

AAC 13-14, Córdoba 2002-2003, pp.9-28

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

Patricio J. SORIANO CASTRO
Convenio Universidad de Córdoba -
Gerencia Municipal de Urbanismo

Resumen

El objetivo de estas páginas es ofrecer al lector, en la mayoría de las ocasiones no versado en este campo, unos conocimientos básicos sobre el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y algunos ejemplos de las aplicaciones de esta herramienta en el campo de la Arqueología. A modo de ilustración práctica se hará referencia a un conjunto de trabajos realizados desde la Oficina de Arqueología de la Gerencia Municipal de Urbanismo Córdoba dentro del convenio marco con la Universidad de Córdoba y otros proyectos dirigidos por miembros de este equipo.

Summary

The main purpose of these papers is to offer to the reader, generally not turned in this field, a set of basic knowledge on Global Positioning System (GPS) and some examples of the applications of this tool in the field of the Archaeology. As a illustration, we present a set of works made from the Oficina de Arqueología de la Gerencia de Urbanismo-Universidad de Córdoba and other projects directed by members of this equipment.

INTRODUCCIÓN

El uso de nuevas técnicas que sirvan de apoyo y ayuden a la mejora de la calidad de los resultados de cualquier proceso de investigación, es o debe ser una de las características básicas para el avance de cualquier ciencia. Este es el caso de la Arqueología, donde desde hace ya algunas décadas se han ido incorporando y adaptando herramientas y recursos, en la mayoría de los casos desarrolladas dentro de otras áreas de conocimiento, para su utilización en diferentes ámbitos de estudio (topografía, biología, antropología, informática, etc.)

Estas páginas pretenden ofrecer un acercamiento básico a una de las tecnologías que, en el momento actual, están siendo más utilizadas en el ámbito arqueológico. Se ha incluido,

Patricio J. SORIANO CASTRO

en primer lugar, unos conceptos generales que ayuden a la comprensión del funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System o GPS) y, a su vez, sean de utilidad a la hora de incluir o no, esta herramienta en proyectos arqueológicos. A continuación, se analizará un conjunto de trabajos realizados desde la Oficina de Arqueología de la Gerencia Municipal de Urbanismo Córdoba dentro del convenio marco con la Universidad de Córdoba y a otros proyectos dirigidos por miembros de este equipo en los que el manejo del GPS ha sido relevante.

LA CONSTELACIÓN NAVSTAR/GPS: CONCEPTOS BÁSICOS

El sistema de posicionamiento global NAVSTAR/GPS (Navigation System and Ranging - Global Position System) (*Fig. 1*) es un proyecto espacial desarrollado por el Departamento de Defensa de los EE.UU con una finalidad puramente militar y defensiva. Se trata de un sistema de posicionamiento que ofrece servicio en toda la superficie del planeta y durante 24 horas al día. El primer lanzamiento espacial se realizó el 22 de febrero de 1978. En 1995, el departamento de Defensa de los EE.UU se comprometió al mantenimiento de NAVSTAR para uso civil a un nivel especificado por la ley, al menos en tiempos de paz. Este evento, junto a los avances tecnológicos desarrollados y el consecuente abaratamiento de los costes de los equipos, ha favorecido que el uso del GPS se haya extendido por campos no estrictamente militares tales como la ingeniería o la topografía, la aviación comercial, el control de flotas de navegación y otras actividades menos técnicas relacionados con el ocio como puede ser el senderismo. En el campo de la Arqueología se ha ido implementando poco a poco la utilización de esta herramienta sobre todo en los campos de gestión e investigación, aunque, como podremos ver, existen en la actualidad algunos ejemplos que engloban actividades de difusión patrimonial que utilizan, junto a otras técnicas informáticas, el sistema GPS.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA GPS

Comentamos a continuación las características generales del sistema GPS analizando en detalle los conceptos que lo definen (PAREDES, 1997):

Sistema: El sistema GPS está compuesto por una serie de componentes denominados segmentos con conexiones entre ellos.

Segmento espacial. Formado por la constelación de satélites y todos los parámetros que hacen referencia a su funcionamiento (órbitas, número de planos orbitales o especificaciones técnicas de cada satélite). Los satélites GPS se sitúan en 6 órbitas con 4 satélites en cada órbita separados por 90°. Cada órbita está a una altitud de 20.169 Km. sobre la Tierra con una inclinación de 55° respecto del Ecuador. De esta forma se asegura una cobertura global ininterrumpida que permite la visibilidad de un mínimo de 4 satélites.

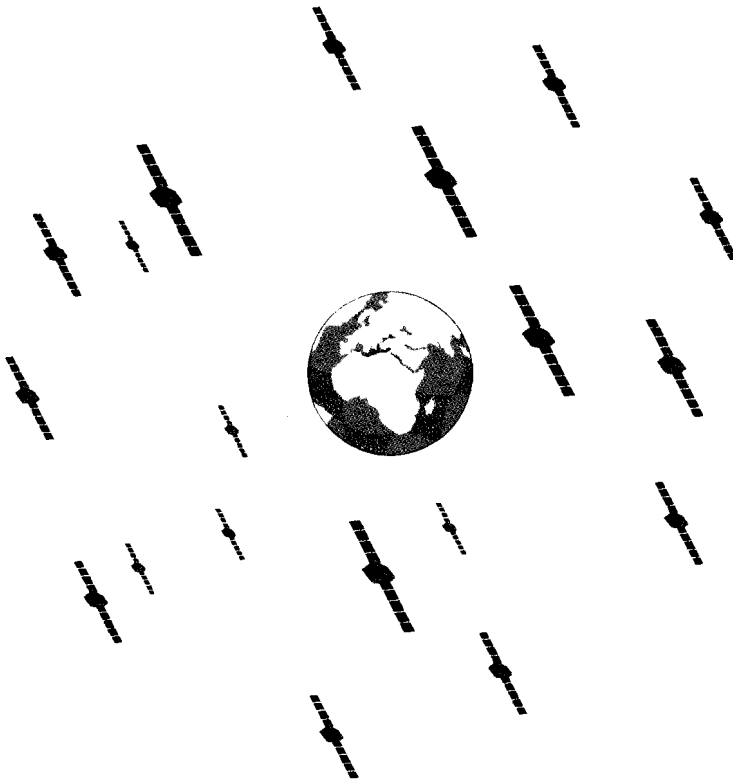


Fig. 1: Constelación GPS-NAVSTAR. 24 satélites en 6 planos orbitales. Altitud 20.200 Km. 55° de inclinación.

Segmento de control. Incluye estaciones terrestres de seguimiento. La estación central situada en Colorado Springs (EE.UU.) reúne la información de las estaciones de monitorización repartidas por todo el mundo, que disponen de precisos relojes atómicos y equipos receptores especiales que les permiten detectar derivas o modificaciones en la calidad de los datos.

