



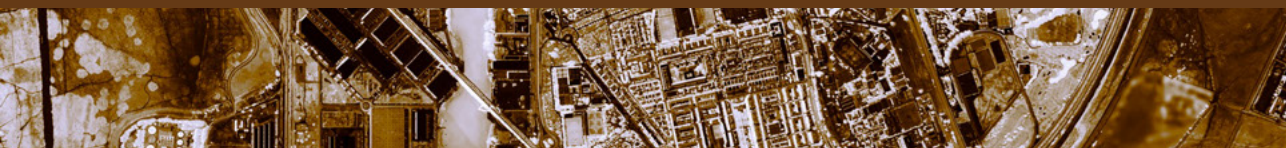
# El suelo de la ciudad de Sevilla

## Características y mapas geotécnicos basados en resultados experimentales

Una publicación coordinada por Isabel González-de-León



Editorial Universidad de Sevilla







## El suelo de la ciudad de Sevilla

COLECCIÓN ARQUITECTURA

DIRECTORA DE LA COLECCIÓN

Prof.<sup>a</sup> Dra Mercedes Linares Gómez del Pulgar

CONSEJO DE REDACCIÓN

Prof. Dr. Ángel Luis Candelas Gutiérrez. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Enrique Domingo Fernández Nieto. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Miguel Hernández Valencia. Universidad de Sevilla  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mercedes Linares Gómez del Pulgar. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. José María Manzano Jurado. Universidad de Granada  
Prof. Dr. Francisco Javier Montero Fernández. Universidad de Sevilla  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> María Teresa Pérez Cano. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Ramón Pico Valimaña. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Francisco S. Pinto Puerto. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Francisco de Paula Pontiga Romero. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Carlos Jesús Rosa Jiménez. Universidad de Málaga  
Prof. Dr. Victoriano Sainz Gutiérrez. Universidad de Sevilla  
Prof. Dr. Juan José Vázquez Avellaneda. Universidad de Sevilla

COMITÉ CIENTÍFICO

Prof. Dr. José Manuel Aguiar Portela de Costa. Universidade de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabel Arteaga Arredondo. Universidad de los Andes, Colombia  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Anita Berrizbeitia. Harvard University, EE.UU.  
Prof. Dr. Robert Brufau e Niubó. Universidad Politécnica de Cataluña  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Antonella Conttin. Politecnico de Milano, Italia  
Prof. Dr. Thomas B.F. Cummins. Harvard University, EE.UU.  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> María Cristina Da Silva Schicci. Pontificia Universidade Católica de Campinas, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Escoda Pastor. Universidad Politécnica de Cataluña  
Prof. Dr. Antonio Gómez-Blanco Pontes. Universidad de Granada  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Josefina González Cubero. Universidad de Valladolid  
Prof. Dr. Luis Javier Machuca Casares. Universidad de Málaga  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maite Méndez Baiges. Universidad de Málaga  
Prof. Dr. Javier Monclús Fraga. Universidad de Zaragoza  
Prof. Dr. Ignacio Oteiza San José. Instituto de Ciencias de la Construcción  
Eduardo Torroja, Madrid  
D.<sup>a</sup> Mercedes de Pablos Candón. Periodista, Centro de Estudios Andaluces, Sevilla  
Prof. Dr. Dominique Poulot. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Francia  
Prof. Dr. Jorge Torres Cuelco. Universidad Politécnica de Valencia  
Prof. Dr. Ferrán Ventura Blanch. Universidad de Málaga  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Susan Roaf. University of Edinburgh, Reino Unido  
Prof. Dr. Fausto E. Rodríguez Manzo. Universidad Autónoma Metropolitana,  
México, D.F., México  
Prof. Dr. Ricardo Sánchez Lampreave. Universidad de Zaragoza  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Hielkje Zijlstra. Delft University of Technology, Países Bajos

Isabel González-de-León (coordinadora)

# El suelo de la ciudad de Sevilla

Características y mapas geotécnicos  
basados en resultados experimentales



Sevilla 2026

Comité editorial de  
la Editorial Universidad de Sevilla

Elena Leal Abad  
(Directora)

Concepción Barrero Rodríguez  
Rafael Fernández Chacón

María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado  
Manuel Padilla Cruz

Marta Palenque  
María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda

Marina Ramos Serrano  
José-Leonardo Ruiz Sánchez  
Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

Una publicación del Grupo de Investigación TEP-107 (Estructuras y Geotecnia) del Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla coordinada por Isabel González-de-León.

