

ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA

2019

BORRADOR / DOCUMENTO PRE-PRINT

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA CON GEORRADAR EN EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DEL CERRO DEL CASTILLO, CHICLANA DE LA FRONTERA, CÁDIZ.

José Antonio Ruiz Gil, Lázaro Gabriel Lagóstena Barrios, Jenny Pérez Marrero, Pedro Trapero Fernández, Francisco Javier Catalán González, Isabel Rondán Sevilla, Domingo Martín Mochales, Isabel Granados Chiguer.

1. INTRODUCCIÓN.

El presente informe reúne los resultados del trabajo de la prospección geofísica GPR obtenidos en la campaña efectuada en el casco histórico de Chiclana de la Frontera, provincia de Cádiz. Su objeto fue la determinación de posibles anomalías en el subsuelo del área establecida y su posible relación con los restos arqueológicos del Cerro del Castillo, yacimiento recogido en el Catálogo de Bienes Protegidos de Andalucía (Código SIPHA: O1110150015).

En este documento se incluyen, en sus diversos apartados, tanto la información técnica de los equipos empleados - georradar, hardware y software - con los parámetros de configuración usados en las exploraciones, como la metodología de campo. Se cierra el informe con los resultados de la exploración, con indicación de las alteraciones geofísicas detectadas.

El Ayuntamiento de Chiclana de la Frontera solicitó el día 25 de febrero de 2019 a la Unidad de Geodetección y Georreferenciación de la Universidad de Cádiz la realización de estudio geofísico con técnica de prospección no invasiva GPR 3D, en una serie de calles y parcelas de la ciudad. Esta solicitud fue cursada a través de la plataforma de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la Universidad de Cádiz (<https://www.uca.es/otri>). La solicitud realizada por el Ayuntamiento de Chiclana tiene por objeto complementar la información sobre el Yacimiento Cerro del Castillo con miras a su puesta en valor según Proyecto de la empresa municipal EMISISA "Puesta en Valor del Cerro del Castillo" del arquitecto Juan Antonio de la Mata Amaya. La superficie a prospectar se establece en el acuerdo entre las partes en unos 5.000 m² aproximadamente, un área con los obstáculos propios de una zona urbana para el desarrollo de la actividad GPR.

En este caso, el Ayuntamiento de Chiclana de la Frontera, acuerda con la Universidad de Cádiz, la prestación del Servicio de Geodetección, Análisis y Georreferenciación del Patrimonio Histórico del Instituto de Investigaciones Agroalimentarias y Vitivinícolas IVAGRO, como Actividad Arqueológica de Prospección Geofísica en el yacimiento arqueológico del Cerro del Castillo, Chiclana de la Frontera (provincia de Cádiz). La Universidad de Cádiz cuenta con un Servicio Periférico de exploración geofísica a disposición de la comunidad universitaria, de las administraciones públicas y entidades particulares que, al amparo de las condiciones y los criterios aprobados por su Consejo Social, soliciten sus servicios (BOUCA 223 de enero de 2017). Se trata de la *Unidad de Geo-*

detección y Geo-referenciación del Patrimonio Agroalimentario, adscrita al IVAGRO con sede en el campus de La Asunción, en Jerez de la Frontera.

La zona de actuación se encuentra delimitada en el casco antiguo de la ciudad de Chiclana. El subsuelo de las zonas a prospectar alberga los posibles restos arqueológicos asociados al yacimiento arqueológico de Cerro del Castillo, localizado en la Calle Castillo, a la espalda de la iglesia de San Juan Bautista y a unos 120 m de la Plaza Mayor. En el Sitio Arqueológico de Chiclana, código SIPHA O110150009, se encuentran catalogados dos elementos de valor patrimonial histórico:

1. Cerro del Castillo. Código SIPHA O1110150015, descrito como “zona, donde se desarrolló el primitivo núcleo urbano de Chiclana, que puede remontarse al siglo XV. Se encontraron restos romanos: cerámica y lápidas funerarias. Al parecer en este sector se situó el antiguo castillo”.
2. Castillo y Murallas de Chiclana. Código SIPHA O1110150043.

A nivel municipal se encuentran inscritos dos elementos en el Catálogo PGOU Chiclana 2016: PAI-03 Cerro del Castillo y PAI-04 Castillo y Murallas de Chiclana.