Segmento de usuario. Se refiere a los instrumentos (receptor, antena y software) de que éste dispone para localizar las coordenadas de un punto en la superficie terrestre a partir de las señales enviadas desde los satélites. Por cuestiones de seguridad la señal espacial es recibida únicamente por el usuario sin que este emita ningún tipo de señal que dé información sobre su localización.

Posicionamiento: Además de ofrecer la localización de un punto concreto, el sistema GPS permite conocer la dirección y velocidad del movimiento, si es que se ha optado por el

Patricio J. SORIANO CASTRO

posicionamiento dinámico conocido como navegación, la distancia a un hipotético punto de destino seleccionado, el tiempo estimado de llegada, etc. Aparte de proporcionar latitud y longitud (u otra información “horizontal”) un receptor GPS también proporciona información sobre la altitud. Normalmente, la precisión de la tercera dimensión de los datos GPS, no es tan grande como la posición en dos dimensiones. Un aspecto importante del uso del GPS reside en el sistema de obtención de la altura a la que se encuentra los puntos observados sobre una superficie de referencia. El sistema GPS determina la altura referida a una superficie de referencia matemática definible (no física) conocida como elipsoide WGS84. Con los modelos de geoide existentes se puede calcular las alturas del geoide en cada estación GPS y la altura ortométrica correspondiente (SAHUEQUILLO, 1997, 7)

Global: Es decir, puede ser utilizado en cualquier lugar de la Tierra. Esta definición debe ser matizada ya que la señal sólo podrá ser recibida por el usuario desde un lugar donde los satélites sean visibles. Las ondas de radio emitidas por los satélites poseen longitudes muy cortas que facilitan la medición al seguir un camino muy recto. Sin embargo, esta señal no atraviesa muy bien la materia sólida lo que hace inútil el trabajo en edificios cerrados, bajo tierra, bajo fuertes precipitaciones o en cualquier otro sitio que no tenga una vista directa de una porción considerable del cielo.

EL SISTEMA GLONASS Y EL PROYECTO GALILEO

A modo de información queremos hacer una breve referencia a otro sistema de posicionamiento que en la actualidad puede ser utilizado por algunos equipos de forma combinada con GPS. El sistema ruso GLONASS esta todavía sin concluir y ha atravesado por diversos problemas económicos y de decisión política. A pesar de ello es un sistema que a día de hoy dispone de 10 satélites operativos (contra los más de 24 del sistema GPS), y esto hace que se trate de un sistema de difícil uso por sí solo, pero que puede aportar ventajas de forma conjunta con GPS. El utilizar receptores capaces de recoger y procesar la señal proveniente de satélites de la constelación GPS y de la constelación GLONASS aporta algunas ventajas, si bien éstas ventajas no se reflejan en la precisión.

Un aspecto a destacar es el aumento de la cobertura. Este aspecto se aprecia en algunas situaciones tales como levantamientos urbanos con gran cantidad de obstáculos, lugares angostos como valles profundos y escarpados, acantilados y en definitiva todos aquellos lugares donde la cobertura quede limitada por obstáculos de cierta importancia impidiendo observar más de 4 satélites GPS. En estos casos, el disponer de una segunda constelación puede aumentar el número de satélites a cinco, seis e incluso siete, haciendo posible continuar trabajando en esas circunstancias. Otro aspecto importante de los receptores GPS+GLONASS es su mayor velocidad de inicialización y reinicialización. Como argumentos en contra se pueden barajar dos: inseguridad de perspectivas futuras del sistema en

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

relación con la situación económica por la que pasa Rusia y el precio elevado de los receptores GPS-GLONASS (SAHUEQUILLO, F.: 2001)

Por su parte, GALILEO es un nuevo sistema de localización por satélite de origen europeo. El proyecto, diseñado desde su concepción para usos civiles, empezó a definirse en junio de 1999 para terminar esa fase a finales del 2000 esperándose su desarrollo e implementación definitiva para el 2008. En relación con el GPS, Galileo es un sistema global independiente pero totalmente compatible e interoperable. El sistema tiene tres componentes que representan sus tres niveles de desempeño: nivel *Global* que ofrece cobertura mundial, nivel *Regional*, orientada a una cobertura europea, y nivel *Local*, orientado para usos en aeropuertos o cobertura urbana. Los tres tipos de servicios definidos para Galileo son:

- Servicio con acceso abierto: De carácter gratuito y abierto para todo el público.
- Servicio con acceso controlado de nivel 1 (SAC 1): Disponible mediante pago de tarifa con acceso controlado para aplicaciones comerciales y aplicaciones profesionales que necesitan niveles de desempeño superior y una garantía de servicio.
- Servicio con acceso controlado de nivel 2 (SAC 2): mediante pago de tarifa con acceso controlado para aplicaciones de alta seguridad, que no deben sufrir interrupción o distorsión por razones de seguridad.

Las expectativas de Galileo son grandes, se piensa que revolucionará la administración del tráfico aéreo, mejorará la calidad y seguridad de este medio de transporte en regiones del mundo donde los sistemas existentes son inadecuados e incrementará la precisión y control permitiendo la optimización del uso del espacio aéreo. En aplicaciones de control se podrán evitar congestiones de tráfico al reducir sus tiempos de viaje entre 15 y 25 por ciento. Las compañías de transporte serán capaces de monitorizar la posición de sus vehículos o contenedores y la lucha contra el crimen será más efectiva al localizar más veloz y eficientemente a los vehículos robados.

MEDICIÓN Y PRECISIÓN

Para conseguir una buena presión todos los receptores GPS deben recibir información de al menos cuatro satélites. Si conocemos la distancia del punto a posicionar respecto a dos satélites la zona que describen los radios de las esferas crean un círculo de intersección de ambas. Si añadimos otra mediación más, la zona de contacto se disminuye a dos puntos de tangencia. En el cálculo de distancias se utiliza la ecuación “velocidad por tiempo igual a distancia”, se mide el tiempo que una señal de radio tarda en llegar desde un satélite hasta el receptor, para calcular después la distancia a partir de ese tiempo. Se hace necesaria una precisión muy exacta en la medición del tiempo que tarda en llegar la señal, por lo que se utilizan relojes atómicos con una precisión en nanosegundos (0,00000001 segundos). (HURN, J.: 2000)

Patricio J. SORIANO CASTRO

La información o código necesario para estos cálculos es emitida por los satélites en la frecuencia de radio. En cada señal de radio (L1 y L2) se varían los valores de los códigos, concretamente con L1, se modula el código C/A y el código P, mientras que en L2 sólo se modula el código P encriptado para usos militares. El receptor GPS genera una réplica del código C/A y mide el intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción de dicho código. Debido al error producido por el reloj del receptor, este intervalo de tiempo, multiplicado por la velocidad de la luz, es conocido como *psseudodistancia* (Fig. 2). Además de estos códigos cada satélite emite un mensaje de navegación que contiene los parámetros suficientes para poder determinar la posición de todos los satélites de la constelación GPS.

