

La paleotopografía a través del estudio de sondeos geotécnicos

The paleotopography through the study of geotechnical surveys

Resumen

Este trabajo se ocupa de la aplicación de una metodología que permite conocer la evolución de la topografía de un lugar a partir del estudio de sondeos geotécnicos. Se han empleado sondeos que ya habían sido realizados, con utilidades y objetivos diferentes, por distintas empresas. También se han realizado nuevos sondeos ex-profeso en las zonas de mayor indeterminación.

A partir de ellos se han cartografiado diferentes estratos, se ha realizado una clasificación de los mismos y, con la información obtenida, se han elaborado varios modelos digitales de elevaciones (MDE): terreno original sin la capa antrópica (para mostrar la topografía antes de su transformación urbana), terreno sin la capa de fangos y, finalmente, otros dos modelos representando el techo y el muro de la capa de roca.

Palabras clave: sondeo geotécnico, relleno antrópico, columna estratigráfica, descripción litológica

Josefina García León. Doctora Ingeniera en Geodesia y Cartografía. *Universidad Politécnica de Cartagena*. josefina.leon@upct.es

Antonio García Martín. Doctor Ingeniero de Minas. *Universidad Politécnica de Cartagena*. antonio.gmartin@upct.es

Manuel Torres Picazo. Ingeniero en Geodesia y Cartografía. *Universidad Politécnica de Cartagena*. manuel.torres@upct.es

José Amador Real López-Navarro. Ingeniero Técnico en Topografía. joseamadorreal@gmail.com

1. Introducción y objetivos

La ciudad de Cartagena ha experimentado cambios significativos en su trazado y en su topografía a lo largo de los siglos (Martínez Andreu, 2004). Según se deduce de la cartografía histórica, buena parte de la cual se realizó para servir de base a la arquitectura militar, y de las descripciones de autores antiguos como Polibio, la ciudad ocupaba inicialmente una península situada entre dos mares, el Mediterráneo y un estero o mar interior.

Los cambios experimentados por el mar interior fueron sustanciales. Los aportes de sedimentos de las ramblas que desembocaban en él, las de Benipila y el Hondón, fueron colmatándolo. Se vio fuertemente influenciado por el desvío de la rambla de Benipila, realizado para la construcción del Arsenal Militar y terminado en 1782, que propició su transformación en una zona pantanosa e insalubre denominada Almarjal. Finalmente se convirtió en una zona desecada y, ya en el siglo XX, se llevó a cabo la urbanización de dicha zona, resolviendo el problema de la demanda de suelo y conformando lo que actualmente se conoce como el Ensanche de la ciudad (García Faria, Oliver y Ramos, 1896; Ros y Ródenas, 2012).

Georreferenciando cartografía antigua con gvSIG (figura 1) se ha podido determinar en planta la ubicación aproximada del Almarjal y delimitar la zona del núcleo urbano de Cartagena que ocupa lo que antes fue el mar interior. Esta ha sido la zona objeto de este estudio. La figura 1 muestra además la evolución de la ciudad a través de la superposi-

ción de dos imágenes: una ortofoto actual y, sobre ella y georreferenciado, el plano de Fernández Villamarzo (1907) que representa la ciudad en el siglo III a.C.

El estudio de la evolución histórica de la topografía de la ciudad requería disponer de información suficiente sobre la altimetría de la zona de interés para poder generar modelos digitales de elevaciones de los diferentes estratos presentes en ella. El primer objetivo era conocer la potencia de la capa de fangos que hay en el antiguo Almarjal, para determinar cuál había sido el aporte de materiales por sedimentación. Otro objetivo era cuantificar el aporte realizado a posteriori por acción del hombre, ya que se tenía conocimiento de que los escombros procedentes de las distintas obras que se desarrollaban en la ciudad eran arrojados a la zona del Almarjal con el fin de ir elevando la cota de dicha zona y desecarla. El espesor máximo de esta capa de materiales antrópicos tampoco era conocido e interesaba calcularlo.

En consecuencia, el principal objetivo de este trabajo es estudiar altimétricamente las variaciones sufridas en la zona y realizar su reconstrucción paleotopográfica a través del análisis de las variaciones altimétricas de sus estratos.