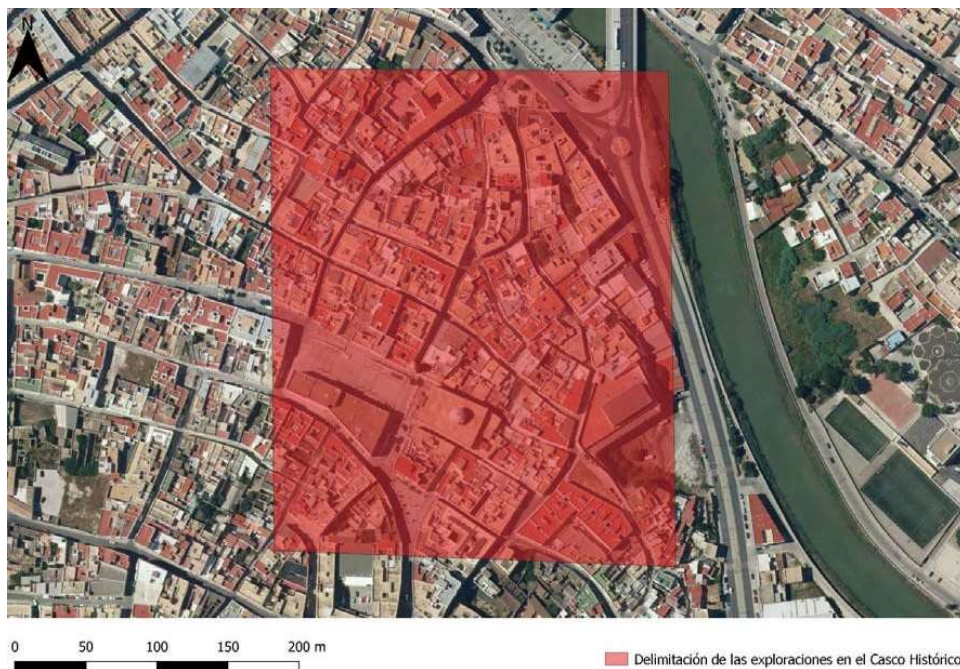


Fig. 1. Área de exploración GPR sobre ortofotografía del Instituto Geográfico Nacional, PNOA.

2. METODOLOGÍA Y EQUIPO.

El GPR (*Ground Penetration Radar*) es una técnica geofísica indirecta empleada en prospecciones no destructivas basada en la emisión y detección de ondas electromagnéticas que se propagan en el subsuelo. El pulso de energía electromagnética emitido desde la antena se trasmite al subsuelo interactuando con materiales que tienen diferentes propiedades electromagnéticas (conductividad, constante dieléctrica, permeabilidad magnética). Esta interacción hace que parte de la energía emitida sea reflejada, transmitida, refractada y/o absorbida permitiendo la detección de irregularidades con respecto al medio circundante. Los pulsos electromagnéticos se emiten a una determinada frecuencia que determina la profundidad máxima de exploración y la resolución de los resultados. El tipo y condiciones del suelo influyen en la velocidad de propagación de la onda electromagnética y en la atenuación de la energía. Estos factores pueden interferir en los resultados, por lo que es necesario un adecuado posproceso de los datos brutos.

El método de trabajo general aplicado en la exploración con GPR en el Cerro del Castillo se puede resumir en los siguientes pasos:

- ✓ Trabajo previo de definición de áreas de exploración en GIS.
- ✓ Exportación/Importación de transeptos en el programa de captura de Datos.
 - ✓ Programación de sistema GNSS a la red de posicionamiento seleccionada.
- ✓ Preparación del equipo material y humano para la delimitación de áreas a prospectar.
- ✓ Coordinación de la seguridad del trabajo con los entes responsables y con el equipo de la unidad de geo-detección.
- ✓ Traslado, montaje y calibración del equipo *in situ*.
- ✓ Delimitación del área a prospectar, implementación del cordón de seguridad.
- ✓ Prospección de transeptos previstos en ONE VISION.
- ✓ Registro de datos en la unidad de control DAD.
- ✓ Proceso de datos en laboratorio mediante el software GRED HD.
- ✓ Generación de radargramas, plantas de áreas prospectadas, ya filtrados.
- ✓ Análisis de resultados en GIS.
- ✓ Elaboración de informe.

De forma particular, en este proyecto se ha tenido que diseñar una serie de metodologías particulares para solucionar los problemas que implica trabajar en una zona urbana, con múltiples obstáculos y con pérdida parcial de la Red de Posicionamiento en Tiempo Real RTK para la corrección de los datos GNSS. Dicho esto, se citan a continuación las combinaciones metodológicas aplicadas:

1. Prospección geofísica GPR georreferenciada con GNSS en tiempo real con el STREAM X.
2. Prospección geofísica GPR georreferenciada con Estación Total con el STREAM X.
3. Prospección geofísica GPR georreferenciada con GNSS en tiempo real con el RIS HI MOD 1A.