FUENTES DE ERRORES GPS

Desde la creación del sistema hasta el 1 de mayo de 2000 el sistema GPS incorporaba un error intencionado conocido como Disponibilidad Selectiva (SA, Selective Availability), consistente en la degradación intencionada mediante variaciones en los datos de corrección del reloj. Este método está controlado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y tiene un claro talante de seguridad militar. Otra fuente de errores son los producidos por los relojes de los satélites que no son corregidos por el segmento de control (Fig. 3).

Pese a los métodos de precisión utilizados existe una fuente de errores que son difíciles de eliminar en mediciones en tiempo real. La velocidad de la luz puede verse alterada a su paso por un medio más denso, en su caso la ionosfera y la atmósfera terrestre. La ionosfera se extiende entre 80 y 400 Km. sobre nuestras cabezas. Ionizada por una inmensa radiación solar consiste en triples corazas muy tenues de electrones libres cargados negativamente junto a átomos y moléculas cargados positivamente. Dependiendo de la densidad de electrones de la ionosfera la señal de los satélites tardará más en llegar a los receptores GPS, produciendo un aumento en la distancia del satélite y por consiguiente errores en las mediciones. Por todo ello, los equipos suelen disponer de mecanismos de corrección de la interferencia atmosférica. Se puede intentar corregir este tipo de errores partiendo de una serie de premisas como puede ser la variación típica de la velocidad en condiciones ionosféricas comunes y aplicar este factor de corrección a las mediciones. Por lo contrario, las variaciones producidos por el paso de la señal por la atmósfera son imposibles de eliminar y condicionarán la precisión en la locación ya que dependen de cambios de la temperatura, presión y humedad asociados con cambios meteorológicos.

Otro tipo de error a tener en cuenta es el conocido como error por trayectoria múltiple o "multicamino", que se produce cuando las señales transmitidas rebotan de un lado a otro antes de llegar al receptor. Un indicativo para conseguir la mejor precisión posible es el denominado "Dilución de precisión geométrica" (GDOP) (Fig. 4), que depende de los ángulos relativos de los satélites en el espacio; la geometría puede aumentar o disminuir todas las incertidumbres tratadas anteriormente. En términos sencillos, cuando menor sea el ángulo entre satélites, mejor será la precisión.

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

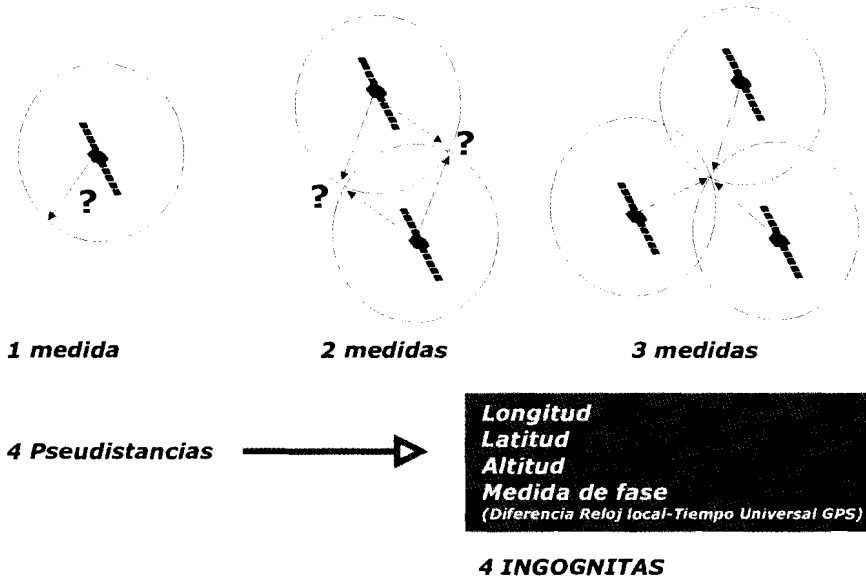


Fig 2: Presión. Esquema conceptual en dos dimensiones.

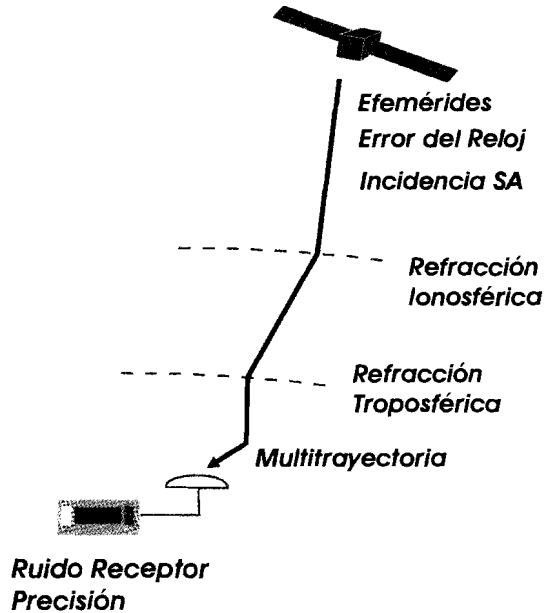


Fig. 3: Fuentes de error.

Patricio J. SORIANO CASTRO

Por último, se pueden producir errores de origen humano tanto en el segmento de control como en el segmento del usuario (selección de un Datum geodésico erróneo, fallos en el programa o del hardware).

MÉTODOS DE TRABAJO: GPS DIFERENCIAL (DGPS) Y EL SISTEMA RASANT

Mediante la realización de transformaciones locales de coordenadas absolutas o trabajando con equipos en tiempo real (*Fig. 5*) se pueden alcanzar precisiones centimétricas. Sin embargo, la necesidad de equipos más sofisticados y a la vez de coste superior para este tipo de trabajo, hace que el método de corrección diferencial se esté imponiendo en múltiples aplicaciones por su sencillez, aunque siempre con precisiones submétricas. Así pues, a la hora de adquirir un equipo deberemos tener claro el nivel de precisión requerido según el tipo de trabajo a realizar.

El fundamento de la corrección diferencial (*Fig. 6*) radica en el hecho de que errores producidos por el sistema GPS afectan por igual, o de forma muy similar, a los receptores próximos entre sí. Esta técnica permite la corrección de errores de desajuste de los relojes de los satélites. Para este tipo de trabajo se necesita una estación situada en un punto conocido de gran precisión denominada estación “base” o de referencia. La estación base estima los errores producidos y los corrige, enviándolos a continuación a los receptores móviles o de campo mediante un transmisor. Al procesar la información del receptor de campo con la estación fija, se alcanzan precisiones de ± 1 a ± 5 metros.

