



Universidad de Oviedo

# **ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL SUBSUELO URBANO DE LA CIUDAD DE SANTANDER**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**MÁSTER EN RECURSOS GEOLÓGICOS E INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**GUILLERMO GARCÍA HERRERA**

**JULIO 2013**

D. Guillermo García Herrera, autor del Trabajo Fin de Máster titulado “ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL SUBSUELO URBANO DE LA CIUDAD DE SANTANDER” certifica que constituye un trabajo original y solicita su presentación.

En Oviedo, a 10 de julio de 2013



Fdo. Guillermo García Herrera

D. Carlos López Fernández, Profesor Titular del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, certifica que ha dirigido y revisado el Trabajo Fin de Máster titulado: “ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL SUBSUELO URBANO DE LA CIUDAD DE SANTANDER”, realizado por D. Guillermo García Herrera, y autoriza su presentación.

En Oviedo, a 10 de julio de 2013



Fdo. Carlos López Fernández

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....                       | 4  |
| 2. METODOLOGÍA.....                                    | 6  |
| Recopilación de información.....                       | 6  |
| Integración y reinterpretación de la información ..... | 7  |
| 3. CONTEXTO GEOGRÁFICO .....                           | 8  |
| Características climáticas .....                       | 10 |
| Demografía.....  | 11 |
| 4. CONTEXTO GEOLÓGICO .....                            | 13 |
| Estratigrafía .....                                    | 14 |
| Tectónica .....  | 25 |
| Contexto hidrogeológico .....                          | 28 |
| 5. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES.....  | 31 |
| SUELOS.....  | 31 |
| SUSTRATO ROCOSO .....                                  | 45 |
| 6. CONCLUSIONES.....                                   | 49 |
| 7. REFERENCIAS .....                                   | 51 |
| 8. AGRADECIMIENTOS.....                                | 52 |

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La presente memoria constituye el Trabajo Fin de Máster del *Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica* de la Universidad de Oviedo, que aborda el estudio geológico-geotécnico del subsuelo urbano de la ciudad de Santander.

La ciudad de Santander, capital de la comunidad de Cantabria, es una urbe costera con una singular importancia estratégica desde un punto de vista económico e industrial. Cuenta en la actualidad con una población de 178.465 habitantes (INE, 2012), siendo una de las ciudades más importantes del norte de España.

Esta capital, cuya historia se remonta a la época romana, creció de forma importante al convertirse desde la época medieval en la principal salida al mar Cantábrico de la actual comunidad de Castilla y León. De esta forma, la ciudad comienza a desarrollarse en torno al puerto primigenio. A partir de esta zona se realiza, ya en el siglo XIX, un ensanche que configuraría el frente marítimo de la ciudad. Su crecimiento hacia el Norte fue más lento y se produjo principalmente a mediados del siglo XX con la industrialización de la provincia y la necesidad de habilitar viviendas para el personal de las fábricas situadas en la zona portuaria.

El objetivo genérico de este trabajo es la realización de un estudio geológico-geotécnico de detalle del subsuelo urbano de la ciudad, labor no llevada a cabo hasta la actualidad. Para ello, se ha procedido a recopilar un enorme volumen de información previa, a partir del cual se ha elaborado un nuevo mapa geotécnico de la ciudad; para ello se han identificado y caracterizado las principales unidades geotécnicas que constituyen su subsuelo.

Toda la información generada se ha implementado en un sistema de información geográfica, lo que -además de permitir su continua actualización- permitirá su empleo y análisis para cualquier tipo de obra a desarrollar en la ciudad.

Como objetivos más concretos de este trabajo se pueden señalar los siguientes:

- Diseño de una base de datos geológico-geotécnicos que permita integrar toda la información disponible sobre la ciudad.
- Identificación de las unidades geotécnicas que constituyen el subsuelo urbano de la ciudad, prestando especial atención a las formaciones superficiales.