4. Prospección geofísica GPR georreferenciada con Estación Total con el RIS HI MOD 1A.

2.1. GEORRADAR STREAM X

Es un georradar multicanal de 15 antenas con frecuencia central de 200 MHz separadas cada 12 cm. Las antenas conforman un equipo de 2 m que definen el ancho de la banda de exploración. Va tirado por vehículo al que se une mediante un sistema de elevación. Las antenas se conectan a una unidad central donde se registran todos los datos de la exploración. Desde la unidad central el sistema se conecta al odómetro y al ordenador portátil con el software para la captura de datos. Por otro lado, los datos GPR se georreferencian en tiempo real a través de la conexión a un sistema de posicionamiento centimétrico GNSS que se conecta al ordenador.

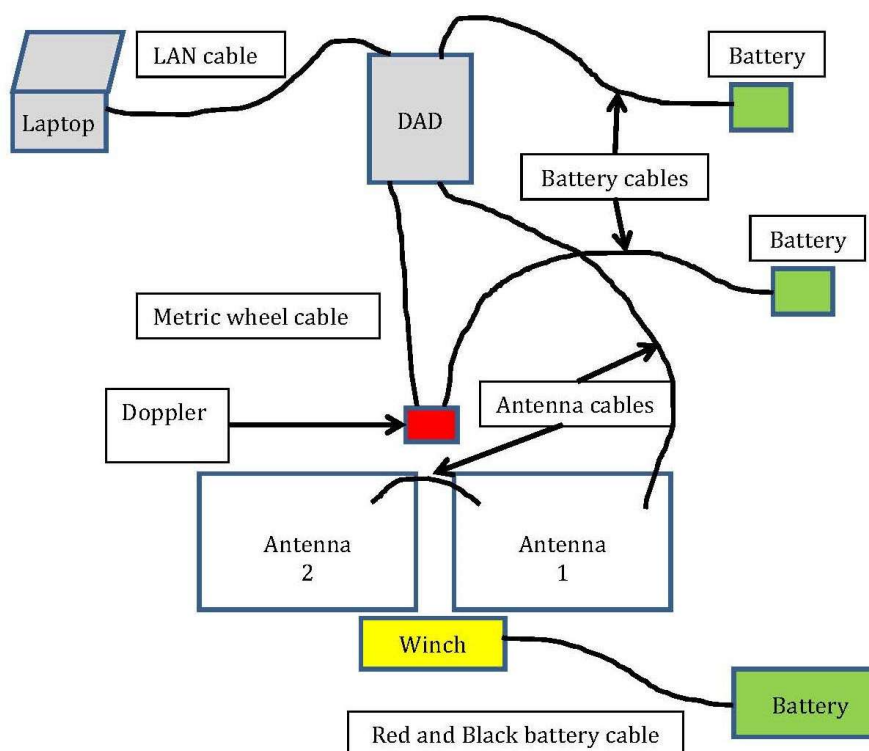


Fig. 2. Elementos principales del sistema GPR Stream X- IDS, esquema de conexión.

Los trabajos de prospección con el Stream X se han realizado con una profundidad de exploración de 80 ns, con 512 muestreos por barrido (@512 Sample/Scan), velocidad de propagación promedio de 10 cm/ns y con un sistema de posicionamiento GPS + PPS. Los

ficheros de posicionamiento son exportados desde el receptor GPS a la unidad de control en formato NMEA tomados cada 0,2 seg (5 Hz). Una parte del posproceso consiste en la aplicación de filtros para realizar las correcciones estáticas, eliminar las bajas frecuencias, mitigar el efecto de la rápida atenuación de la señal cuando se propaga en el subsuelo, eliminar o reducir las frecuencias que representan el ruido en la señal producto de diferentes interferencias provenientes del exterior, etc.

2.2. GEORRADAR RIS Hi-Mod 1A

El equipo georradar empleado en el presente trabajo es el RIS Hi-Mod 1A, un equipo con dos antenas, proporcionando una bifrecuencia (centrales) de 200 MHz y 600 MHz. Esta singularidad permite obtener mayor profundidad en el caso de la frecuencia de 200 MHz y mayor resolución en los radargramas en la frecuencia de 600 MHz. La toma de datos se hace de forma simultánea. La fusión de dos frecuencias y un procedimiento consolidado para recopilar datos permiten lograr imágenes precisas del subsuelo a través de los radargramas y tomografías exportables a GIS y CAD, lo que ayuda al operador a distinguir las anomalías individuales y los objetivos enterrados. La adquisición de datos máxima se puede realizar a 9 km/h, las dimensiones de la caja de antena 38 x 43 cm, con 512 muestreos por barrido (@512 Sample/Scan), con intervalo de escaneado 42 scans/m y polarización de antena horizontal (HH).