Motivo de cubierta: Obra derivada de OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es

© Editorial Universidad de Sevilla 2026  
c/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.  
Tfños.: 954 487 447; 954 487 451  
Correo electrónico: [info-eus@us.es](mailto:info-eus@us.es)  
Web: <https://editorial.us.es>

© Isabel González-de-León (coordinadora) 2026  
© De los textos, los autores 2026

ISBN 978-84-472-2723-5

DOI: <https://dx.doi.org/10.12795/9788447227235>

Edición digital: Cuadratín Estudio

# Índice

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. El suelo de la ciudad de Sevilla:</b><br><b>antecedentes, objetivos y metodología</b><br>Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban.....              | 11 |
| <b>2. Estratigrafía de la ciudad de Sevilla</b><br>Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban .....                                                         | 19 |
| <b>3. Hidrología de la ciudad de Sevilla</b><br>Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban .....                                                            | 27 |
| <b>4. Sísmica de la ciudad de Sevilla</b><br>Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban.....                                                                | 35 |
| <b>5. Parámetros geotécnicos de la ciudad de Sevilla</b><br>Isabel González-de-León, Antonio Morales-Esteban,<br>Beatriz Zapico-Blanco y Manuel Vázquez-Boza ..... | 47 |
| <b>6. Mapas orientativos de la ciudad de Sevilla</b><br>Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban.....                                                     | 61 |





## Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2020-117207RB-I00 «Simulador de riesgo sísmico y herramienta de evaluación en tiempo real en caso de terremoto para edificios residenciales de la península ibérica», financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y la Agencia Estatal de Investigación (MICIU/AEI/10.13039/501100011033).

Los autores agradecen a todos los arquitectos que han aportado a los estudios geotécnicos de manera desinteresada.



# 1. El suelo de la ciudad de Sevilla: antecedentes, objetivos y metodología

Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban

*Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno  
Universidad de Sevilla*

## Resumen

Es imposible disociar el diseño de los edificios y las características geotécnicas del emplazamiento, ya que todas las estructuras tienen en común que se asientan en el terreno para transmitir sus cargas.

Conocer bien el suelo es fundamental a la hora de diseñar las estructuras ante cargas estáticas y ante cargas dinámicas, propias de un terremoto, dado que la magnitud de las ondas sísmicas depende de las propiedades del terreno.

Lamentablemente, la importancia que tiene el terreno en el cálculo de las estructuras es directamente proporcional a la complejidad a la hora de estimar sus propiedades mecánicas. De entre todos los materiales de construcción que intervienen en un edificio, el suelo es el más heterogéneo y difícil de examinar. A esto se une que el suelo está «vivo», sus propiedades cambian con el paso de los años, se ve alterado por el clima, los movimientos de tierras en parcelas no tan colindantes y la rotura de cañerías, entre otra multitud de causas posibles.

Esta publicación contextualiza la ciudad de Sevilla desde la perspectiva geotécnica, hidrológica y sísmica. Además, y con base en resultados de estudios geotécnicos realizados en la ciudad de Sevilla, aporta valores de las características geotécnicas de cada uno de los estratos y una serie de mapas orientativos, donde se proporcionan las profundidades de techo y de resistencia de los estratos, la profundidad del nivel freático y las velocidades de ondas de corte  $V_{s30}$ .

En este capítulo se presentan los objetivos principales de esta publicación y la metodología utilizada.

### **1.1. Antecedentes**

En mayor o menor medida, todas las estructuras se apoyan en el terreno, convirtiéndose este en un elemento que debe ser considerado desde la fase inicial de cualquier proyecto, ya que sus propiedades afectarán a la concepción estructural del edificio, incluyendo sus cimientos.

De entre todos los factores involucrados en el diseño de una estructura, el terreno es el más heterogéneo, incierto y, en definitiva, complicado de abordar. Debe considerarse como un material de construcción más (COAS y FIDAS 2005) y, al igual que otros, la capacidad portante del suelo puede empeorar o mejorar con el paso del tiempo. Los cambios en el terreno están provocados por efectos de muy diversa índole, como asentamientos, movimientos de tierra en las inmediaciones, la influencia de edificios cercanos, la vegetación, las variaciones del nivel freático o las roturas de redes de distribución de agua y saneamiento, entre otros. Por tanto, el terreno no solo debe tenerse en cuenta en la fase de diseño, sino también cuando se realizan inspecciones técnicas periódicas.

Hasta la fecha, los arquitectos e ingenieros de la ciudad de Sevilla han contado con un documento de suma utilidad para estimar las características geotécnicas de la zona: el «Mapa Geotécnico Básico de la Ciudad de Sevilla», disponible en el Anejo 1.2. del Protocolo de Inspección Técnica de Edificaciones, editado por el Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla (COAS) y la Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura de Sevilla (FIDAS) y publicado en 2005. Además de contextualizar la ciudad de Sevilla desde la perspectiva geotécnica e hidrogeológica, este documento aporta algunos valores orientativos de las características geotécnicas de la ciudad por estratos y una docena de mapas geotécnicos básicos. Los mapas fueron elaborados de acuerdo con los resultados de numerosos estudios geotécnicos y muestran las alturas de techo de cada estrato, las potencias de

las capas de arcillas, arenas y zahorras, la profundidad del nivel freático y los valores de resistencia a compresión simple y penetración estándar de las capas de arcillas y arenas.