- Elaboración de una cartografía geotécnica de la ciudad a escala 1/5.000. Definición de las características geológicas y geotécnicas de las diferentes unidades identificadas.
- Identificación del comportamiento como nivel de cimentación de las distintas unidades geotécnicas.

## 2. METODOLOGÍA

### Recopilación de información

Para la realización de este trabajo se ha recopilado cuantiosa información de las empresas y consultorías de geología y geotecnia, cuyo ámbito de trabajo es la ciudad de Santander. La mayor parte de la misma ha sido aportada por la empresa TRIAX, S.A., mientras que otra parte importante ha sido facilitada por organismos públicos.

La información se puede agrupar en tres tipos principales en función de su naturaleza:

- Estudios de prospección del terreno: sondeos, calicatas, etc.
- Ensayos geotécnicos *in situ*: pruebas penetrométricas, etc.
- Ensayos de laboratorio: de identificación y mecánicos.

En total, han sido recopilados más de 30 informes geotécnicos, 77 sondeos, 74 calicatas y 42 pruebas penetrométricas.

Asimismo, se ha contado con información aportada por el Instituto Geológico y Minero de España, que ha facilitado su nueva cartografía a escala 1:25.000, pendiente de publicación.

Toda esta información ha sido integrada en una base de datos, diseñada al objeto, mediante un sistema de información geográfica, lo que permite su gestión, análisis y actualización. Para ello se empleó el software ArcGIS 9.3 (ESRI).

El primer paso para el desarrollo de la base de datos ha sido la creación de una *geodatabase* que albergara toda la información vectorial, ráster y numérica. Dentro de ésta se implementaron, consiguientemente, diferentes capas de información (*feature class*):

- *Feature class* vectorial de tipo punto: “Calicatas”, “Sondeos” y “Penetrómetros”.
- *Feature class* vectorial de tipo polilínea: base topográfica a escala original 1/5.000, contactos geológicos a escala 1/25.000 y 1/5.000
- *Feature class* vectorial de tipo polígono: recintos geológicos a escala 1/25.000 y 1/5.000
- Ráster dataset: ortofotografías a escala original 1/5.000.

La información auxiliar relativa a los estudios de prospección del terreno, etc. se implementó en diferentes tablas auxiliares dentro de la *Geodatabase* principal, que incluían campos comunes de correlación con las capas vectoriales. En total se diseñaron tres tablas con la misma denominación en la que se introdujo la referencia del informe, número de reconocimiento, profundidad del reconocimiento, tramo identificado y cota del tramo. Para poder realizar consultas de forma más precisa, se incorporó asimismo un código para cada reconocimiento así como una breve identificación geográfica. A modo de ejemplo, en la Figura 2-1 se muestra la estructura de la tabla auxiliar que contiene la información relativa a las calicatas con diferentes campos: profundidad, material, etc.