La antena está instalada en una caja de transporte y en un carro que permite su desplazamiento manual. Las dimensiones del equipo totalmente ensamblado hacen que la captura del primer radargrama se realice a 32,5 cm del borde del área a prospectar, eje de la antena. La antena contiene el emisor y el receptor de las ondas electromagnéticas. La antena a su vez va conectada a la unidad de control central (DAD) donde se almacenan los datos. Los datos brutos registrados de la exploración son visualizados sin tratamiento en el ordenador de campo que se encuentra conectado a la (DAD), esto permite comprobar el resultado *in situ* y verificar que la captura de datos se realiza de forma correcta. En laboratorio se realiza el posproceso de datos brutos con el objeto de mejorar las imágenes de los radargramas a través de los filtros correspondientes, generar las tomografías (lices) con una calidad aceptable para su interpretación y evaluación.

Una parte del postproceso de datos brutos consiste en la aplicación de filtros, a los que nos hemos referido arriba. Por último, hay que destacar que el avance que ha experimentado la técnica GPR en las últimas décadas ha permitido el desarrollo de equipos de altas prestaciones que permiten explorar grandes áreas de forma rápida y con una alta densidad de datos. En este caso, no fue posible el uso conjunto del GPR con el equipo de posicionamiento de precisión tipo GSNN GPS, por lo que la georreferenciación de los resultados se realiza en posproceso con el apoyo de puntos de control tomados de forma independiente al trabajo del GPR con GNSS GPS centimétrico.

2.3. GNSS / GPS / RTK

Como equipo de posicionamiento auxiliar al Stream X se emplea un Sistema Global de Posicionamiento cuyo acrónimo es GNSS, haciendo uso del sistema espacial GPS con un receptor a nivel de usuario de la casa *Leica* modelo *GS14* con controladora de campo de la misma casa comercial modelo *CS15* con correcciones en tiempo real RTK (Real Time Kinematic) realizadas desde la ERGNSS, Red Nacional de Geodesia. El rendimiento de medición y precisión para tiempo real cinemático (red RTK) está estimado en Hz 8 mm + 0,5 ppm/V 15 mm + 0,5 ppm que alcanzan estos equipos cuenta con un error máximo de 0,04 metros. El sistema de coordenadas, así como el geoide utilizado, están acordes a la legislación vigente en España, siendo el ETRS89 establecido en el Real Decreto 1071/2007. Las coordenadas elipsóidicas (latitud, longitud y altura) se han transformado a coordenadas planas UTM referidas al huso 29 o 30 según corresponda.

2.4. ESTACIÓN TOTAL

La Unidad cuenta con una Estación Total de la casa *Leica* modelo *TS06 PLUS 5" R500* con compensador por cuádruple y plomada láser. Se trata de un equipo topográfico de altas prestaciones que permite realizar diferentes mediciones: angulares, con prisma y sin prisma. Para mediciones con prisma circular tiene un rango de largo alcance de 3.500 m, con precisión de 1.5 mm + 2 ppm. Para mediciones sin prisma el alcance se reduce a entre 500 m a 1000 m con precisión de 2 mm + 2 ppm. El equipo trae incorporado el software integrado que permite una serie de aplicaciones topográficas básicas y avanzadas.

2.5. SOFTWARE.

Para la toma de datos utilizamos el software *ONE VISION*, versión 2.0.2 licenciado por la Universidad de Cádiz. Este software, desarrollado por la empresa italiana *IDS* (Ingegneria Dei Sistemi), está orientado a la detección radar y al mapeado del subsuelo. El programa funciona con una multitud de modelos georradar: Stream EM, Stream EM + Pegasus, Stream X 200 MHz, Stream C, RIS MF 400-900 1A, RIS MF 400-900 2A, RIS MF 400-900 3A, RIS MF 400-900 4A, RIS MF Hi Mod 1A, RIS MF Hi Mod 2A, RIS MF Hi Mod 3A, RIS MF Hi Mod 4A, Tesmec Explorer II. Para su utilización, *IDS* proporciona un ordenador portátil modelo Panasonic CF-31.