Un aspecto a tener en cuenta es que ambos receptores deben utilizar el mismo conjunto de satélites para el cálculo de la posición y además tener la misma GDOP para ser afectados de forma idéntica por los errores de desajuste de reloj. Mediante esta técnica se eliminan los errores del segmento espacial y de control, los efectos de la ionosfera y la atmósfera, mientras que el parámetro que más afecta es el ruido del receptor.

Un dato de importancia en la técnica de corrección diferencial es la distancia a la estación de referencia. A medida que nos alejamos de la estación base los errores que afectan a las observaciones del usuario diferirán de las observaciones de la estación base o de referencia. Se ha demostrado empíricamente que la precisión se degrada del orden de 0,2-0,4 m/100 Km.

Actualmente existe otra forma de corrección diferencial que utiliza el sistema RDS (Radio Data System)¹ de las emisoras FM como sistema de transmisión de datos conocido como RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique). El sistema comenzó a utili-

¹ Radio Data System. Estándar europeo para la transmisión de datos a receptores FM que incluye el nombre de la emisora, tipo de programa, información horaria, etc.

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

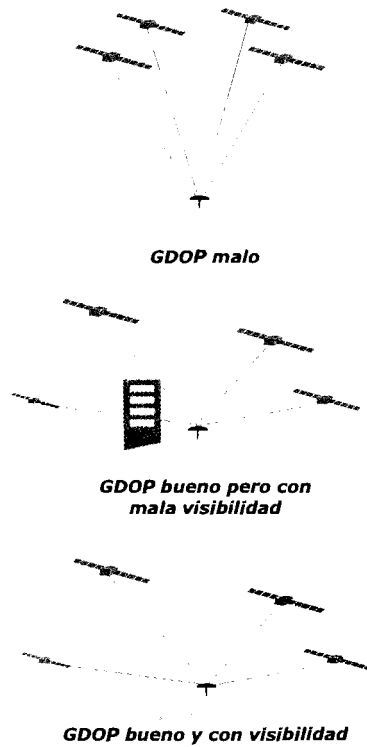


Fig 4: Diferentes situaciones de medición dependiendo del GDOP y de la visibilidad.

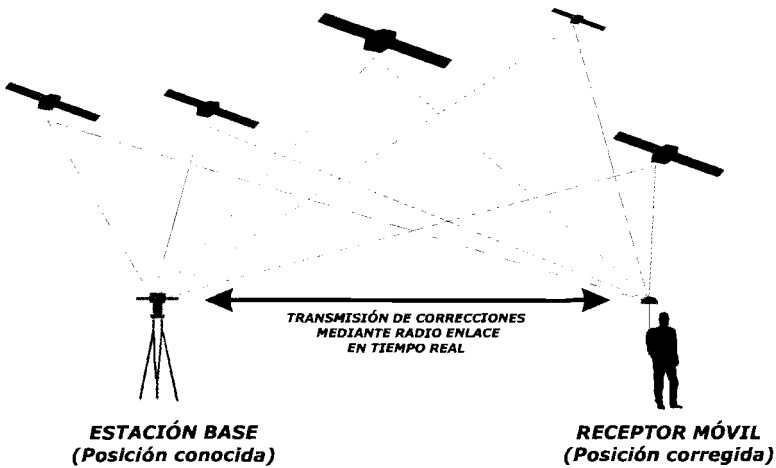


Fig. 5: Aplicación en tiempo real.

Patricio J. SORIANO CASTRO

zarse en Cataluña² y en la actualidad se ha extendido por todo el territorio nacional mediante Radio Nacional. Las correcciones se transmiten en la banda subportadora RDS. Para utilizar este servicio es necesario un receptor GPS con capacidad “input RTCMSC-104”³ y un receptor RANSANT

APLICACIONES DEL GPS EN EL CAMPO DE LA ARQUEOLOGÍA.

Entre los tipos de trabajos arqueológicos que pueden beneficiarse de esta herramienta se encuentra aquéllos en los que es necesaria la ubicación o georreferenciación de elementos arqueológicos. El GPS se convierte en una herramienta de gran utilidad en trabajos de prospección superficial enfocados tanto a investigaciones sobre evolución histórica de un determinado espacio, como a labores de apoyo a la gestión patrimonial.

El GPS permite la localización de forma inmediata de elementos dispersos en el territorio, que pueden ser superpuestos a cartografías en formato digital. Gracias a la opción de recogida de datos que la mayoría de los equipos GPS contemplan, esta información de carácter puntual puede ir acompañada por un determinado volumen de documentación cualitativa sobre las características que se hayan decidido recoger. Así, la introducción de identificadores, topónimos, pequeñas descripciones, conservación, etcétera, puede ser utilizada a posteriori en programas como los Sistemas de Información Geográfica, permitiendo con ello complementar la información espacial que recogida con los datos alfanuméricos tomados en campo para su posterior almacenamiento o tratamiento. La necesidad de georreferenciación de elementos patrimoniales para su gestión y difusión, sobre todo si el número a posicionar es elevado, encuentra en la tecnología GPS una herramienta de gran utilidad. Así lo demuestra el trabajo realizado por el Grupo de Investigación de Arqueología del Paisaje de la Universidad de Santiago de Compostela para la Secretaría Xeral para o Turismo de Galicia. El proyecto consistió en la georreferenciación de los recursos turísticos gallegos, con unos 12.000 puntos registrados, y la creación de una gran base de datos que incluye información general sobre el elemento, valoración turística, servicios, etc. (AMADO, 1999, 11).

Junto a este tipo de aplicaciones de carácter puntual, la utilización de otras figuras tales como líneas y áreas, con la consecuente información adicional de distancia, perímetros y

² En Cataluña el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), el Centre de Telecomunicacions de la Generalitat de Catalunya (CTGC) y la Direcció General de Transports (DGT) ofrecen este servicio desde mediados de 1996, cubriendo el 90% del territorio de Cataluña. En el resto de España existe un proyecto de colaboración entre Radio Nacional de España y el Instituto Geográfico Nacional para implementar el sistema RANSANT a través de los repetidores de RNE.

³ El formato de datos RTCM SC 104 para la transmisión de correcciones GPS diferenciales constituyó un estándar de facto en toda la comunidad de receptores GPS. Este formato está basado en una serie de recomendaciones para la transmisión de correcciones diferenciales a los usuarios GPS, definiendo protocolos, intervalos de transmisión y definición de la información que debe ser transmitida.