Figura 1: La variación de la topografía de la ciudad (García-León *et al.* 2013)

2. Materiales y métodos

Para realizar el modelo tridimensional de cada uno de los estratos en la zona de estudio se ha recopilado una gran cantidad de información procedente de sondeos geotécnicos, realizados a lo largo de los años por diferentes empresas y organismos. A partir de esta información se pretende conocer la coordenada Z de un número suficiente de puntos de cada capa de interés en dicha zona.

Los sondeos geotécnicos, realizados mediante la técnica de percusión desde 2002 hasta la actualidad, alcanzan profundidades muy variables. La información que aporta cada uno de ellos ha permitido analizar la columna estratigráfica en el punto en que se ubicó el sondeo, trabajando con la descripción litológica del substrato al tiempo que se consideraba la potencia de cada capa (figura 2). La profundidad alcanzada por los sondeos, que varía entre 6 y 25 metros, también ha sido una variable a considerar en el estudio. Asimismo, se ha tenido en cuenta cuál era la capa alcanzada cuando se daba por

terminado cada sondeo, que varía en función de la utilidad del mismo. En total se ha contado con 409 puntos de sondeos.

Con la información obtenida de las descripciones litológicas se han estudiado 3 grandes capas: la de relleno antrópico, la de fangos y la de roca. Conviene señalar que, así como el corte de cada sondeo con el muro (límite inferior) del relleno antrópico y los de corte con techo y muro (límites superior e inferior, respectivamente) del estrato de fangos, en los lugares en que existen, han estado disponibles como información, el corte con el muro del estrato de roca no era un dato en la mayor parte de los sondeos, bien por la escasa profundidad alcanzada por los mismos, bien por el gran espesor que debe tener el estrato rocoso en esas ubicaciones. Esa es la razón por la que, en muchos casos, se ha utilizado el dato de profundidad de fin de sondeo como cota con la que trabajar e interpolar para obtener el MDE de ese estrato.

Además de los sondeos externos, que provenían de diferentes fuentes, se ha realizado una serie de sondeos propios en zonas de indeterminación, en las que se consideró necesario completar los existentes, o de especial interés. Concretamente se han realizado 9 sondeos en 5 zonas: Plaza de San Francisco, Plaza del Risueño, Plaza de la Merced, Plaza del Rey y casa Llagostera. La información correspondiente a este último se muestra en la figura 2.

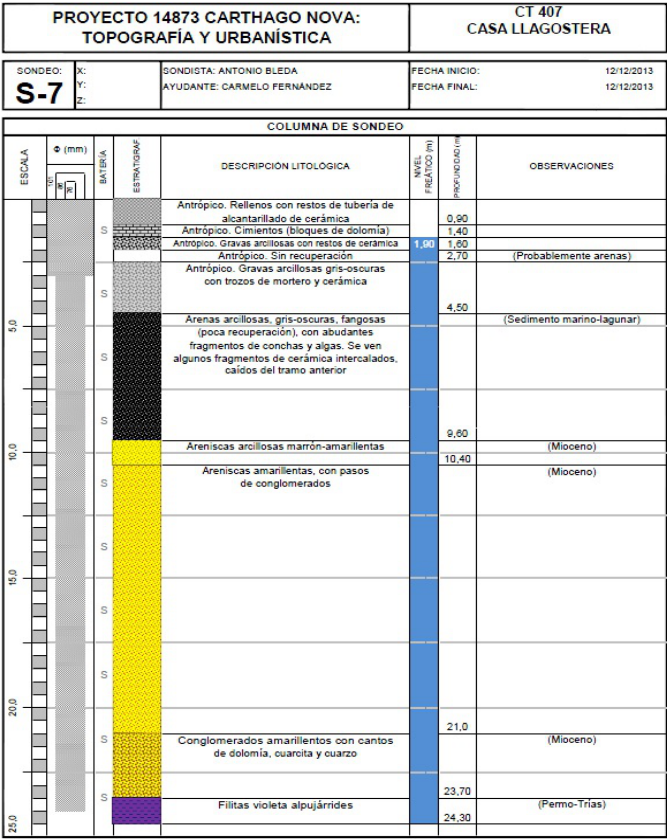


Figura 2. Sondeo propio realizado en la casa Llagostera

Para estudiar la potencia de cada estrato los datos obtenidos de los sondeos se han clasificado en tres capas fundamentales, determinando los puntos de techo y muro de cada capa: rellenos antrópicos, fangos (tanto marinos como lagunares) y, finalmente, rocas o *filitas*.

3. Trabajo realizado

Una vez obtenida la nube de puntos se procedió a seleccionar la zona de trabajo. Se representó gráficamente la situación de los sondeos (figura 3, en amarillo) y se comprobó que en las colinas que rodean el casco histórico de la ciudad no se disponía de ningún dato. Esto podría suponer un problema ya que se corría el riesgo de que la falta de información en ciertas áreas, interiores a la zona de interés, pudiera distorsionar los modelos generados. Para evitarlo se tomó una serie de puntos situados en las colinas (figura 3, en rojo), obteniendo sus datos de la cartografía actual. En todos ellos la roca está en superficie y es lógico suponer que su variación a lo largo de la historia no ha sido importante. La zona de estudio finalmente elegida se muestra en la figura 4.

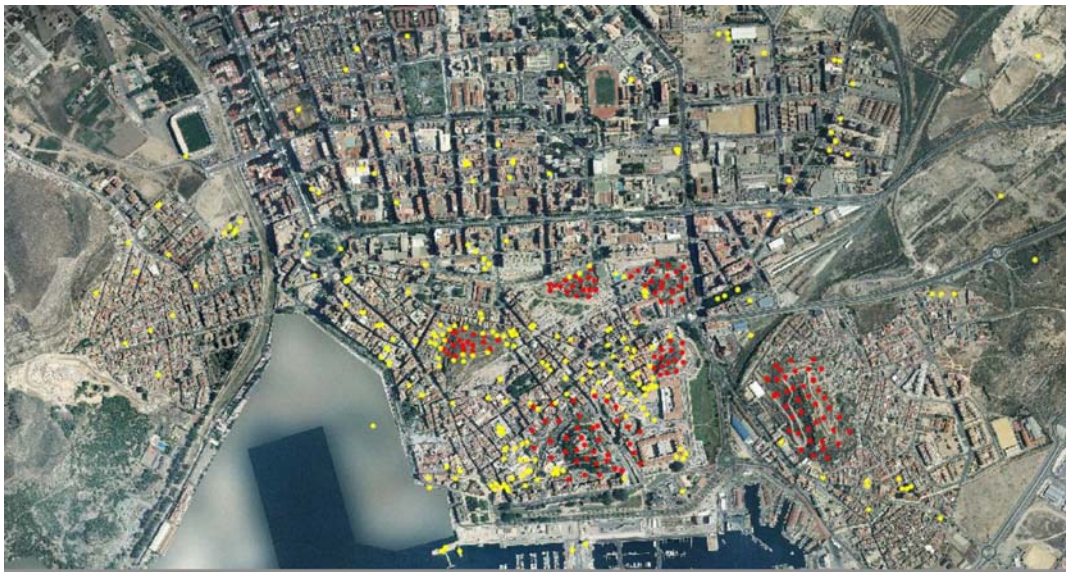


Figura 3. Localización de los sondeos en amarillo y de los puntos de las colinas en rojo

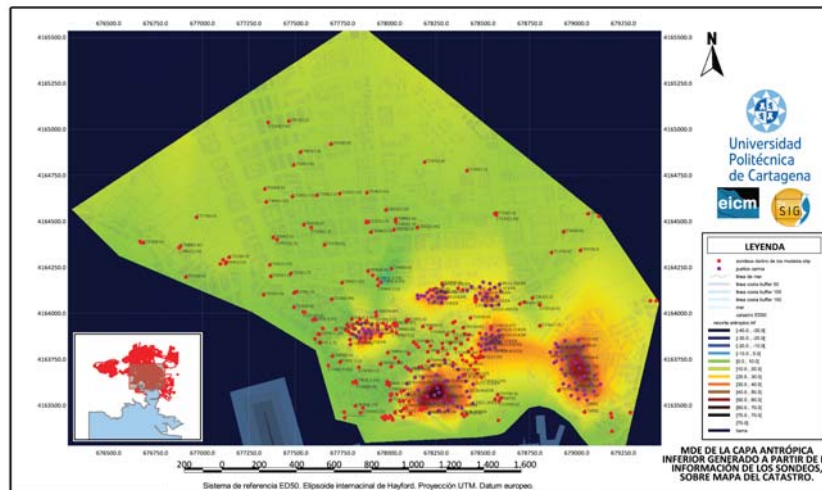


Figura 4. Zona de estudio

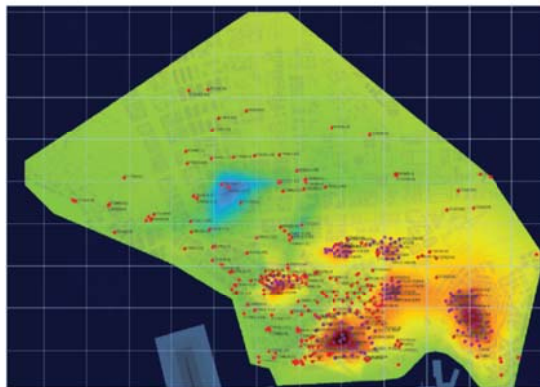
Con los datos de los sondeos se realizó una tabla que contenía la siguiente información: el código del sondeo, su ubicación en el callejero, sus coordenadas tridimensionales, las

profundidades a las que se encontraban el techo y el muro del relleno antrópico, de los fangos, de las arenas, de la roca, y la profundidad a la que se encontraba el nivel antrópico.

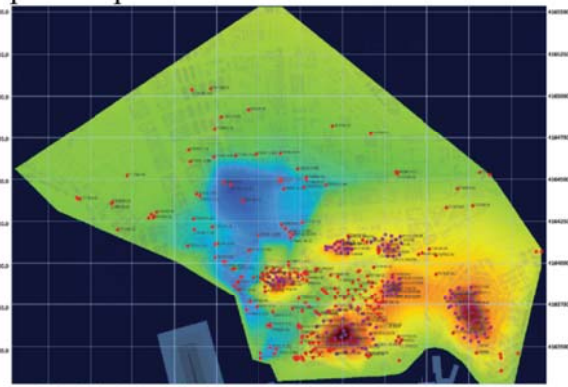
Por las razones antes expuestas se han incluido 150 puntos de las zonas ocupadas por las cinco colinas, obtenidos de la cartografía actual y considerando estos puntos como invariantes, es decir que su cota es siempre techo de roca o filitas. Esos datos permitieron realizar con gvSIG un MDE por curvas de nivel en cada uno de los estratos de interés. Los cinco MDE generados se muestran en la figura 5, con las ubicaciones de sondeos interiores grafiadas con un punto rojo.



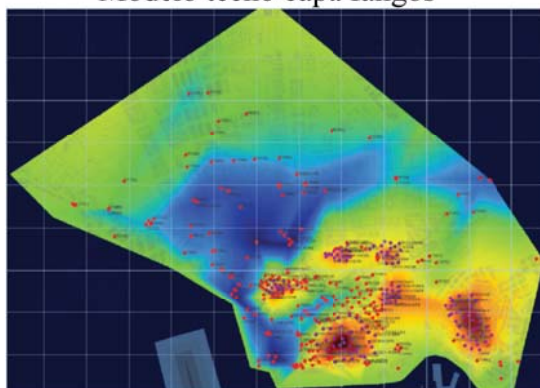
Modelo muro capa antrópica



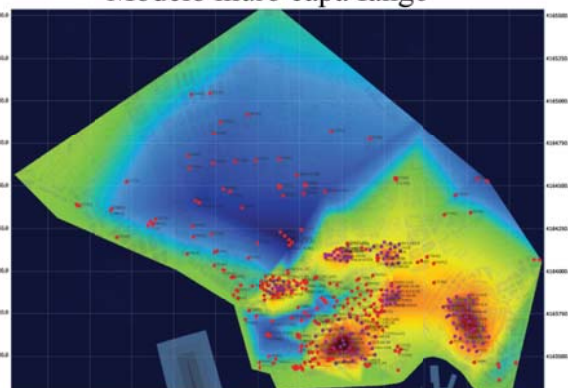
Modelo techo capa fangos



Modelo muro capa fango



Modelo techo capa roca



Modelo muro capa roca

Figura 5: MDE de los diferentes estratos de estudio

Una vez obtenidos todos los modelos, se dibujaron y analizaron los perfiles longitudinales de dos calles perpendiculares de la ciudad: Jiménez de la Espada y Ángel Bruna. Los perfiles se muestran en las figuras 6 y 7.