El posproceso de los datos tomados en las exploraciones se puede realizar con el programa *GREED HD*, versión 01.07, software licenciado por la Universidad de Cádiz a *IDS* (Ingegneria Dei Sistemi), diseñado para la visualización y tratamiento de datos brutos del radar adquiridos por el programa *One Vision*. El software *GREED HD* permite realizar diferentes tipos de posprocesos de los datos radar en 2 y 3 dimensiones, utilizando todo el potencial de diferentes filtros de tratamiento y algoritmos de procesado en 3D. Uno de los principales productos que genera el *GREED HD* son los radargramas longitudinales y transversales, así como las tomografías y vistas 3D del área explorada. Este programa permite realizar análisis de proceso estándar indicados para superficies asfaltadas o análisis avanzados de datos en los que, dependiendo de las características del subsuelo y del área prospectada, se seleccionan el paquete de filtros y procesos adecuados en cada caso.

3. RESULTADOS.

Las exploraciones geofísicas GPR llevadas a cabo en el yacimiento arqueológico del Cerro del Castillo y su entorno se han realizado con diferentes equipos y diversas metodologías. Se han empleado dos modelos de GPR diferentes: el STREAM X y el RIS HI MOD 1A. En todos los casos se intentó emplear el uso conjunto de los equipos GPR con el sistema de geoposicionamiento GNSS con correcciones en tiempo real RTK. Esta situación "ideal" no fue posible de conseguir en todos los proyectos debido a que el trabajo era en una zona urbana, con alta concentración de edificaciones. En los casos en los que no fue posible la geolocalización de las exploraciones GPR se empleó un método alternativo, basado en la geolocalización posterior a través de marcas y del empleo de medios topográficos convencionales, específicamente se trabajó con una Estación Total. El total del área explorada a la fecha de preparación del presente informe asciende a 3.357,94 m² detallada por proyectos de trabajo en la Tabla 1.

Nº DE PROYECTO	NOMBRE EL REGISTRO GPR - ONE VISION	GRP - MÉTODO	Nº SWATH	A (m2)	LOCALIZACIÓN CALLE
P001	Cerrodcastillo_2019.05.27_001	STREAM X CON GNSS	28	317,84	Colegio, Pista Deportiva 1
	Cerrodcastillo_2019.05.27_002				
P002	Cerrodcastillo_2019.05.27_003	STREAM X CON GNSS	25	418,92	Colegio. Pista Deportiva 2
P003	Cerrodcastillo_2019.05.27_004	STREAM X CON GNSS	2	145,89	C. Castillo y C. Convento
P004 S-1	Cerrodcastillo_2019.05.27_005	STREAM X SIN GNSS	3	133,89	C. Convento
P004 S-2					
P004 S-3					
P005	Cerrodcastillo_2019.05.27_006	STREAM X CON GNSS	11	318,19	C. Castillo, C. Ánima
P006	Cerrodcastillo_2019.05.27_007	STREAM X SIN GNSS	2	62,89	C. Castillo
P007	Cerrodcastillo_2019.05.27_008	STREAM X CON GNSS	1	50,29	C. Convento

P008	Cerrodelcastillo_2019.05.27_009	STREAM X SIN GNSS	3	99,07	C. Convento
P009	Cerrodelcastillo_2019.05.28_001	STREAM X SIN GNSS	2	90,55	Dentro de la Nave
P010	Cerrodelcastillo_2019.05.28_002	STREAM X SIN GNSS	2		Dentro de la Nave
P011	Cerrodelcastillo_2019.05.28_003	STREAM X SIN GNSS	4		Dentro de la Nave
P012	Cerrodelcastillo_2019.05.28_004	STREAM X SIN GNSS	1		Dentro de la Nave
P013	Cerrodelcastillo_2019.05.28_005	STREAM X SIN GNSS	3	85,89	C. Castillo, tramo 2
P014	Cerrodelcastillo_2019.05.28_006	STREAM X SIN GNSS	2	72,86	C. Travesía de la Plata

Nº DE PROYECTO	NOMBRE EL REGISTRO GPR - ONE VISION	GRP - MÉTODO	Nº SWATH	A (m2)	LOCALIZACIÓN CALLE
P015	Cerrodelcastillo_2019.05.28_007	STREAM X SIN GNSS	1	38,98	C. San Rafael
P016	Cerrodelcastillo_2019.05.28_008	STREAM X SIN GNSS	2	49,16	C. San Rafael
P017	Cerrodelcastillo_2019.05.28_009	STREAM X SIN GNSS	1	95,63	C. Francisco Ignacio
P018	Cerrodelcastillo_2019.05.28_010	STREAM X SIN GNSS	1	85,55	C. Francisco Ignacio
P019	Cerrodelcastillo_2019.05.28_011	STREAM X SIN GNSS	2	85,65	C. Francisco Ignacio
P020	Cerrodelcastillo_2019.05.29_001	STREAM X SIN GNSS	2	61,04	C. Francisco Ignacio
P021	Cerrodelcastillo_2019.05.29_002	STREAM X SIN GNSS	1	13,17	C. La Rosa
P022	Cerrodelcastillo_2019.05.29_003	STREAM X SIN GNSS	2	39,04	C. La Rosa
P023	Cerrodelcastillo_2019.05.29_004	STREAM X SIN GNSS	2	43,04	C. La Rosa

P024	CerrodelaCastillo_2019.05.29_005	STREAM X SIN GNSS	1	47,50	C. La Plata
P025	CerrodelaCastillo_2019.05.29_006	STREAM X SIN GNSS	2	127,23	C. La Plata
P026	CerrodelaCastillo_2019.05.29_007	STREAM X SIN GNSS	2	70,16	C. La Plata
P027	CerrodelaCastillo_2019.05.29_008	STREAM X SIN GNSS	1	56,95	C. Martín Jiménez
P028	CerrodelaCastillo_2019.05.29_009	STREAM X SIN GNSS	1	25,18	C. Martín Jiménez
P029	CerrodelaCastillo_2019.05.29_010	STREAM X SIN GNSS	1	66,64	C. Malcampo
P030	CerrodelaCastillo_2019.05.29_011	STREAM X SIN GNSS	2		C. Malcampo
P031	CerrodelaCastillo_2019.06.11_001_HM	HI MOD SIN GNSS	37	86,01	Colegio
P032	CerrodelaCastillo_2019.06.11_002_HM	HI MOD SIN GNSS	7		Colegio/Pasillo interior
P033	CerrodelaCastillo_2019.06.11_003_HM	HI MOD SIN GNSS	11	129,32	Colegio/Fachada
P034	CerrodelaCastillo_2019.06.11_004_HM	HI MOD SIN GNSS	10		Colegio/Lateral
P035	CerrodelaCastillo_2019.06.11_005_HM	HI MOD SIN GNSS	11		Colegio/Trasera
P036	CerrodelaCastillo_2019.06.11_006_HM	HI MOD SIN GNSS	6	96,12	Límite sur excavación, C. Ánima
P037	CerrodelaCastillo_2019.06.11_007_HM	HI MOD SIN GNSS	3	8,83	Acera C. Castillo
P038	CerrodelaCastillo_2019.06.11_008_HM	HI MOD SIN GNSS		257,12	Solar entre C.: Castillo y Ánimas
P039	CerrodelaCastillo_2019.06.11_010_HM	HI MOD SIN GNSS	10		Solar entre C.: Castillo y Ánimas

Nº DE PROYECTO	NOMBRE EL REGISTRO GPR - ONE VISION	GRP - MÉTODO	Nº SWATH	A (m2)	LOCALIZACIÓN CALLE
P040	CerrodelaCastillo_2019.06.11_011_HM	HI MOD SIN GNSS	10		Solar entre C.: Castillo y Ánimas
P041	CerrodelaCastillo_2019.06.12_012_HM	HI MOD SIN GNSS	5		Solar entre C.: Castillo y Ánimas
P042	CerrodelaCastillo_2019.06.11_013_HM	HI MOD CON GNSS	23		Solar entre C.: Castillo y Ánimas
	Total área explorada m²			3357,94	

Tabla. 1. Tabla resumen de los proyectos GPR realizados en el yacimiento arqueológico El Castillo, casco urbano de Chiclana de la Frontera.

Los resultados de la prospección geofísica GPR en el yacimiento arqueológico Cerro del Castillo y casco antiguo de Chiclana de la Frontera se encuentran en fase de implementación en el

proyecto municipal. A continuación, se presenta un mapa con los resultados en planta a profundidades de entre -0,50 m a -1,50 m.



Fig. 3. Plano general con los resultados de la exploración geofísica GPR practicada en el casco antiguo de Chiclana de la Frontera, yacimiento arqueológico Cerro del Castillo.

Los resultados se exponen por áreas de interés: CEIP El Colegio, Calle Castillo, Calle Convento, Calle Ánima, Calle la Rosa, Calle Travesía de la Plata, Calle la Plata, Calle Francisco Ignacio, Calle San Rafael, Calle Martín Jiménez, Calle Malcampo, solar entre Calles Castillo y Ánimas.

Estas áreas de interés deben tomarse con cautela pues la zona se encuentra sumamente modificada por redes y construcciones contemporáneas. Estas áreas de interés son las más significativas, pero no son únicas, pues el estudio debe completarse con la interpretación global de todos los resultados y señales en las plantas (tomografías del GPR) a diferentes cotas, sobre todo teniendo en cuenta las señales de respuesta energética media y/o negativos y que no se han tenido en cuenta a la hora de representar las áreas de interés (P1 a P11). Esta situación se repite para las zonas del interior del edificio y aceras perimetrales, en donde no se han delimitado zonas de interés, pero existen indicios de la existencia de heterogeneidades en el subsuelo.

Existen múltiples eventos en el subsuelo del área explorada en el CEIP “El Colegio”, algunos de éstos pueden responder a las obras acometidas para la construcción del centro escolar, al acondicionamiento del solar para la conformación de las pistas deportivas o a las obras asociadas a las redes de servicios públicos. No obstante, y a falta de los planos de cimentaciones y de instalaciones del edificio, se informa de la posibilidad de la asociación de eventos detectados con el GPR a restos de estructuras del yacimiento arqueológico, con especial atención a las localizadas en la Pista Deportiva 2, una situación que se confirma, además, con los hallazgos del sondeo de 2007 en la Pista Deportiva 1 (Bueno 2014).

En la Calle Castillo existen tres zonas de interés de cara a la localización de restos arqueológicos asociados al yacimiento en estudio. Las múltiples transformaciones originadas por la construcción de las redes de servicios públicos existentes en el viario hacen compleja la lectura de los datos GPR y la asociación de las señales a estructuras de carácter histórico.

En la Calle Convento no se han registrado zonas de interés en relación al yacimiento arqueológico del Cerro del Castillo debido a que la zona se encuentra significativamente alterada por la construcción de obras públicas contemporáneas. La multitud de señales registradas en el subsuelo parecen estar relacionadas con la existencia de tres redes de saneamiento/abastecimiento que atraviesan la calle de forma longitudinal, a una profundidad promedio de – 1,50 m. Han sido detectados también diversos pozos de registro, conducciones principales y ramales secundarios pertenecientes a las ya citadas redes de servicios públicos.

En la Calle Ánimas se han representado cuatro zonas de interés en relación al yacimiento arqueológico del Cerro del Castillo. El subsuelo de la calle en general está bastante alterado por la construcción de obras públicas contemporáneas. No obstante, debido a la multitud de señales registradas, a su forma y a su disposición con respecto a la evidencia de restos arqueológicos localizados en la propia calle como en el solar adjunto al Cerro del Castillo, se puede concluir que existen altas probabilidades de hallar restos arqueológicos asociados al yacimiento.

En el subsuelo de la Calle Travesía de la Plata se han localizado diferentes elementos asociados a las redes de saneamiento y otros que pudieran estar relacionados con restos arqueológicos o con construcciones subterráneas pertenecientes a las edificaciones existentes (tipo aljibes o pozos sépticos). Las anomalías detectadas en la calle y que pudieran estar asociados al objeto de interés de la exploración geofísica las hemos agrupado en un área de interés denominada V8, localizada en el extremo noroeste de la exploración.

La calle San Rafael se encuentra profundamente alterada por las redes de servicios de la zona. Son pocas las señales que no responden a transformaciones modernas o contemporáneas conocidas, las que se han detectado en el extremo suroeste de la calle,

han permitido la definición de un área de interés de segundo orden denominada SV1, de cara a la localización de restos arqueológicos asociados al yacimiento.

En la Calle Francisco Ignacio se detectan múltiples anomalías asociadas en su mayoría a las redes de servicios. El subsuelo se encuentra profundamente alterado por las instalaciones públicas en los 2 metros primeros de profundidad. No obstante, se señalan tres áreas de interés de cara al objetivo del presente estudio, haciendo la observación de que no se puede dar por sentado de que dichas anomalías estén asociadas a restos del yacimiento arqueológico, pues existen múltiples modificaciones modernas y contemporáneas de las cuales no se tiene registro y que pueden ser la causa de la aparición de dichas alteraciones. Específicamente, se ha revisado el resultado GPR del tramo de la calle correspondiente al número 10, solar inmediato al lugar donde fueron localizados en la excavación preventiva materiales cerámicos (no estructuras), sin que se detectaran anomalías significativas. En esta calle se siguen manteniendo las mismas condiciones del subsuelo que las evidenciadas en las calles anteriores, es decir, una profunda alteración en los primeros metros. Del análisis de las señales se han podido diferenciar dos conjuntos con eventos de interés, V9 y V10, que pudieran estar asociados a la existencia de restos arqueológicos o a construcciones modernas y/o contemporáneas de las que no se tiene constancia.