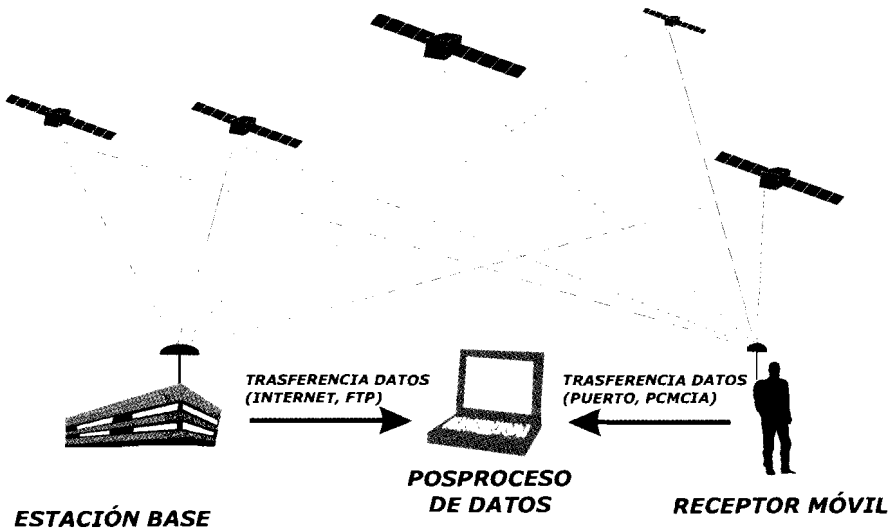
MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

Fig. 6: Aplicación en postproceso.

áreas, permite la representación de estructuras rastreables en superficie más o menos aproximadas, siempre dependiendo de las alteraciones postdeposicionales sufridas por el yacimiento y las características intrínsecas del bien. El GPS posibilita la creación de una planta aproximada de las estructuras localizadas, y su posterior tratamiento, que pueden ser visualizados de forma inmediata y a escala, siempre dependiendo de las características técnicas del equipo. Este tipo de trabajos es de utilidad en situaciones donde no se pueden realizar levantamientos planimétricos basados en herramientas de apoyo terrestre de forma inmediata, aunque desde nuestro punto de vista lo aconsejable es la combinación de ambas tecnologías en aras de conseguir unos resultados lo más precisos posibles. Dos ejemplos los podemos encontrar en el levantamiento del Alto do Castro en Galicia (AMADO, 1997, 46) donde fueron recogidas las estructuras visibles del yacimiento junto a otros elementos de carácter natural destacados, aumentando los puntos en áreas que presentan un relieve más accidentado. Esta misma situación de levantamiento topográfico con mayor detalle se planteó en el centro religioso de Chavín de Huantar en el norte de los Andes peruanos. El trabajo consistió en la definición de la relación de la red local con la UTM (Universal Transverse Mercator) (DEYERMENJAIN, 1999).

De igual manera se está aplicando el sistema GPS en trabajos que requieran un ajuste de diferentes cartografías con planimetrías arqueológicas e incluso ortoimágenes de vuelos aéreos. El procesamiento consiste en la georreferenciación de puntos comunes de todas los datos cartográficos disponibles para su posterior ajuste (AMADO, 1997: 47)

Patricio J. SORIANO CASTRO

Como hemos comentado, el manejo de esta tecnología está siendo ampliada en ámbitos de trabajo orientados a la difusión y protección patrimoniales. De especial interés nos parece una aplicación realizada por el MUSIC (Multimedia Systems Institute of Crete) en los yacimientos cretenses de Knossos, Faistos y Zakros. (MERTIKAS, S. *et al.*, 1997). Mediante la combinación de varias tecnologías se ha desarrollado un dispositivo multimedia denominado *Minotauros*, utilizado como guía para visitas turísticas en la isla. Junto al sistema GPS se han integrado otras tecnologías (Sistema de Información Geográfica, bases de datos, aplicaciones en red, recursos multimedia y comunicación inalámbrica). Este tipo de trabajos supone una nueva concepción respecto al ámbito de la difusión. Por ejemplo, permite una actualización continua de la información, actividad de coste elevado y lenta en documentación impresa. (guías, mapas, folletos) a la vez que permite aumentar el tipo de información recibida por el usuario y crea nuevas formas de acercamiento turístico.

Para la realización de los trabajos que comentaremos posteriormente se ha utilizado el equipo GS50 de la casa Leica Geosystems. El equipo es un receptor GPS de 12 canales de código y fase en L1. Permite el trabajo en postproceso mediante corrección diferencial o la recepción de la señal RTCM de corrección por radio. En campo permite trabajar por defecto con coordenadas geográficas según el datum WGS1984, aunque puede incluirse otros sistemas como el UTM. Los datos tomados en campo deben ser manejados por un software que permita el tratamiento, corrección, modificación y visualización de los datos obtenidos (Figs. 7 y 8). El equipo GS50 incorpora el paquete informático GISDataPro usando el formato nativo de ESRI "shapefile", ficheros que pueden ser leídos directamente por el software. Se elimina la necesidad de la exportación aunque se permite también cambiar los datos a otros formatos como Autocad, MapInfo o Microstation.

Junto a las funciones características básicas de este tipo de programas, se incorporan otras herramientas orientadas al trabajo de campo como pueden ser la creación de listas de códigos basados en los elementos puntos, líneas y áreas, a los que se les puede añadir información alfanumérica adicional.

Las tareas de laboratorio comienza con la creación de un proyecto de trabajo y la determinación de las características principales del mismo (es importante la definición del sistema de coordenadas que en un primer lugar deberá ser las utilizadas por el receptor). Junto a esto, es recomendable la creación de carpetas dentro del directorio del proyecto, en las que se incluirán los datos del sensor y los archivos de corrección en postproceso. A continuación podremos transferir los archivos del receptor mediante conexión por puerto (COM 1 o COM2) con el equipo, y, si éste lo permite utilizando la tarjeta PCMCIA del dispositivo.

Para la adquisición de archivos GPS de la estación de referencia y la posterior corrección diferencial, el programa busca de forma interactiva servidores que contengan los datos necesarios. Otra forma de adquisición de los archivos de postproceso es la conexión vía

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

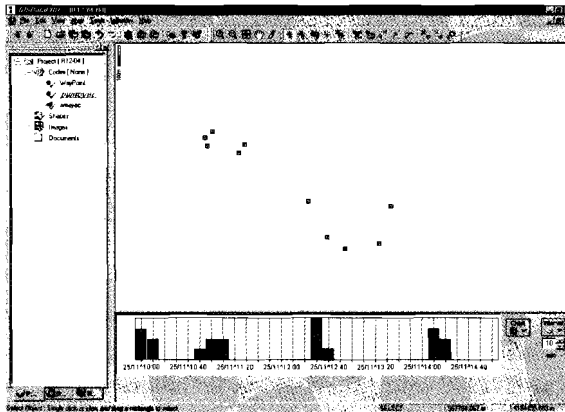


Fig. 7: Representación de las posiciones tomadas en el software GISDataPro.

The figure shows a screenshot of the SKI Pro Wizard software interface, displaying a data table. The table has the following columns: 'Cycle', 'Observacion', 'Attribute', 'X(1)', 'Y(1)', 'X(2)', and 'Y(2)'. The data rows represent individual observations with their corresponding coordinates and attributes.

