado 42 scans/m y polarización de antena horizontal (HH).

Como *software* de captura de datos se ha utilizado el programa ONE VISION y como *software* de procesado GPR el GRED HD, ambos desarrollados por IDS.

Como se ha indicado, en el interior de la Zona A del conjunto arqueológico se definieron tres áreas de trabajo que ofrecieron condiciones adecuadas para su ejecución. Estas áreas fueron exploradas con el equipo con apoyo del GPS-GNSS centimétrico, de manera que los resultados de la prospección quedaron georreferenciados con precisión. En otro apartado se ofrecerán más detalles descriptivos de las áreas cubiertas por los proyectos GPR realizados.

9.2. Objetivos

Los principales objetivos concretos de la exploración

¹ Este capítulo ha sido coordinado por Lázaro G. Lagóstena Barrios.