En la Calle Plata existe un alto grado de alteración del subsuelo producto de la instalación de las redes de saneamiento y/o abastecimiento. Del análisis de las señales registradas desde el GPR no ha sido posible diferenciar grupos de alteraciones significativas que pudieran estar asociadas a restos arqueológicos del yacimiento.

En la Calle Malcampo existe un alto grado de alteración del subsuelo producto de la instalación de las redes de saneamiento y/o abastecimiento. Del análisis de las señales registradas desde el GPR no se detectan grupos de alteraciones significativas que pudieran estar asociadas a zonas con restos arqueológicos del yacimiento.

Para finalizar, se puede decir que la prospección GPR del interior de la Nave Municipal de la Calle Castillo refleja una profunda alteración del subsuelo, modificaciones ejecutadas en diferentes épocas como lo atestigua la existencia de un aljibe en el centro de la nave. No obstante, se han definido tres áreas de interés de cara a los objetivos del presente informe: V11, V12 y V13 que pudieran responder a restos arqueológicos del yacimiento en estudio. La existencia de restos arqueológicos en el solar de la calle Castillo está constatada por las excavaciones realizadas entre los años 2006 – 2007 y la prospección geofísica GPR lo confirma. Queda así el solar definido como una gran área de interés que se suma a las nuevas definidas en el informe, la V14.

El resultado de las exploraciones GPR realizadas en el Cerro del Castillo, Chiclana de la Frontera se pueden resumir en el plano de la Fig. 4, en donde se muestra el total del área explorada, así como las zonas de interés definidas de cara a la posible existencia de restos arqueológicos asociados al yacimiento. Quedan así definidas una serie de áreas de interés

que delimitan zonas en donde posiblemente existan restos del yacimiento. Se diferencian en dos niveles, siendo la categoría 1 la que mayores posibilidades tiene de contener restos de estructuras del yacimiento. No obstante, se debe decir que todas estas zonas deben tenerse en cuenta con mucha cautela pues el Cerro del Castillo se encuentran profundamente alterado por las construcciones y las redes de servicio de época contemporánea.



Fig. 4. Exploración GPR en el Cerro del Castillo

4. BIBLIOGRAFÍA

GENERAL

- A.P. ANNAN, *Ground Penetrating Radar: workshop notes*, 2001.
- L. CONYERS, "Discovery, mapping and interpretation of buried cultural resources noninvasively with ground-penetrating radar", *Journal of Geophysics and Engineering* 8, 2011, pp. 813-822.
- L. CONYERS, D. GOODMAN, *Ground Penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists*, 1997.
- C. CORSI, B. SLAPSAK, F. VERMEULEN, *Good practice in archaeological diagnostics. Non-invasive survey of complex archaeological sites*, 2013.
- D.J. DANIELS, *Ground Penetrating Radar*, 2004.
- D. GOODMAN, A. NOVO, G. MORELLI, S. PIRO, D. KUTRUBES, H. LORENZO, "Advances in GPR imaging with multi-channel radar systems from engineering to archaeology", *Proceedings of the 24th SAGEEP Conference*, 2011.
- D. GOODMAN, S. PIRO, *GPR remote sensing in archaeology*, 2013.
- H. M. JOL, *Ground Penetrating Radar: theory and applications*, Amsterdam, 2009.
- A. SARRIS, N. PAPADOPOULOS, "Looking for graves: geophysical prospections of cemeteries", *CHNT* 17, 2012.
- A. SARRIS, (ed), *Best Practices of Geoinformatic Technologies for the Mapping of Archaeolandscapes*. Archaeopress Archaeology, 2015.
- A. SCOLLAR, A. TABBAGH, A. HESSE, I. HERZOG, *Archaeological Prospecting and Remote Sensing, Topics in Remote Sensing, 2*, Cambridge University Press, 1990.
- W. ZHAO, E., FORTE, M., PIPAN, G. TIAN, "Ground Penetrating Radar (GPR) attribute analysis for archaeological prospection", *Journal of Applied Geophysics*, vol. 97, 2013, pp. 107117.

ESPECÍFICA

BUENO SERRANO, PALOMA, *El poblamiento colonial fenicio arcaico de la Península Ibérica: Análisis desde el yacimiento arqueológico del Cerro del Castillo, Chiclana (Cádiz)*. Tesis doctoral. Universidad de Cádiz, 2014.

INFORME FINAL. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA CON GEORRADAR EN EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DEL CERRO DEL CASTILLO, CASCO URBANO DE CHICLANA DE LA FRONTERA, PROVINCIA DE CÁDIZ. UNIDAD DE GEODETECCIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO. UCA. Septiembre 2019