| Referencia | Profundidad | De          | hasta | Material   |
|------------|-------------|-------------|-------|--|
| C001       | 4.30        | 0.00 - 1.10 |       | arenas de tamaño de grano fino-medio que engloban restos de ladrillería y color marrón amarillento   |
| C001       | 4.30        | 1.10 - 1.60 |       | Escorias de color negruzco con partículas metálicas  |
| C001       | 4.30        | 1.60 - 1.80 |       | Arenas de tamaño de grano medio y color beige  |
| C001       | 4.30        | 1.80 - 2.10 |       | Tierra vegetal   |
| C001       | 4.30        | 2.10 - 3.80 |       | Arenas micaceas húmedas tamaño de grano fino-medio color marrón amarillento y gravillas silíceas     |
| C001       | 4.30        | 3.80 - 4.00 |       | Arcillas grises con bastante arena, nodulos arenosos silíceos marrón amarillento y restos carbonosos |
| C001       | 4.30        | 4.00 - 4.30 |       | Margas de color gris y grado de alteración II  |
| C002       | 5.50        | 0.00 - 1.90 |       | Arenas fino color marrón amarillento abundantes restos demolición, plásticos y bloques carbonat.     |
| C002       | 5.50        | 1.90 - 3.90 |       | Arcillas con indicios-algo de arenas color gris, restos carbonosos y ladrillería.                    |
| C002       | 5.50        | 3.90 - 4.30 |       | Tierra vegetal con restos de juncos y troncos  |
| C002       | 5.50        | 4.30 - 4.70 |       | Arenas arcillosas micaceas de grano fino - medio y color marrón amarillento                          |
| C002       | 5.50        | 4.70 - 5.00 |       | Arcillas de color marrón rojizo y gris.  |
| C002       | 5.50        | 5.00 - 5.50 |       | Arenas micaceas de color marrón amarillento con gravas de margas                                     |
| C003       | 2.90        | 0.00 - 0.40 |       | Gravas y gravillas carbonatadas y restos de demolición en una matriz arenosa color beige             |
| C003       | 2.90        | 0.40 - 0.70 |       | Tierra vegetal   |
| C003       | 2.90        | 0.70 - 1.30 |       | Arcillas arenosas de tamaño de grano fino y color marrón amarillento con nodulos de color gris       |
| C003       | 2.90        | 1.30 - 2.20 |       | Arcillas con indicios de arena de color marrón amarillento y gris                                    |
| C003       | 2.90        | 2.20 - 2.90 |       | Caliza arenosa de color gris y techo irregular   |
| C004       | 2.90        | 0.00 - 0.30 |       | Tierra vegetal   |
| C004       | 2.90        | 0.30 - 2.60 |       | Arcillas de color marrón amarillento y gris que en profundidad pasan a tonos grises                  |
| C004       | 2.90        | 2.60 - 3.40 |       | Margas arenosas de color gris y grado de alteración II   |
| C005       | 3.20        | 0.00 - 0.40 |       | Gravas y gravillas de naturaleza carbonatada y restos de demolición en una matriz arenosa beige      |
| C005       | 3.20        | 0.40 - 2.20 |       | Tierra vegetal que engloba restos de demolición  |
| C005       | 3.20        | 2.20 - 2.90 |       | Arcillas con indicios de arena de color gris y marrón amarillento                                    |
| C005       | 3.20        | 2.90 - 3.20 |       | Margas arenosas de color gris y grado de alteración II con pátinas negruzcas de oxidación            |
| C006       | 3.00        | 0.00 - 0.40 |       | Gravas y gravillas carbonatadas y restos d demolición en una matriz arenosa de color beige           |
| C006       | 3.00        | 0.40 - 1.80 |       | Arcillas con indicios de arena grano fino y color marrón rojizo que engloba gravillas argilicas      |

Figura 2-1. Ejemplo de tabla de datos obtenidos en calicatas, donde se pueden apreciar los campos considerados.

## Integración y reinterpretación de la información

Una vez se incorporó a la base de datos toda la información disponible se procedió a analizar la distribución de materiales y estructuras, realizando las correcciones oportunas en su caso. Con toda la información se generó una nueva cartografía geológica con una escala original 1/5.000. En el programa esto se llevó a cabo mediante la generación de sendas capas vectoriales de tipo polilínea y polígono.

Finalizada la cartografía geológica, tras el trabajo de campo y de gabinete, se elaboraron diferentes cortes geológicos representativos de la distribución de los materiales en el subsuelo urbano.

### 3. CONTEXTO GEOGRÁFICO

La ciudad de Santander (Fig. 3-1) se ubica en el sector costero central de la Comunidad autónoma de Cantabria. Se asienta sobre una pequeña península bañada por el mar al norte, este y sur de la ciudad (Fig. 3-2). Destaca en su geografía la existencia de una gran bahía, que actualmente alberga las instalaciones portuarias y una intensa actividad marítima.



**Figura 3-1. