# Análisis cartográfico de la evolución histórica de la laguna "Almarjal", Cartagena (España)<sup>1</sup>

Cartographic analysis of the historical evolution of the "Almarjal" lagoon, Cartagena (Spain)

#### Resumen

Este trabajo se ocupa de la evolución de la topografía de la ciudad de Cartagena a lo largo de la historia, con especial énfasis en la del antiguo estero o mar interior, luego laguna (Almarjal), que se rellenó y pasó a convertirse en la zona urbana denominada el Ensanche. Se ha realizado un análisis de la cartografía histórica disponible, completándola con información de otras fuentes. Se han seleccionado cuatro planos de 1907 que han sido georreferenciados mediante gvSIG y a partir de los cuales es posible reconstruir con suficiente precisión los límites del antiguo estero. También se ha localizado un plano con curvas de nivel que ha permitido conocer la topografía del fondo de la laguna durante el siglo XIX y estimar la cantidad de material que fue necesario emplear para rellenarla.

**Palabras clave**: Almarjal, georreferenciación, sistema de referencia, modelo digital de elevaciones (MDE)

Josefina García León. Ingeniera en Geodesia y Cartografía y Doctora por la Universidad de Extremadura. *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

María José Corbalán Hernández. Arquitecta Técnica. mariajosech@hotmail.es

## 1. Introducción y objetivos

Las referencias a la ciudad de Cartagena (Quart Hadast para los cartagineses, Cartagho Nova para los romanos, Carthago Spartaria en la época bizantina y Qartayannat al-Halfa en la árabe) son frecuentes en los textos antiguos. Su emplazamiento y su bahía, un magnífico puerto natural, han condicionado la existencia y el relevante papel de la ciudad a lo largo de la historia (Andrés Sarasa, 1989, p.7). El casco histórico se encuentra protegido por cinco colinas (Molinete, Monte Sacro, Monte de San José, Despeñaperros y Monte de la Concepción) que en origen formaban parte de una península sobre la que se situaba la ciudad. La bahía se comunicaba con un estero o mar interior que servía de defensa por la parte norte pero que, a la vez, limitaba su expansión y que ya menciona Polibio en su descripción de la ciudad (Polybius y Strachan-Davidson, 1888).

El contorno del estero fue transformándose desde la antigüedad, en parte por la acción antrópica a través de vertidos intencionados para ganar nuevos espacios al mar, en parte por los aportes de sedimentos procedentes de la Rambla de Benipila (Ramallo y

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación "Carthago Nova: Topografía y urbanística de una urbe Mediterránea privilegiada" (HAR2011-29330) del Ministerio de Economía y Competitividad, financiado parcialmente con Fondos FEDER.

Martínez Andreu, 2010, p.144). La construcción del Arsenal Militar en tiempos de Felipe V, comenzada por el ingeniero Feringán y terminado por Vodopich en 1782, fue uno de los avatares importantes en la historia de Cartagena pero supuso también el desvío de la rambla y la transformación del estero en una zona pantanosa (el Almarjal) ya que confluían allí las escorrentías de numerosas ramblas y acequias y su fondo arcilloso mantenía las aguas estancadas (Pérez Rojas, 1986). La obra del Arsenal provocó también el efecto de incrementar los riesgos de inundación en la ciudad (Conesa y García García, 2003, p.80).

La transformación urbanística de mayor repercusión en la historia de Cartagena es la derivada del Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de la ciudad, de 1896 (Andrés Sarasa, 1989, p.14). En su texto se achaca a la construcción del Arsenal, que privó a la zona del Almarjal de su salida al mar, buena parte de los problemas de salubridad de la zona (Ramos, García y Oliver, 1896). La desecación y posterior urbanización de la zona del Almarjal, que no se completó hasta el siglo XX, es la intervención de mayor repercusión sobre la imagen urbana de Cartagena (Martínez Andreu, 2004, p.13) y permitió resolver el problema de la demanda de suelo, además de los provocados por el antiguo estero (Egea, 1999).

La reconstrucción de la traza de la ciudad y del perfil de la costa en la bahía y el estero a lo largo de los siglos solo había podido hacerse de forma aproximada, a partir de las descripciones y de los planos publicados por distintos autores. La cartografía realizada para servir de base a la construcción de obras militares documenta la evolución de la ciudad a partir del siglo XVII (Martínez Andreu, 2004, p.14) pero se echa en falta información planimétrica y altimétrica precisa y bien referenciada que recoja las distintas etapas por las que ha pasado la historia de la ciudad y permita su comparación (Ramallo y Martínez Andreu, 2010, p. 144).

El objetivo de este trabajo es contribuir a completar la documentación cartográfica de la evolución de la topografía de la ciudad, especialmente de la que corresponde a la zona del antiguo mar interior, luego laguna, que se rellenó entre los siglos XIX y XX. Uno de los aspectos más relevantes del análisis es el consistente en estimar el volumen de agua que podía contener el Almarjal y en intentar identificar la procedencia y cuantía de los distintos tipos de materiales empleados en la operación de relleno. Adicionalmente se han estudiado y caracterizado las tipologías constructivas y el uso actual de las edificaciones que se levantan en la zona que ocupaba la laguna

### 2. Materiales y métodos

El análisis de la evolución de la topografía de Cartagena a lo largo de su historia ha requerido recopilar toda la información cartográfica existente, así como cualquier documento que pudiera arrojar luz sobre dicha evolución. Se ha trabajado con planos antiguos y con cartografía actual, que ha servido de referencia a aquellos. Los mapas geológico y geotécnico han sido muy útiles puesto que han permitido contrastar los resultados obtenidos.

#### Cartografía antigua:

- En el Archivo Municipal de Cartagena se pudo obtener información de la enciclopedia "Historia de Cartagena", en la que figuran los planos del ataque de

- Escipión a Cartagena y recreaciones de la ciudad en las épocas púnica y romana (Mas, 1985)
- Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de Cartagena, de 1896. Incluye unos planos muy valiosos para empezar a comprender cómo era la topografía de la ciudad de Cartagena en los siglos XVI, XVII y XVIII y uno de la Bahía de Cartagena con curvas de nivel (Ramos, García y Oliver, 1896).
- El libro de Manuel Fernández-Villamarzo titulado "Estudios Gráfico-Históricos de Cartagena" del que se han podido extraer planos de la ciudad de Cartagena de la época púnico-romana, siglo XVI, siglo XVIII y siglo XIX. (Fernández-Villamarzo, 1907)
- El Instituto Cartográfico de Cataluña dispone en su web de un plano de la Bahía de Cartagena redactado en 1839 según las mediciones de Vicente Tofiño de San Miguel y William Henry Smyth (Walker, 1839).
- Del libro Selections from Polybius, de J.L. Strachan-Davidson y publicado en 1888, se obtiene el plano de la ciudad de Cartagena en la época griega (Polybius y Strachan-Davidson, 1888).

# Cartografía moderna:

- Cartografía actual de Cartagena disponible en la web de la Sede Electrónica del Catastro (<a href="http://www.sedecatastro.gob.es/">http://www.sedecatastro.gob.es/</a>). Con información alfanumérica de cotas de puntos, manzanas, parcelas y construcciones.
- Web Proyecto NATMUR-08 (<a href="http://www.murcianatural.carm.es/natmur08">http://www.murcianatural.carm.es/natmur08</a>) y web de CARTOMUR, Infraestructura de datos espaciales de referencia de la Región de Murcia (<a href="http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/">http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/</a>). Entre otros muchos datos, están disponibles las ortofotos de la ciudad de Cartagena desde 1928 hasta 2009, la cartografía digital y el modelo digital de elevaciones (Proyecto NATMUR, 2008).

# Cartografía geológica y geotécnica:

- Mapa de zonificación geotécnica (Manteca y Rodríguez Estrella, 2007) de la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Mapa Geológico de España, hoja 977 (Cartagena) del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 2004).

Para documentar la evolución de la topografía de la ciudad se eligieron, de entre todos los disponibles, los planos de Fernández-Villamarzo correspondientes a la época púnico-romana (siglo III a. C.) y a los siglos XVI, XVIII y XIX (Fernández-Villamarzo, 1907). Otros planos potencialmente interesantes tuvieron que ser descartados, bien por no disponer de información suficiente para que se pudiera tomar como referencia, bien por contener errores planimétricos importantes que se habían puesto de manifiesto gracias a estudios posteriores, como el del mismo Fernández-Villamarzo sobre el plano de Strachan-Davidson. Los planos elegidos no incluyen sistema alguno de coordenadas ni información sobre su escala o su orientación y, a priori, era difícil saber si son precisos o no. Tampoco incluyen información altimétrica.

Para poder utilizar los planos junto con la cartografía actual, comparándolos y extrayendo información fidedigna sobre la topografía antigua de la ciudad, y solucionar los problemas que hemos mencionado, se decidió georreferenciarlos con gvSIG una vez digitalizados. De las dos opciones posibles se eligió georreferenciar con cartografía de referencia, ya que la mejor manera de hacerlo consiste en identificar una serie de puntos

de apoyo que aparezcan bien diferenciados tanto en el plano como en la cartografía actual. Para ello se eligió la ortofoto más moderna de las disponibles, que es de 2009 y está georreferenciada en el sistema ED50, cargándola en gvSIG junto con el plano del siglo XIX. Aunque el proceso puede funcionar con solo tres puntos de apoyo, se consideró necesario conseguir al menos seis, bien distribuidos por toda la superficie del plano.

Es importante señalar que, dadas las circunstancias y teniendo en cuenta que los elementos identificables en cada uno de los planos han ido modificándose a lo largo de la historia, la georreferenciación hubo de realizarse "hacia atrás", de forma que cada plano se georreferenciaba a partir del anterior y no todos ellos a partir de la ortofoto. En efecto, es muy dificil identificar elementos comunes y utilizables entre los planos que representan épocas más antiguas y la ortofoto pero sí ha sido posible encontrar al menos seis puntos de apoyo entre cada par de planos consecutivos. De este modo, la ortofoto nos permitió georreferenciar el plano que representa la ciudad en el siglo XIX (figura 1), éste se empleó para georreferenciar el correspondiente al siglo XVIII y así sucesivamente. En todos los casos se empleó un mínimo de seis puntos. La calidad de cada ajuste se pudo comprobar mediante los errores medios cuadráticos (RMS) y por superposición con la ortofoto de cada plano ya procesado.

Una vez georreferenciados los planos resulta fácil trasladar la situación antigua de la ciudad, la bahía y el estero a la cartografía actual determinando así cuál es la zona que ocupaba la laguna y el uso presente de ésta. Para comprobar los resultados se superpuso también la información correspondiente a la época púnico-romana sobre la cartografía geológica y geotécnica y se identificó el tipo de terreno correspondiente a los límites que hemos obtenido para la situación del Almarjal.

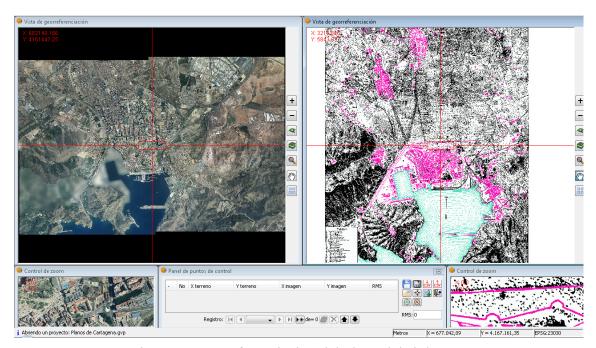


Figura 1. Georreferenciación del plano del siglo XIX

Puesto que los planos anteriores no disponen de información altimétrica, se georreferenció también el plano de avenamiento contenido en el Proyecto de Ensanche, que representa la topografía de la ciudad en el siglo XIX e incluye curvas de nivel

(Ramos, García y Oliver, 1896). Este plano ha permitido reconstruir la topografía del fondo de la laguna en la época previa al relleno definitivo del Almarjal y obtener un modelo digital de elevaciones inicial. La cartografía actual (Proyecto NATMUR, 2008) ha proporcionado la situación final y la comparación entre ambas ha servido para determinar las diferencias y estimar la cantidad de materiales de relleno que se necesitó emplear.

#### 3. Resultados

El plano del siglo XIX se georreferenció a partir de los únicos 6 puntos de apoyo que se pudo localizar. Se obtuvo un RMS de 0,178 píxeles que corresponde a 0,14m (el tamaño de píxel era de 0,83m). Los errores máximos obtenidos en los puntos de apoyo fueron de 9,76m para las X y de 5,15m para las Y. La superposición del plano georreferenciado y la ortofoto permitió comprobar el ajuste.

Para georreferenciar el plano del siglo XVIII, con ayuda del plano ya georreferenciado del siglo XIX, se localizaron 7 puntos de apoyo. El RMS obtenido fue de 2,026 píxeles. El plano del siglo XVI se georreferenció a partir del anterior mediante seis puntos de apoyo. Se obtuvo un RMS de 0,795 píxeles. El plano de la época púnico-romana se georreferenció mediante seis puntos de apoyo, fundamentalmente accidentes geográficos ya que no cabía encontrar muchos elementos antrópicos comunes en dos planos que representan periodos de tiempo separados unos diecinueve siglos (figura 2). El RMS fue de 2,403 píxeles.

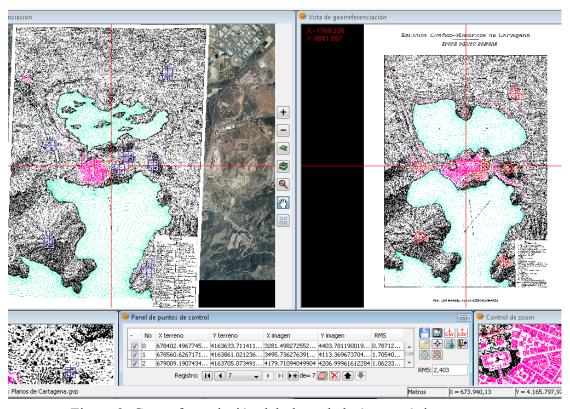


Figura 2. Georreferenciación del plano de la época púnico-romana

La superposición del último plano con la cartografía actual muestra la situación originaria del estero y de su canal de desagüe (figura 3). Puesto que cada plano se ha

georreferenciado a partir del anterior los errores obtenidos se habrán ido acumulando, de manera que los mayores estarán en el último plano. Éste corresponde a la época más antigua (siglo III a. C.) y, por tanto, cabe esperar que la información que contiene sea menos precisa que la de otros posteriores, pues se basará más en descripciones que en mediciones topográficas. La traza de la bahía es precisa, tal como se aprecia al superponerla a la cartografía actual, pero no podemos asegurar que lo sea también la del estero.

Para confirmar este punto se procedió a superponer el último de los planos la cartografía geológica v geotécnica. El Mapa de zonificación geotécnica de la región (Manteca y Rodríguez Estrella, 2007) permitió comprobar localización que la obtenida para el estero corresponde, casi al 100%, a arcillas blandas y fangos, lo que resulta coherente. La superposición con el mapa geológico (figura 4) confirma que la superficie del Almarjal en la época púnicoromana coincide con la del *lagoon* que está marcada en dicho mapa (IGME, 2004). Se observa que de los 3.181 km<sup>2</sup> que tiene el área delimitada coinciden 1.946 km<sup>2</sup>, lo que supone más del 61% de la superficie. La

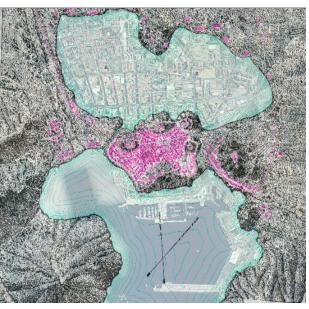


Figura 3. Plano de la época púnico-romana sobre ortofoto

información geológica no quiere decir que en épocas anteriores la laguna Almarjal ocupara la totalidad del área marcada.

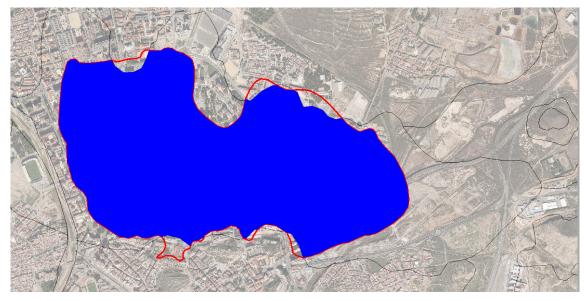


Figura 4. En rojo, límite del Almarjal en la época púnico-romana; en negro, límite del *lagoon*; en azul, superficie común

Para realizar una estimación del volumen de material que hubo que aportar para rellenar

el Almarjal se han empleado dos modelos digitales de elevaciones, uno correspondiente a finales del siglo XIX y otro actual. El del siglo XIX se ha creado a partir del plano de avenamiento que figura en el Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de la ciudad (Ramos, García y Oliver, 1896) y que se muestra en la figura 5. Es el único de los planos antiguos localizados que dispone de información altimétrica suficientemente precisa. La topografía del Almarjal en aquella época era diferente a la de la época púnico-romana, pues el antiguo mar interior ya se estaba colmatando desde antiguo, y nuestros cálculos se referirán, por tanto, solo al material de relleno correspondiente al periodo transcurrido desde finales del siglo XIX hasta la actualidad.



Figura 5. Plano de avenamiento del proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de Cartagena (Ramos, García y Oliver, 1896)

Para crear el MDE inicial se procedió a digitalizar las curvas de nivel del plano de avenamiento, cuya equidistancia es de 0,50m. A partir de ahí se realizó la rasterización de la capa vectorial y se generaron los valores intermedios por el método de splines.

El MDE actual se obtuvo descargando de la página web del proyecto NATMUR-08 (Proyecto NATMUR, 2008) dos modelos de alturas del terreno de las hojas 1/5.000, con un tamaño de píxel de 4x4m. Los modelos empleados fueron el 977 5-3 y el 977 6-3, que abarcan la zona de estudio y que se unieron en un único modelo.

Los dos MDE, siglo XIX y actual, se recortaron con la capa contorno que corresponde a los límites de la zona ocupada por el Almarjal en la época representada por el primero (figura 6). El cálculo de volumen se hizo por diferencia de superficies entre ambos, empleando el MDE actual como superficie superior y el MDE del siglo XIX como superficie inferior.

La cubicación realizada con gvSIG dio como resultado un volumen de terraplén de 2.667.555m³ y un volumen de desmonte de 300.493m³.

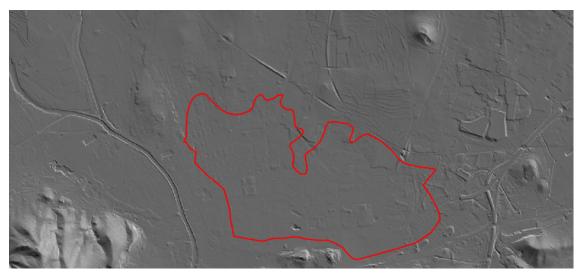


Figura 6. Relieve sombreado del MDE actual; en rojo, contorno del Almarjal en el plano de avenamiento del siglo XIX

# 4. Conclusiones y discusión

Cartagena es una ciudad con multitud de restos arqueológicos y en la que la historia se hace presente gracias a los numerosos centros de interpretación que se han ido poniendo a disposición del público en los últimos años. Cualquier información que contribuya a un mejor conocimiento de la evolución histórica de la topografía de la zona que ocupa actualmente la ciudad es relevante y puede incorporarse a las de otros tipos (arqueológica, antropológica, histórica, etc.), completándolas y dándoles sentido. Los estudios que pretenden poner en valor este patrimonio deben abordarse desde una perspectiva multidisciplinar, que permita elegir con criterio entre todas las técnicas disponibles y aplicar las más adecuadas a cada caso.

La superposición de los planos georreferenciados con gvSIG con la situación actual ha permitido comprobar la calidad de la cartografía empleada, que fue realizada a principios del siglo XX. Los elementos que permanecen en la actualidad, como una buena parte de la línea de costa, las colinas y algunos elementos antrópicos, coinciden bien con su representación en los planos. Los errores obtenidos en el proceso de georreferenciación son razonables, dadas las circunstancias.

Se ha podido trasladar a un sistema de referencia actual la situación de los elementos geográficos desaparecidos, especialmente el estero y su comunicación con el mar. Dado que existían dudas sobre la precisión con la que se trazaron sus límites en los planos que se refieren a épocas más antiguas, se procedió a contrastarla con la información disponible en la cartografía geológica y geotécnica. La conclusión es que dicha información confirma que la situación del estero en los planos es correcta. Por tanto, la cartografía de Fernández-Villamarzo, una vez georreferenciada, puede emplearse como base para futuros trabajos de tipo histórico o para ubicar posibles restos arqueológicos relacionados con la actividad que pudo desarrollarse en torno al estero.

Se ha generado un modelo digital de elevaciones a partir de las curvas de nivel del plano de avenamiento de la ciudad perteneciente al Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento fechado en 1896 (Ramos, García y Oliver, 1896). Se ha obtenido un MDE actual de la cartografía digital disponible en Internet (Proyecto NATMUR, 2008). A partir de estos dos MDE se ha podido cuantificar la variación volumétrica en la zona del Almarjal desde el siglo XIX a la actualidad. Esta variación corresponde al relleno de la laguna que se proponía en el Proyecto de Ensanche y que, una vez completado en el siglo XX, permitió eliminar los problemas de salubridad generados por ella y aportó suelo urbanizable suficiente para el desarrollo de la ciudad. A lo largo de la historia se ha sustituido el Almarjal, que comprendía una superficie en planta de 2,024 km², por una zona totalmente urbanizada que forma parte de la ciudad de Cartagena.

La realización de este trabajo es sólo el inicio de un camino apasionante. La integración de información de distintas fuentes permitirá determinar con gran precisión la evolución topográfica de la ciudad Cartagena a lo largo de su historia. Entre las fuentes de información que deben servir de base para futuros trabajos podemos citar:

- cartografía antigua que no se ha utilizado aquí
- registros históricos sobre el origen de los materiales empleados para el relleno del Almarjal (excavación del Monte de la Concepción, escombros provocados por los bombardeos de la Guerra Civil, etc.)
- sondeos geotécnicos realizados desde que en 1988 la normativa EHE los hizo obligatorios
- sondeos realizados específicamente para estudios arqueológicos

El empleo de herramientas como los SIG, además de contribuir a dotar de referencias comunes a toda la cartografía disponible, permitirá que toda la información geográfica generada pueda gestionarse y consultarse de forma unificada y fácil.

## 5. Referencias bibliográficas

Andrés Sarasa, J.L. (1989), "El diálogo puerto-ciudad en la Bahía de Cartagena", *Paralelo 37*°, 13, p. 7-23.

CARTOMUR Infraestructura de datos espaciales de referencia de la Región de Murcia (1928 a 2009), *Ortofotos*, <a href="http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/">http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/</a> fecha consulta: junio 2012, fecha actualización sitio web: 11 de abril de 2012.

Conesa, C. y García García, E. (2003), "Las áreas históricas de inundación en Cartagena: problemas de drenaje y actuaciones", *Boletín de la A.G.E.*, 35, p. 79-100.

Egea Bruno, P. (1999), Cartagena imagen y memoria, Artelibro, Elche.

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

Instituto Geológico y Minero de España IGME (2004), *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, hoja 977 (Cartagena)*, edición digital del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Ramos Bascuñana, F., García Faria, P., Oliver Rolandi, F. (1896), *Proyecto de Ensanche, Reforma y Saneamiento de Cartagena*. Ayuntamiento de Cartagena.

Manteca, J.I. y Rodríguez Estrella, T. (2007), *Mapa de zonificación geotécnica de la Región de Murcia*, *escala 1:25.000*, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte.

Martínez Andreu, M. (2004), "La topografía en Carthago Nova. Estado de la cuestión", *Mastia*, 3, p. 11-30.

Mas, J. (1985), Historia de Cartagena, Ediciones Mediterráneo, Murcia.

Pérez Rojas, F.J. (1986), Cartagena, 1874-1936 (Transformación Urbana y Arquitectura), Editora Regional, Murcia.

Polybius, Strachan-Davidson J. L. (1888), *Selections from Polybius*, editado por Strachan-Davidson, Oxford.

Proyecto NATMUR-08, Catálogo de Geoservicios de Medio Natural (2008), *Vuelo fotogramétrico digital y levantamiento LIDAR de la Región de Murcia*, <a href="http://www.murcianatural.carm.es/natmur08/">http://www.murcianatural.carm.es/natmur08/</a> fecha consulta: junio 2012, fecha actualización sitio web: 11 de junio de 2012.

Ramallo, S. y Martínez Andreu, M. (2010), "El puerto de Carthago Nova: eje de vertebración de la actividad comercial en el sureste de la Península Ibérica", *Bollettino di Archeologia on line*, Volume Especiale, Roma 2008, Internacional Congress of Classical Archaeology, p. 141-159.

Walker, J., Walker, A. and Walker, C. (1839), Cartagena: Spain south coast / from the surveys of don V. Tofiño and Captain W.H. Smyth, Institut Cartogràfic de Catalunya.

http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/singleitem/collection/espanya/id/2013/rec/33 fecha consulta: septiembre 2012, fecha actualización sitio web: 2 de marzo de 2009.