Cycle	Observacion	Attribute	X(1)	Y(1)	X(2)	Y(2)
1	puntoyac	Attrib 1=1759-05	0.0469	33.11807	-2.061536	54.88895
1	puntoyac	Attrib 1=1759-04	1.3495	6.8794262	0.908444	-8.509428
1	puntoyac	Attrib 1=1759-03	1.4270	4.43347893	0.408958	-4.952858
1	puntoyac	Attrib 1=1759-02	2.2693	2.93286705	-0.215616	2.961938
1	puntoyac	Attrib 1=1759-01	1.9306	12.28999	2.43012261	33.10167
1	puntoyac	Attrib 1=1759-05	2.1821	1.62064421	0.44668213	0.72934204
1	puntoyac	Attrib 1=1759-04	1.5867	3.28579226	0.89959644	1.61764109
1	puntoyac	Attrib 1=1759-03	2.0800	1.75889673	0.44073236	1.16442013
1	puntoyac	Attrib 1=1759-02	1.9777	1.78318046	0.43659666	1.23702717
1	puntoyac	Attrib 1=1759-01	1.4495	6.52575541	-3.083741	-3.028664
1	puntoyac	Attrib 1=1759-05	0.0574	11.44774	0.79113621	0.882395
1	puntoyac	Attrib 1=1759-04	1.7848	2.45916438	-0.522362	1.59130936
1	puntoyac	Attrib 1=1759-03	1.7928	2.37975146	-0.510794	1.34359108
1	puntoyac	Attrib 1=1759-02	0.0578	11.91486	0.182781	1.45660810
1	puntoyac	Attrib 1=1759-01	2.0133	1.37694569	-0.232951	-0.450257
1	puntoyac	Attrib 1=1759-05	1.9382	1.84554267	0.29257944	-0.232517
1	puntoyac	Attrib 1=1759-04	0.0172	18.38909	-6.043104	-10.01032
1	puntoyac	Attrib 1=1759-03	0.0943	16.43900	-4.018835	-11.47910
1	puntoyac	Attrib 1=1759-02	1.6563	3.48634956	0.1293105	0.86382939
1	puntoyac	Attrib 1=1759-01	1.6537	3.52569772	0.31050790	1.07277930
1			0.0000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

Fig. 8: Información alfanumérica asociada a las posiciones tomadas.

Internet a servidores FTP de datos. En nuestro caso utilizamos los archivos en formato RINEX que ofrecen los Servicios Técnicos de Investigación de la Universidad de Jaén⁴. Los archivos están organizados en carpetas por año, mes, día y hora de la toma de datos.

⁴ ftp://gps.ujaen.es/

Patricio J. SORIANO CASTRO

PROYECTO “CÓRDOBA Y SU TERRITORIO”. PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA SUPERFICIAL DEL SUELO URBANIZABLE Y NO URBANIZABLE DEL ÁMBITO DEL P.G.O.U. 2001.

Con la aprobación del nuevo Plan General de Ordenación Urbana 2001 y el establecimiento de una Normativa de Protección del Patrimonio Arqueológico, Córdoba se constituye como una de las ciudades pioneras en materia de gestión y protección de este tipo de bienes patrimoniales. Entre de los documentos base de esta nueva normativa se encuentra la Carta Arqueológica de Riesgo, que incluye tanto el ámbito de Suelo Urbano consolidado (Zonas 1 a 20 y 23), suelo Urbanizable Programado, Suelo Urbanizable no Programado (Zonas 21-22), y el Suelo no Urbanizable (Zona 25). Dentro del Convenio de Colaboración firmado en Diciembre de 1999 entre la Consejería de Cultura y el Ayuntamiento de Córdoba se asigna a la Oficina de Arqueología de la Gerencia Municipal de Urbanismo el mantenimiento y actualización de la Carta Arqueológica Municipal.

Con el fin de completar la información arqueológica de la Carta de Riesgo en el ámbito del Suelo no Urbanizable, se está llevando a cabo el proyecto de prospección arqueológica municipal “Córdoba y su Territorio”, conformándose como un instrumento primordial orientado al establecimiento de medidas de protección de los yacimientos ubicados en el ámbito rural mediante el procedimiento de Inscripción Genérica de carácter colectivo en el Catálogo General del Patrimonio Histórico de Andalucía. De igual modo, el volumen de información recuperado permitirá complementar las medidas recogidas en la Normativa de Protección del P.G.O.U., al realizarse una evaluación de las características de estos yacimientos que oriente el Informe Arqueológico municipal previo a la concesión de cualquier licencia de movimiento de tierras en este ámbito. Junto a estos preceptos orientados a la protección, la prospección superficial del término de Córdoba dotará de un volumen importante de información histórica base de futuros programas de conservación, investigación y puesta en valor.

La envergadura del ámbito de estudio hace necesario una planificación a medio/largo plazo y un faseado lo más ajustado posible a los objetivos generales y específicos a cubrir. Es en las fases de campo donde el GPS conforma una herramienta de gran utilidad en la definición y localización de yacimientos. Así, tras un primer momento de vaciado bibliográfico y documental exhaustivo de la información textual disponible y su posterior tratamiento informático, se ha procedido a la comprobación sobre el terreno de la información obtenida.

En este proceso el manejo de GPS ha sido enfocado en dos directrices. En primer lugar se ha utilizado el modo de trabajo de navegación en tiempo real. La primera localización geográfica de los yacimientos se ha basado en las citas y referencias bibliográficas recopiladas. En la mayoría de las ocasiones el yacimiento ha estado definido por una única coordenada; en otras, según la antigüedad de los textos, se ha requerido una transformación de coordenadas geográficas a UTM, y por último existe un conjunto de yacimientos que han tenido que ser localizados de forma aproximada según referencias toponímicas o geográficas (*Fig. 9*). Este

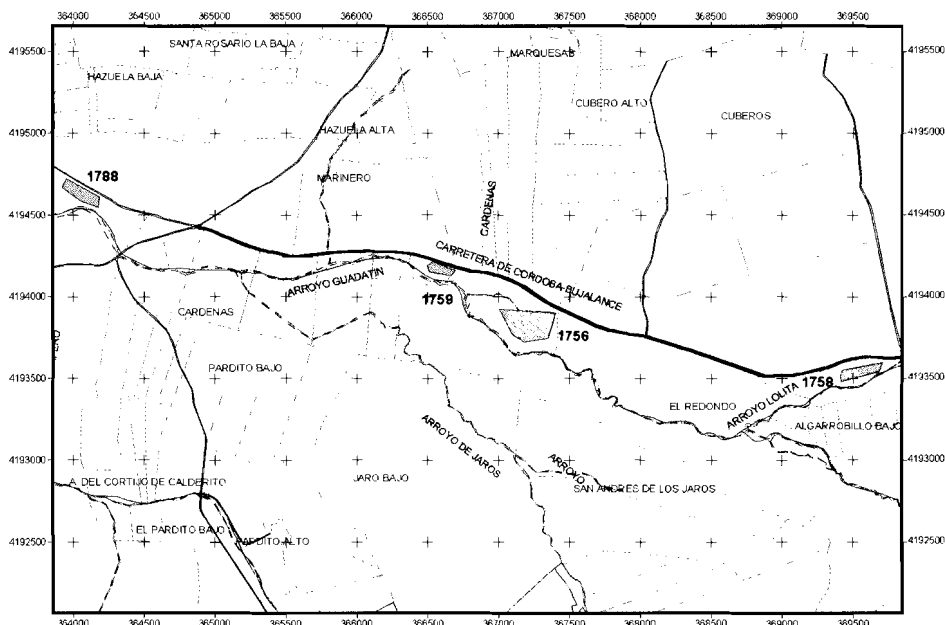
MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