Desde la publicación del «Mapa Geotécnico Básico de la Ciudad de Sevilla», las técnicas existentes para la prospección del terreno (calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración o métodos geofísicos) han mejorado considerablemente, así como la instrumentación de los laboratorios encargados de analizar las muestras de suelo. Es por ello que la presente investigación pretende actualizar y completar la información aportada en el documento de referencia a partir de ensayos realizados en la ciudad de Sevilla durante las dos últimas décadas.

## **1.2. Objetivos**

Esta publicación tiene como objetivo estudiar desde una perspectiva geotécnica el suelo de la ciudad de Sevilla. Sus objetivos específicos son los siguientes:

- Crear una base de datos extensa de estudios geotécnicos llevados a cabo en Sevilla en el periodo 2001-2024.
- Disponer de valores de referencia de los parámetros geotécnicos más importantes para los diferentes estratos.
- Dibujar mapas geotécnicos orientativos de las profundidades del techo, de la resistencia a la penetración estándar y de la profundidad del nivel freático.
- Generar un mapa de la velocidad media de las ondas de corte a 30 metros de la superficie del terreno de la ciudad de Sevilla.

## **1.3. Metodología**

Para alcanzar los objetivos propuestos se ha seguido una metodología pormenorizada en seis acciones:

### **Acción 1. Revisión bibliográfica**

En esta primera etapa se ha realizado una amplia búsqueda de las publicaciones centradas en el suelo de Sevilla, así como de normativas estatales sobre

el diseño de cimentaciones y de estructuras ante acciones gravitatorias y sísmicas. Las siguientes publicaciones han sido especialmente relevantes para este estudio:

- Hoja 984 y Memoria «Sevilla» (1975) de la serie del «Mapa Geológico Nacional» (MAGNA) a escala 1:50 000 del Instituto Geológico Minero de España (IGME)<sup>1</sup>.
- Cartografía geotécnica y Memoria del «Mapa Geotécnico para la Ordenación Territorial y Urbana de Sevilla» (1984) del IGME<sup>1</sup>.
- *El riesgo sísmico de Sevilla* (1989), tesis doctoral de Pilar Gentil Govantes y supervisada por José Luis de Justo Alpañés<sup>2,3</sup>.
- «Mapa Geotécnico Básico de la Ciudad de Sevilla» (2005), disponible en el Anejo 1.2. del Protocolo de Inspección Técnica de Edificaciones, editado por el COAS y la FIDAS<sup>2</sup>.
- *Sevilla y el Guadalquivir* (2006), publicación de Jesús M. Arenas Soler<sup>4</sup>.
- «Generación de un mapa de velocidad media de ondas de corte en la provincia de Sevilla. Estudio de correlaciones» (2022), estudio realizado por Carmen Mesías Pérez, bajo la supervisión de Manuel Vázquez-Boza y Antonio Morales-Esteban<sup>5</sup>.
- «Una metodología para la realización de mapas de ondas de corte. Aplicación a Sevilla, Almería, Murcia y Granada» (2024), comunicación para la I Bienal de Investigación en Arquitectura de la Universidad de Sevilla<sup>5</sup>.

## Acción 2. Recopilación de ensayos geotécnicos

Los valores estadísticos propuestos para la caracterización geotécnica de cada estrato y usados para elaborar los diferentes mapas se han estimado según los resultados de multitud estudios geotécnicos realizados en la ciudad de Sevilla

---

1. Los contextos geológico, geotécnico e hidrológico aportados en esta publicación han sido de utilidad para conocer la evolución del suelo de Sevilla y comprender los resultados de los ensayos recopilados.

2. Los datos para los parámetros geotécnicos reportados en esta publicación han servido para co-tejar los valores estadísticos obtenidos en los ensayos recopilados.

3. La información aportada en esta publicación ha sido de utilidad para elaborar el contexto sísmico de Sevilla.

4. Las modificaciones en los cauces del Guadalquivir y sus afluentes detalladas en esta publicación han servido para contextualizar la evolución del río a su paso por la ciudad.

5. Esta publicación detalla el procedimiento para la elaboración de mapas de velocidades de corte en entornos urbanos a partir de resultados  $N_{SPT}$  y  $N_{DPSH}$ .



durante el periodo 2001-2024. En total, se han recopilado más de 160 estudios, de los cuales se han seleccionado 90 por estar ubicados dentro de la zona de estudio, delimitada entre la ronda urbana norte, la A-4, la SE-30 y la N-630.

### Acción 3. Tratamiento de los datos

Los estudios geotécnicos ubicados dentro del área acotada han sido analizados exhaustivamente. Los estudios seleccionados contenían los resultados de centenares de ensayos geotécnicos realizados *in situ* (sondeos, calicatas, de resistencia a la penetración estándar –SPT– y de resistencia a la penetración dinámica superpesada –DPSH–) y en laboratorio (ensayos a compresión simple, corte directo, triaxiales, edómetros, entre otros).

Se ha elaborado una amplia base de datos en la que se han identificado, organizado y sistematizado los resultados de los ensayos. Para la identificación de los estudios, se ha incluido un código de referencia, la fecha del estudio, la dirección y las coordenadas geográficas de la parcela. Además, se ha realizado un enlace a un mapa virtual. En cuanto a los resultados de los ensayos, estos se han clasificado en función del estrato estudiado, incluyendo una breve descripción del tipo de terreno. Se han volcado los resultados de la estratigrafía (profundidad de techo, de muro y potencia de cada estrato, además de la profundidad del nivel freático) y de los siguientes parámetros geotécnicos: el peso específico (aparente y seco), la cohesión efectiva, el ángulo de rozamiento efectivo, el número de golpes obtenido en ensayos de resistencia a la penetración dinámica superpesada DPSH y a la penetración estándar SPT, la resistencia a compresión simple, los límites de Atterberg (líquido, plástico e índice de plasticidad), los índices edométricos (de entumecimiento y compresión), el porcentaje de hinchamiento libre y la presión de hinchamiento, y la humedad.

### Acción 4. Propuesta de los valores de los parámetros geotécnicos

La obtención de los valores representativos de las características geotécnicas de cada estrato se ha realizado en dos pasos. En primer lugar, se han estimado los valores de los parámetros estratigráficos y geotécnicos para cada ubicación y cada estrato calculando las medias de los resultados de las pruebas incluidas en el mismo estudio. En segundo lugar, y sobre la base de dichos resultados, se han estimado los valores medios y característicos de acuerdo con

el Eurocódigo 7 (CEN 2023) de los parámetros geotécnicos de cada estrato. Los valores de los coeficientes de variación también se han aportado en las tablas como indicadores de la dispersión de los datos.

Los valores propuestos se han comparado con los valores de publicaciones de referencia, estando en general de acuerdo, e identificando las causas en caso de discordancia.

Por último, los valores medios referentes a la altura de techo y al número de golpes de ensayo SPT de cada estrato, así como la profundidad del nivel freático, calculados para cada ubicación, se han utilizado para elaborar el material gráfico.

### Acción 5. Estimación de las velocidades de las ondas de corte $V_{s30}$

Los códigos actuales para el diseño sísmico estructural cuantifican la acción sísmica en función del tipo de suelo, entre otras variables. Para facilitar la determinación del tipo de suelo, las normas, entre las que se encuentran el Eurocódigo 8 (CEN 2004), proponen una categorización sencilla que depende del valor del parámetro  $V_{s30}$ . El parámetro  $V_{s30}$  hace referencia a la velocidad media de las ondas de corte en los primeros 30 metros medidos desde la superficie del suelo y se considera una propiedad del terreno relacionada con otras propiedades básicas como el módulo elástico y el de cizalladura. El valor de  $V_{s30}$  puede ser estimado a partir de ensayos específicos o utilizando correlaciones con resultados de ensayos geotécnicos muy comunes, como los de resistencia a la penetración estándar SPT y a la penetración dinámica superpesada DPSH.

Los valores de velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m medidos desde la superficie  $V_{s30}$  han sido calculados en dos pasos. Primero, se han estimado las velocidades de ondas de corte  $V_s$  en cada estrato usando la correlación de Imai (1977) y los valores de  $N_{DPSH}$ , preferentemente, recogidos en los estudios geotécnicos. Cuando no se ha dispuesto del valor de  $N_{DPSH}$ , se han utilizado los resultados de ensayos SPT aplicando la correlación conservadora  $N_{SPT} = N_{DPSH}$ . Seguidamente, se ha calculado la velocidad de las ondas de corte  $V_{s30}$  para cada ubicación como la media ponderada de las velocidades de las ondas de corte  $V_s$  de los estratos teniendo en cuenta sus espesores. En el capítulo pertinente, se detalla el procedimiento para el cálculo de las velocidades de ondas de corte  $V_{s30}$ .

## Acción 6. Elaboración de los mapas geotécnicos orientativos (estratigrafía, profundidad del nivel freático, resistencia, velocidades de las ondas de corte $V_{s30}$ )

Los mapas geotécnicos orientativos de esta publicación se han elaborado utilizando el software libre y de código abierto QGIS, versión 3.34 Prizren. QGIS es un sistema de información geográfica (SIG) de uso profesional que permite analizar y representar datos espaciales.

La cartografía base de la ciudad de Sevilla, actualizada en el año 2024 y a escala 1:25 000, se ha obtenido en el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), organismo autónomo adscrito al Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Sobre esta cartografía, se han ubicado los estudios geotécnicos seleccionados, asociando a dichos puntos los datos relevantes extraídos de los informes geotécnicos para cada estrato: la profundidad del techo, la resistencia a la penetración estándar  $N_{SPT}$ , así como la profundidad del nivel freático y las velocidades de las ondas de corte  $V_{s30}$ . Todos estos datos se han añadido a QGIS como una capa vectorial de puntos. Cabe advertir que no todos los estudios geotécnicos recopilados en esta investigación reportaron datos de todos los estratos. Los puntos representados en cada mapa hacen referencia a la ubicación de los estudios geotécnicos que se utilizaron para su elaboración. Esta medida permite valorar el grado de confianza entre la estratigrafía reflejada en los mapas y la real, en función de la proximidad de la parcela objeto de estudio a los puntos.