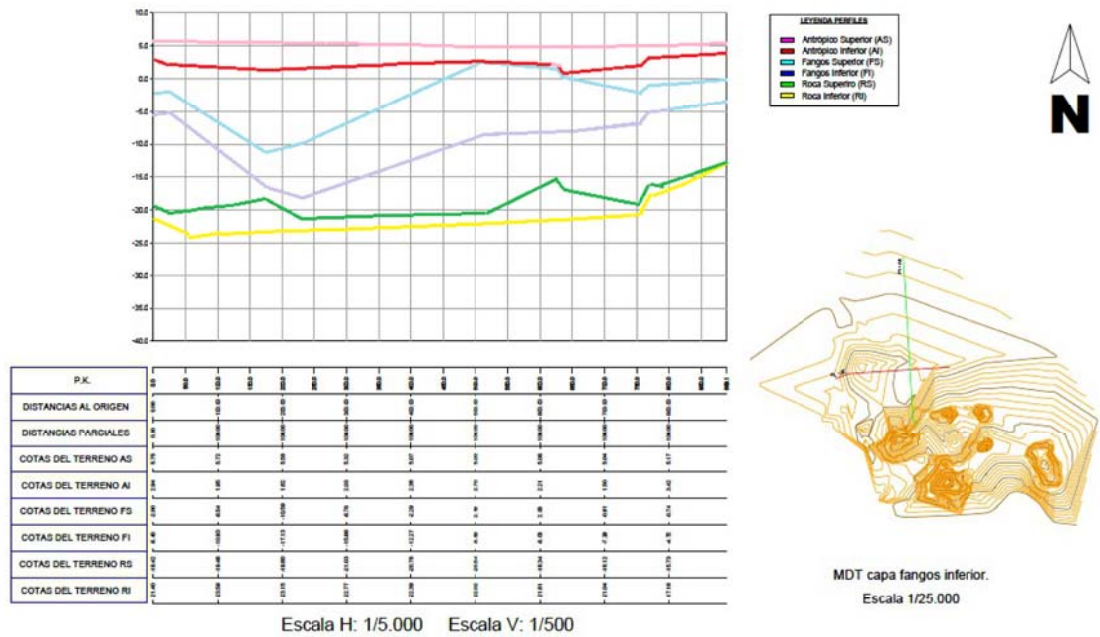


Figura 6. Perfil 1 en la calle Jiménez de la Espada en el que se representa el corte con cada uno de los modelos generados

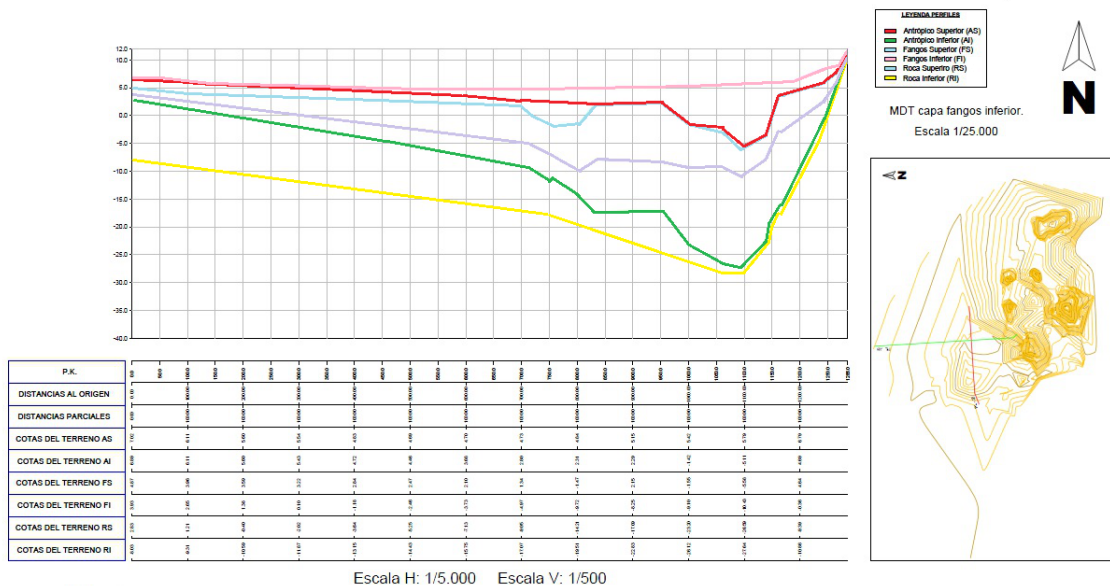


Figura 7. Perfil 2 en la calle Ángel Bruna en el que se representa el corte con cada uno de los modelos generados

El MDE correspondiente a la época romana *altoimperial* (siglo I a.C. al siglo III d.C.) fue elaborado en un estudio previo a partir de los datos procedentes de numerosas memorias de excavaciones arqueológicas realizadas en la ciudad de Cartagena. Superponiendo los perfiles obtenidos de los distintos modelos se aprecia, figura 8, que el nivel del MDE de la época altoimperial se localiza entre los estratos de arenas y antrópico. Con la información obtenida los arqueólogos pueden focalizar su trabajo,

buscando restos de la época altoimperial en las cotas y estratos ya predefinidos. Sería ideal disponer de acceso a los nuevos datos procedentes de futuras excavaciones arqueológicas para poder contrastarlos y disponer de información adicional que permita ir aumentando la precisión de los modelos generados.

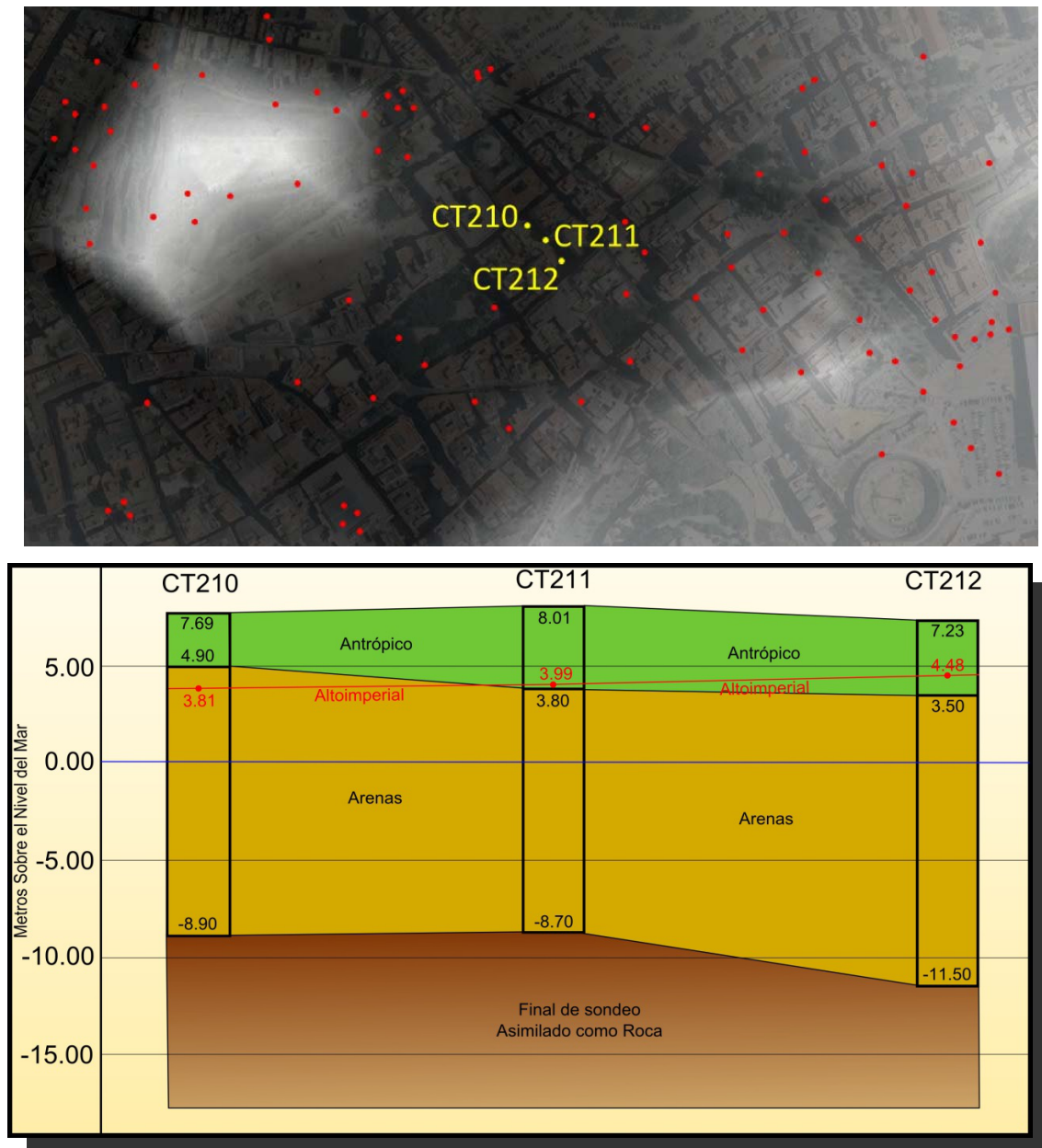


Figura 8. Posición en planta y perfil entre tres sondeos dentro de la zona urbana delimitada por las cinco colinas en época romana