Fig. 9: Representación definitiva de los datos tras su corrección diferencial superpuesta a cartografía temática.

conjunto de datos, definidos principalmente por un código de identificación y por las coordenadas X e Y de localización, han sido introducidas en el GPS. Mediante el modo de trabajo "navegación", el sensor nos indicará la distancia al punto introducido y representará en el visor la dirección a seguir hasta la localización del mismo. Una vez localizado el yacimiento se ha procedido a la delimitación de la superficie ocupada mediante un polígono de puntos coordenados y la creación de un área para mediciones de superficies. A la par, se ha realizado una diagnosis del estado de conservación y la obtención de una muestra de materiales muebles de superficie que permita aquilatar las cronologías.

En laboratorio, y utilizando el software GISDataPro, se ha procedido a la corrección diferencial de las medidas obtenidas. El proceso de análisis ha concluido con el tratamiento y manipulación de la información en un Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.2). El SIG nos permite tratar la información y superponer la misma, según la escala de trabajo, a diferentes capas de cartografía digital⁵.

⁵ Las bases cartográficas manejadas han sido: Cartografía digital raster a escala 1:10.000 (Mulhacén) y cartografía 1:100000 del Instituto Cartográfico de Andalucía, cartografía de la Gerencia Municipal de Urbanismo de Córdoba a escalas 1:1000 y 1:2000 e información catastral (urbana y rústica) de la Dirección General de Catastro.

Patricio J. SORIANO CASTRO

Queremos destacar el servicio de “orientación” que el GPS ha ofrecido. En la mayoría de las veces las fuentes bibliográficas utilizadas no han sido recientes, y las condiciones de reconocimiento del yacimiento se han visto alteradas tanto por procesos postdeposicionales como por alteraciones de origen natural y/o antrópico. Esto ha producido una pérdida de información que incide en el reconocimiento visual de los restos, llegando a veces a la incapacidad de ubicar un yacimiento citado. La orientación precisa del GPS permite tanto la localización del yacimiento como la documentación de su pérdida/destrucción.

PROSPECCIÓN SUPERFICIAL DE PP-05. LOCALIZACIÓN DE RESTOS DEL ACUEDUCTO ROMANO DE VALDEPUENTES.

La normativa en vigor relativa a la Protección del Patrimonio Arqueológico recogida por el Plan General de Ordenación Urbana 2001 de Córdoba incluye una serie de trabajos denominados Estudios Históricos-Arqueológicos (Art. 8.2.19), necesarios para la tramitación de Planes Parciales dedicados a zonas de expansión urbana. El citado artículo establece que, *“junto con la documentación exigible para la tramitación de todo Plan Parcial, será necesaria la presentación de un Estudio Histórico-Arqueológico exhaustivo en el que se tengan en cuenta las características históricas del ámbito completo del P.P., su contextualización arqueológica y una evaluación del Patrimonio Arqueológico previsible y de las afecciones que sobre el mismo se derivarían de la ejecución del Plan Parcial”*. Dicho estudio sirve como referente a los servicios municipales a la hora de emitir un informe que englobe las medidas de análisis (*prospección arqueológica superficial, sondeos geofísicos, etc.*) que deberán incorporarse a la redacción del Plan Parcial. La documentación de carácter arqueológico obtenida será tenida en cuenta en los proyectos de urbanización y de reparcelación subsiguientes que deberán adecuarse para la protección de los restos de mayor singularidad.

De acuerdo con esta normativa, la Oficina de Arqueología⁶ de la Gerencia Municipal de Urbanismo ha llevado a cabo el correspondiente estudio del Plan Parcial O-5, situado al Sur de la Carretera de Trassierra, con una extensión de c. 335.000 m², mediante una prospección arqueológica superficial, basada en unidades de análisis o *transect*. En cada *transect* se establecieron 10 unidades de reconocimiento, es decir, 10 vectores separados entre sí cada 5 m, disponiéndose en cada uno de ellos un prospector del equipo, por considerar esta distancia la idónea para cubrir toda la superficie a prospectar con la mayor fiabilidad. Cada uno de los transects fue georreferenciado sobre el terreno con coordenadas UTM por el

⁶ El equipo de prospección lo componían el Lcdo. Sebastián Sánchez Madrid (Director del Proyecto), el Dr. José Ramón Carrillo Díaz-Pinés, las Ledas. Elena Castro del Río, María Teresa Casal García, Guadalupe Pizarro Berengena (miembros de la Oficina de Arqueología de la Gerencia Municipal de Urbanismo y la Universidad de Córdoba), Rosa Fuentes Romero, Rosa López Guerrero y Ana Valdivieso Ramos así como los alumnos de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Córdoba Luis Lázaro Real, Angel Moya García, Sergio Miranda Rodríguez, Rafael Pérez Jurado, María Melero Leal, Juan Manuel Cano Sanchiz y Belén Guijarro.

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

equipo de topografía de la Oficina de Arqueología de la Gerencia Municipal de Urbanismo-Universidad de Córdoba. Posteriormente se realizó un estudio geofísico⁷ de la traza del acueducto de Valdepuentes romano.

La localización de los tramos conservados del acueducto tanto en su trazado conocido en la zona de prospección, como en el nuevo trazado localizado fue realizada mediante GPS (*Fig. 10*). La información recogida fue de tipo puntual, señalando los sectores donde se conservan restos o estructuras del acueducto. De igual manera se tomaron algunas medidas lineales en los sectores mejor conservados para documentar la extensión y medidas de los mismos. Resultó de gran utilidad el manejo del GPS para la localización del nuevo tramo descubierto en las obras de la Ronda de Poniente, a unos 100 m al Norte del ámbito del PP O-5, sobre todo por una zona de su trazado en la que discurría dentro de un arroyo de difícil acceso.

Estos primeros trabajos de aproximación fueron posteriormente completados mediante la utilización de una estación total apoyada en la red poligonal disponible y en la cartografía a escala 1:1000 de la Gerencia Municipal de Urbanismo.

Podemos observar en este ejemplo una de las cualidades principales del sistema GPS, la rapidez en la toma de datos. El manejo de GPS se convierte en una herramienta eficaz para

⁷ Poleig. Empresa de Servicios de Investigación Geofísica.



Fig. 10: Toma de datos del acueducto romano.

Patricio J. SORIANO CASTRO

trabajos que requieran una localización inmediata de los elementos documentados, o en situaciones en las que el empleo de sistemas de mediación de apoyo terrestre sea difícil ya sea por carencias de una red topográfica o por restricciones de la accesibilidad.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “EL ACUEDUCTO DE NUEVA CARTEYA”

En el campo de la difusión y protección de elementos arqueológicos, el sistema GPS puede resultar un instrumento de ayuda en proyectos que requieran una localización precisa del bien a proteger/difundir. Un ejemplo de esta línea lo constituye el Proyecto de Investigación “El Acueducto de Nueva Carteya”, desarrollado por la arqueóloga Guadalupe Pizarro en el marco de la Beca de Investigación Patrimonial *Claritas Iulia* concedida por la Mancomunidad de Municipios del Guadajoz-Campiña Este. El proyecto se caracteriza por realizar una propuesta para la investigación y puesta en valor de los restos del acueducto romano que parte de la localidad cordobesa de Nueva Carteya. Junto a la resolución de una serie de interrogantes de índole arqueológica (origen, destino, trazado y cronología) se plantean acciones de protección y difusión, determinadas por el acelerado deterioro de la estructura hidráulica a lo largo de todo su recorrido debido a faenas agrícolas propias del olivar, o a causas derivadas de este tipo de cultivos como es el fuerte grado de erosión de estas tierras por falta de cobertura vegetal en relación con las pendientes de la zona.

Entre etapas de investigación del citado proyecto se incluye la prospección sobre el terreno del recorrido del acueducto, recogiendo el estado de conservación de los tramos conocidos y la comprobación *in situ* de presencia de nuevos tramos inéditos. Sobre los restos se obtienen datos referentes a la situación geográfica, cota sobre el nivel del mar⁸, morfología, medidas, técnicas constructivas, materiales de construcción, tipología, función de cada tramo dentro de la obra, etc. Para cada tramo ha sido recogida con GPS su localización geográfica representada en coordenadas UTM junto a datos de interés como toponimia, fecha, identificación de la ruta entre otras. La documentación se completa con fotografías y croquis de los hallazgos. De igual manera el GPS se ha utilizado para el cálculo directo de longitud de los trazados y distancia entre los restos conservados (*Fig. 11*).

Esta información de carácter espacial está siendo utilizada tanto para cuestiones anteriormente comentadas, o planteamiento de hipótesis de trabajo (ej. cálculo de recorridos probables en zonas donde existen carencia de evidencias mediante variables determinantes como puede ser la pendiente, la hidrología, etc.), como para cuestiones de protección del bien, relacionada con la figura de protección jurídica adecuada dentro de las estimadas por la administración competente (Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía), como pueden ser su localización y delimitación, el área de afectación o los ámbitos de protección.

⁸ Como se ha comentado, la adquisición de la cota altimétrica presenta algunos problemas. En este proyecto se ha buscado una solución mediante la creación de un modelo digital de elevaciones.

MÉTRICA EN ARQUEOLOGÍA. UTILIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA POR SATÉLITE

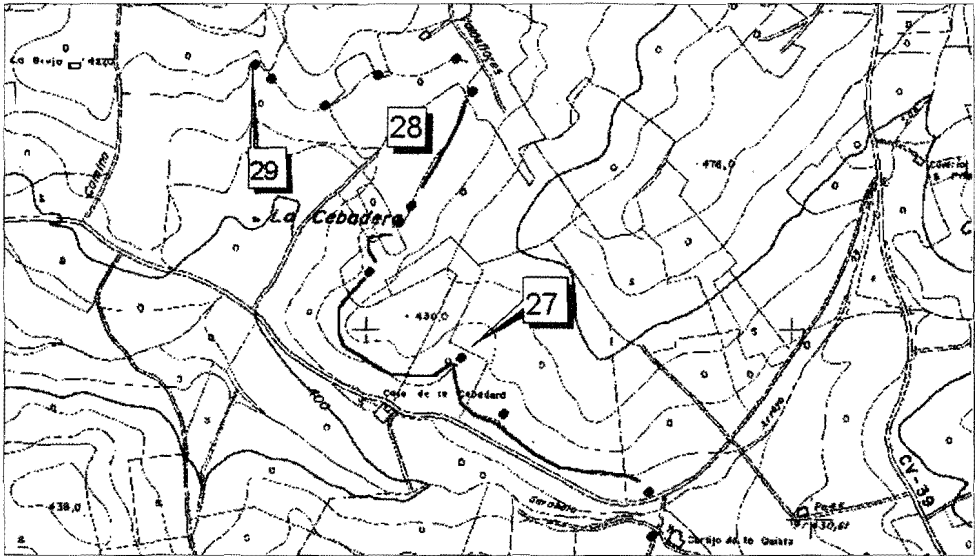


Fig. 11: Nuevos tramos de acueducto documentados en Nueva Carteya (puntos) (G. Pizarro).

BIBLIOGRAFÍA

- AMADO, X (1999), *El GPS en arqueología: Introducción y ejemplos de uso*, Colección TAPA 15, Santiago de Compostela.
- DEYERMENJIAN, G. (1999), "On the trail of legends: Searching for ancient ruins east of the Andes", *GPS World* 10-6, pp.20-28.
- HURN, J. (2000): *GPS. Una guía para el próximo servicio público*. Madrid
- MARTÍNEZ, E., (En línea) "Galileo: Siguiete generación de localización por satélite", *Revista Red*, <<http://www.red.com.mx/scripts/redArtBusqueda.php3>>
- MERTIKAS, S, CHRISTODOULAKIS, S, KONTOGIANNIS, P. (1997) "Island of Miracles. Exploring Treasures with Minotauros" *GPS World*.
- PARDES, L (1997) "SIG, GPS, su relación y beneficios en la sociedad actual", *Mapping* 41, pp.10-12
- POE, W. C. (1999). "Archaeology in the Andes: Mapping Strategies at Chavín de Huantar". *GPS World* 10-4: 22-31.
- PURSER, M y SHAW, S. 1995. "The town beneath the pasture: Rio Vista rediscovered". *GPS World* 6-2: 30-40.

Patricio J. SORIANO CASTRO

SAHUEQUILLO, F. (1997): "GPS: Tipos de receptores y el RTK en el control vertical", *Mapping* 41, pp. 6-8.

SAHUEQUILLO, F. (2001): "Los sistemas GPS+GLONASS". *Mapping Interactivo*. Agosto 2001, 12 Noviembre 2002 <http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=76>