Las isolíneas de los diferentes mapas se han estimado utilizando las herramientas de interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW) y de conversión en curvas de nivel disponibles en QGIS. Con la primera, se crea una imagen ráster a partir de un conjunto de datos conocidos, estimando los valores de píxel mediante una combinación ponderada linealmente. Con la segunda, se vectoriza la imagen ráster de obtenida.

## Referencias

Centro Nacional de Información Geográfica (2024): *Centro de descargas. CartoCiudad de Sevilla a escala 1:25 000*. Madrid. Disponible en: <https://centrodedescargas.cnig.es>

- Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla y Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura de Sevilla (2005): *Protocolo de Inspección Técnica de Edificaciones - Anejo 1.2. Mapa Geotécnico Básico de la Ciudad de Sevilla*. Sevilla.
- European Committee for Standardization (2004): *EN 1998-1. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*. Bruselas.
- European Committee for Standardization (2023): *prEN 1997-1. Eurocode 7: Geotechnical Design - Part 1: General Rules*. Bruselas.
- Gentil Govantes, Pilar (1984): *El riesgo sísmico de Sevilla* [tesis doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- González-de-León, Isabel, Carmen Mesías-Pérez, Antonio Morales-Esteban y Manuel Vázquez-Boza (2024): «Una metodología para la realización de mapas de ondas de corte. Aplicación a Sevilla, Almería, Murcia y Granada». Comunicación para la *I Bienal de Investigación en Arquitectura de la Universidad de Sevilla*, Sevilla, España.
- Imai, Tsuneo (1977): «P-and S-Wave Velocities of the Ground in Japan». Comunicación para la *IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokio, Japón. Publicado por *Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE)*, 2, 257-260.
- Instituto Geológico y Minero de España (1975): *Mapa Geológico de España. Hoja 984 y Memoria «Sevilla»*. Serie MAGNA a escala 1:50 000. Madrid.
- Instituto Geológico y Minero de España (1984): *Cartografía Geotécnica y Memoria «Mapa Geotécnico para la Ordenación Territorial y Urbana de Sevilla» a escala 1:25 000*. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia.
- Mesías-Pérez, Carmen (2022): *Generación de un mapa de velocidad media de ondas de corte en la provincia de Sevilla. Estudio de correlaciones* [trabajo fin de grado]. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- QGIS Geographic Information System (2024): *QGIS 3.34 Prizren*. QGIS Association. Disponible en: <http://www.qgis.org>

## 2. Estratigrafía de la ciudad de Sevilla

Isabel González-de-León y Antonio Morales-Esteban

*Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno  
Universidad de Sevilla*

### Resumen

Todas las publicaciones consultadas coinciden en que el suelo de la ciudad de Sevilla presenta cinco estratos principales, que, de manera simplificada y ordenados de menor a mayor profundidad, son: rellenos antrópicos, arcillas, arena-limosa, grava-arenosa y margas.

No obstante, los informes geotécnicos recopilados presentan una o varias columnas estratigráficas en las que no se aplica dicha clasificación genérica, sino la de multitud de estratos: rellenos recientes, rellenos antiguos, arcillas con alteración, arenas finas limosas, arenas con gravillas, entre otras.

Aplicando la clasificación clásica de los cinco estratos, y basándonos en la información aportada por los estudios geotécnicos recopilados, en este capítulo se presentan las profundidades de techo y las potencias medias de los estratos de rellenos antrópicos, de arcillas, de arena-limosa, de grava-arenosa y de margas de la ciudad de Sevilla.

## 2.1. Introducción

La ciudad de Sevilla está situada en la cuenca del Guadalquivir y se asienta sobre rellenos autóctonos del Mioceno superior y del Cuaternario. La cuenca del Guadalquivir es la mayor de las depresiones que se originaron como consecuencia de la formación de la cordillera Bética, ocurrida durante el Mioceno. Con el establecimiento de la red hidrográfica durante el Cuaternario, el valle del Guadalquivir adoptó una morfología de cubeta que destaca por la gran amplitud de su cauce. Esta morfología implica diferencias poco significativas de altura entre terrazas y solapamientos ocasionales entre ellas.

La siguiente figura (fig. 2.1) muestra un fragmento de la Hoja 984 «Sevilla» de la serie MAGNA a escala 1:50 000 del Instituto Geológico Minero de España, así como la leyenda de las distintas formaciones.

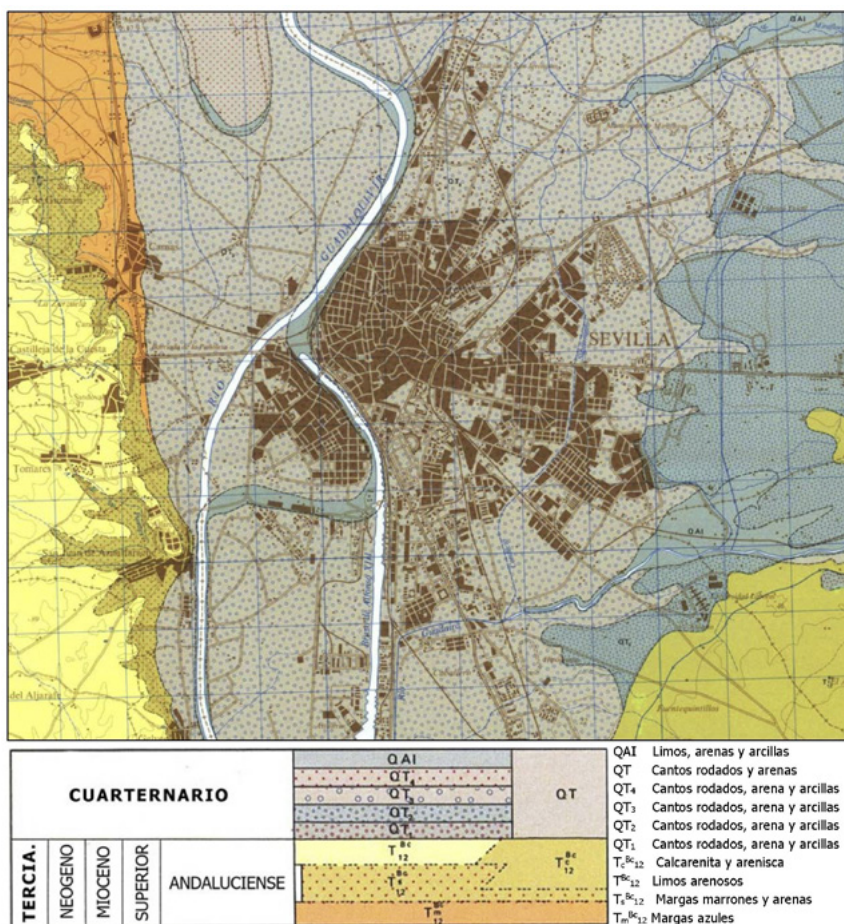


Figura 2.1. Fragmento y leyenda adaptadas de la Hoja 984 «Sevilla» (IGME 1975)

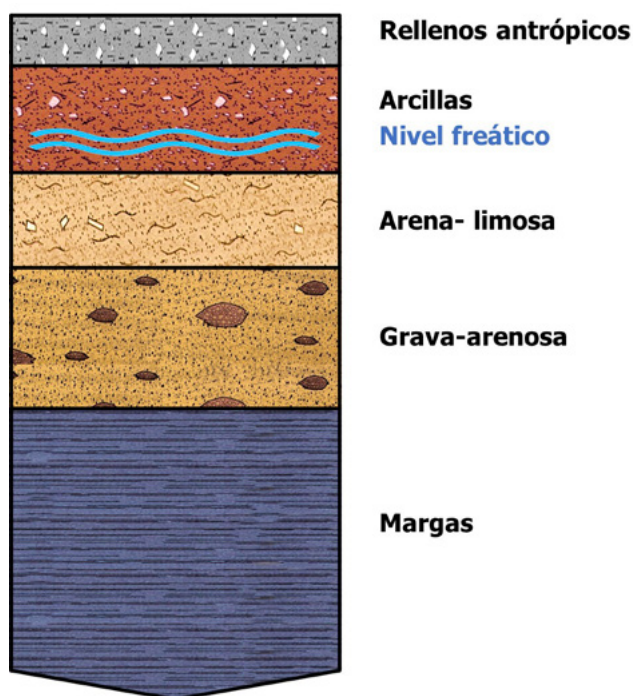


Figura 2.2. Columna estratigráfica representativa de la ciudad de Sevilla

El perfil estratigráfico representativo de la ciudad de Sevilla está formado por cinco capas o estratos (fig. 2.2), que, ordenados de menor a mayor profundidad, son: uno de rellenos antrópicos (reciente), uno de arcillas, uno de arena-limosa, uno de grava-arenosa (todos ellos del Cuaternario) y uno de margas (del Mioceno superior).

No obstante, no es fácil identificar cuándo empieza un estrato y cuándo otro, pues lo habitual es que se encuentren alterados con intercalaciones de los estratos colindantes, especialmente los más recientes. Así, en el estrato de rellenos antrópicos se pueden identificar los de rellenos recientes y antiguos. Por otro lado, el estrato de arcillas incluye los de arcillas con rellenos antrópicos, arcillas limosas, o con arena y gravas. El estrato de gravas incluye los de gravas en matriz arcillosa, en matriz limosa y en matriz arenosa, entre otros. Por último, el estrato de margas engloba aquellos compuestos por margas de distintas tonalidades. Para las profundidades estudiadas, los estudios geotécnicos las suelen identificar como arcillas margosas grisáceas.

Las alturas de techo y las potencias de estos estratos son variables. La profundidad del nivel freático suele situarse en el estrato de arcillas. La tabla 2.1 recoge los valores estadísticos obtenidos para la profundidad de techo de los estratos y para la del nivel freático.