4. Conclusiones y discusión

A la vista de los modelos generados (figura 5) y de los perfiles derivados de los mismos (figuras 6 a 8), podemos extraer las siguientes conclusiones:

- La potencia del estrato de relleno antrópico, que varía en el perfil 1 de la calle Jiménez de la Espada en torno a los 2 ó 3 metros, presenta en el perfil 2 de la calle Ángel Bruna bastante más variabilidad, entre 0 y 10 metros.

- La potencia del estrato de fangos en la zona del Almarjal llega a alcanzar un valor superior a los 10 metros en algunos puntos y se muestra variable en los distintos perfiles, tanto en profundidad como en espesor.
- En los modelos de muro de la capa de fangos se aprecia claramente una zona con una profundidad bien diferenciada, mayor de 10 metros, y que se representa en color azul. Esto indicaría la zona en la que se ubicaba el antiguo puerto romano, según muestran diferentes estudios, la parte más profunda del Almarjal y la de comunicación entre los dos mares.
- En el modelo de techo de la capa de roca aparece claramente marcada la península original y en ella se aprecia de nuevo el Almarjal. Como en el caso del modelo de muro de la capa de fangos, puede verse la zona en la que se supone que se ubicaba el puerto romano.
- Ha podido modelarse la profundidad a la que se encuentran los restos arqueológicos de la época altoimperial romana en la ciudad, ya que se dispone de su ubicación en cada una de las memorias arqueológicas de las excavaciones realizadas.

Con todo ello el modelado de los estratos, que representan la ciudad en distintos periodos históricos, nos permitiría diferentes utilizaciones. Entre ellas está la de poder conocer de forma aproximada la profundidad a la que, en una excavación arqueológica, nos encontraríamos con los restos de una determinada época.

También pueden calcularse, por diferencia entre modelos, los volúmenes de materiales antrópicos y los volúmenes de fangos que se sedimentaron por el aporte de las ramblas.

Por otro lado, a medida que se mejore la precisión de los modelos, estos pueden llegar a utilizarse para facilitar el cálculo de cimentaciones en las edificaciones nuevas o reconstruidas que se realicen dentro de la zona de estudio.

Como conclusiones cabe resaltar la aportación al conocimiento sistemático de las variaciones de la topografía de la ciudad de Cartagena que ha supuesto el recoger, completar, interpretar e interpolar una información que estaba dispersa. La metodología empleada permite investigar los cambios topográficos, es decir la paleotopografía, de las ciudades y realizar modelos que son de aplicación en otros lugares de estudio.

5. Referencias bibliográficas

Fernández Villamarzo, M. (1907). *Estudios Gráfico-Históricos de Cartagena*.. Editor: J.M. Rubio Paredes. Cartagena.

García Faria, P.; Oliver Rolandi, F. y F. Ramos Bascañana (1896). *Proyecto del Ensanche, Reforma y Saneamiento de Cartagena*. Imprenta de Henrich y C^a. Barcelona.

García León, J.; García Martín, A.; Torres Picazo, M. y M.J. Corbalán Hernández (2013). “Análisis cartográfico de la evolución histórica de la laguna “Almarjal”, Cartagena. España” en *Mapping*, vol. 22, nº 160, pp. 4-10. Madrid. Edita: Revista Mapping SL.

Martínez Andreu, M. (2004). “La topografía en Carthago Nova. Estado de la cuestión” en *Mastia* nº 3, pp.11-30. Cartagena. Edita: Ayuntamiento de Cartagena, Museo Arqueológico Municipal. http://www.museoarqueologicocartagena.es/files/22-55-DOC_FICHERO1/rev3-pg11.pdf. Fecha de la consulta: julio 2014.

Ros Mc Donnell, D. y M.A. Ródenas López (2012). “La inundación de Cartagena del 29 de septiembre de 1919” en *Proyecto y Ciudad*, vol. 3, 2012, pp. 47-60. Cartagena.