Tabla 2.1. Valores estadísticos de la profundidad de techo de los estratos y de la profundidad del nivel freático

| Estrato         | Profundidad de techo [m] |              |              |                   |
|-----------------|--------------------------|--------------|--------------|-------------------|
|                 | Valor medio              | Valor mínimo | Valor máximo | Desviación típica |
| Arcillas        | 2,4                      | 0,3          | 6,2          | 1,5               |
| Arena-limosa    | 7,5                      | 2,0          | 13,7         | 3,4               |
| Grava-arenosa   | 11,2                     | 3,0          | 19,0         | 4,5               |
| Margas          | 20,0                     | 7,0          | 25,0         | 3,7               |
| Nivel freático* | 6,0                      | 2,0          | 11,1         | 1,8               |

\* Valores afectados por la época del año.

### 2.2. Estrato de rellenos antrópicos

Es el estrato más superficial. La naturaleza de estos rellenos es muy variable, pues se encuentran tanto materiales naturales como raíces mezcladas con escombros provenientes de construcciones y vertederos. En los distritos Casco Antiguo y Triana, estos rellenos suelen ser marrones y con aspecto limoso, y es habitual que contengan restos cerámicos.

Según los estudios geotécnicos recopilados, la capa de rellenos generalmente tiene un espesor comprendido entre los 0,3 m y los 6,2 m, con una media de 2,4 m. Las mayores potencias se encuentran en Chapina (centro del distrito Triana), en Tablada (sur de Los Remedios) y en los cauces naturales abandonados del arroyo Tagarete y del río Guadalquivir a su paso por el centro histórico, es decir, todas ellas zonas que han sufrido innumerables inundaciones a lo largo de la historia. Además de ser sectores con una mayor concentración de sedimentos de origen fluvial, son terrenos recrecidos artificialmente para salvaguardar las edificaciones de las crecidas del río.

### 2.3. Estrato de arcillas

Por debajo del estrato de rellenos antrópicos, se sitúa un estrato de arcillas marrones y rojizas.

De acuerdo con los estudios geotécnicos utilizados en esta investigación, la profundidad de techo media del estrato de arcillas es de 2,4 m, con valores



máximos de 6,2 m en Chapina (centro del distrito Triana) y en la Encarnación (distrito Casco Antiguo). Se ha de indicar que algunos de los estudios –aquellos que han situado el techo del estrato de arcillas por encima de los 3 m– han identificado en la capa superior de rellenos una cantidad importante de arcillas con restos antrópicos.

La potencia de este estrato es muy variable. De acuerdo con los estudios geotécnicos considerados, los espesores registrados oscilan entre los 0,4 m y los 12,3 m, con una media de 5,2 m. Las potencias mayores se encuentran fuera del centro histórico, en la Isla de la Cartuja (noroeste del distrito Triana), en Tablada (sur de Los Remedios), en avenida de La Palmera (distrito La Palmera-Bellavista) y en Bami (distrito Sur), y suelen estar situadas sobre estratos de gravas de potencia baja o media.

### Nivel freático

El nivel freático suele encontrarse en el estrato de arcillas, dado que la profundidad de techo media de la capa inmediatamente inferior (arena-limosa) es de 7,5 m. De acuerdo con los 75 estudios que reportaron el nivel freático, su profundidad media es de 6,0 m, la mínima es de 2,0 m, la máxima es de 11,1 m y la desviación típica es igual a 1,8 m. Dado que la profundidad del nivel freático puede verse alterada por la influencia de las mareas (en aquellas zonas situadas más cerca del cauce vivo) y por los cambios estacionales, es difícil indicar las zonas donde el nivel freático es más profundo o más somero. De acuerdo con los datos recabados, las mayores profundidades se sitúan al sur (fuera de la zona de estudio) y las menores, en La Alameda (distrito Casco Antiguo).

Finalmente, es importante indicar que, además de la presencia natural de agua en el subsuelo de Sevilla, también es posible identificar niveles freáticos colgados que se han originado por roturas de redes de abastecimiento de agua o saneamiento (COAS y FIDAS 2005). Estos se sitúan por encima del nivel freático natural mencionado en el párrafo anterior y pueden dar lugar a errores a la hora de determinar la profundidad del nivel freático. De hecho, se han identificado dos estudios geotécnicos en los que la misma no alcanzaba los 2,0 m. En la memoria de dichos estudios se atribuye la inusual superficialidad del nivel freático a pérdidas de saneamiento acumuladas en los rellenos. Ante la incertidumbre, no se han utilizado estos valores en los cálculos estadísticos ni en la elaboración de mapas.

El estrato de arcillas puede experimentar cambios volumétricos si se observan arcillas con potencial expansivo y se producen cambios de humedad. Estos cambios de humedad se deben principalmente a las variaciones de la profundidad del nivel freático y del régimen hídrico de precipitaciones.

Aunque el potencial expansivo del estrato de arcillas es objeto de discusión en el capítulo 5 (ver tabla 5.2), en este apartado se nombra por su relevancia a la hora de diseñar una cimentación. La mitad de los estudios consultados aportaban estudios experimentales para valorar la expansividad del estrato de arcillas. De acuerdo con los datos disponibles, el estrato de arcillas en Sevilla presenta un grado de expansividad media en términos generales. Los mayores niveles de expansividad (superiores a  $1,2 \text{ kp/cm}^2$ ) se han encontrado en el barrio de Bami (distrito Sur) y en San Pablo (cuenca del Tamarguillo), mientras que los valores más bajos se han ubicado en la Isla de La Cartuja (al norte del distrito Triana), en los barrios de San Lorenzo y de San Vicente (noroeste del distrito Casco Antiguo) y en el barrio de El Porvenir (distrito Sur).

### 2.4. Estrato de arena-limosa

Por debajo del estrato de arcillas, se sitúa un estrato caracterizado por una gran presencia de arenas de grano medio a fino y depósitos de limos arenosos. Las acumulaciones de limos suelen originarse por la pérdida de potencia de arrastre del río causada por los cambios de dirección del cauce en Sevilla. También se observan arcillas marrones y rojizas.

De acuerdo con los estudios geotécnicos utilizados en esta investigación, la profundidad de techo media de este estrato es de 7,5 m, y varía entre 2,0 y 13,7 m. El valor mínimo pertenece a un estrato identificado como antrópico, con gravas y restos cerámicos, mientras que el valor máximo presenta arenas limosas y limos arenosos a techo y con gravilla a muro.

Además, el espesor medio del estrato de arenas y limos es 4,6 m. Los espesores menores son cercanos a los 0,6 m y se han registrado principalmente en la zona de Nervión. Por el contrario, los espesores mayores (superiores a los 15 m) se han registrado en el casco antiguo de Triana (al este del distrito de Triana), en parcelas donde no se identificó un estrato superior de arcillas.

## 2.5. Estrato de grava-arenosa

Por debajo del estrato de arena-limosa se asienta un estrato de gravas de matriz areno-arcillosa. Este estrato corresponde a la terraza media del Cuaternario.

De acuerdo con los estudios geotécnicos utilizados en esta investigación, el techo del estrato de grava-arenosa se sitúa a una profundidad muy variable, desde los 3 m hasta los 19 m, con un valor medio de 11,2 m.

Los valores mínimos de profundidad de techo (3-4 m) pertenecen a estudios donde no se identifican alguno de los dos estratos inmediatamente superiores (arcillas o arenas). En estos casos, la capa de gravas suele tener una potencia notable, con profundidades de muro superiores a los 15 m, y donde el tamaño de la grava y su resistencia aumentan con la profundidad.

Los valores máximos de profundidad de techo (18-19 m) pertenecen a estudios que identificaron un estrato superior de arena-limosa muy potente, con importantes cantidades de gravilla a muro.

Este estrato tiene un espesor medio de 6,6 m, con valores máximos (cercaños a 13 m) en la zona noroeste y sureste, mientras que sus valores mínimos se han registrado en las proximidades del río.

## 2.6. Estrato de margas

El estrato de margas es del Mioceno superior. Se trata de margas arcillosas o carbonatadas de color azul grisáceo cuando están húmedas, pero que pueden presentar una tonalidad diferente dependiendo de la cantidad de impregnaciones de hidróxidos de hierro que contengan. Además, pueden contener finas láminas de yeso. Ocasionalmente, se identifica una formación de alternancias de margas arenosas pardo-amarillentas suprayacentes a las margas azules.

De acuerdo con los ensayos geotécnicos analizados, la profundidad de techo media del estrato de margas en el núcleo urbano de Sevilla es de 20 m; se sitúa a una profundidad de 7 m en la zona norte y este de la ciudad y alcanza puntualmente los 25 m en el sector centro y sur. Cabe destacar que, a nivel provincial, se han registrado estratos de margas azules con espesores superiores a los 900 m (IGME 1984) y de hasta 40 m en las capas de alternancias (IGME 1975). En consecuencia, a efectos de cimentaciones, la potencia del estrato de margas se considera indefinida.

## Referencias

- Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla y Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura de Sevilla (2005): *Protocolo de Inspección Técnica de Edificaciones - Anejo 1.2. Mapa Geotécnico Básico de la Ciudad de Sevilla*. Sevilla.
- Instituto Geológico y Minero de España (1975): *Mapa Geológico de España. Hoja 984 y Memoria «Sevilla». Serie MAGNA a escala 1:50 000*. Madrid.
- Instituto Geológico y Minero de España (1984): *Cartografía Geotécnica y Memoria «Mapa Geotécnico para la Ordenación Territorial y Urbana de Sevilla», escala 1:25 000*. Madrid: Ministerio de Industria y Energía, Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia.
- Vázquez-Boza, Manuel, Percy Durand Neyra, Antonio Morales-Esteban y José Luis de Justo Alpañés (2015): *La marga azul del Guadalquivir: naturaleza y caracterización*. Madrid: CIE Inversiones Editoriales DOSSAT 2000.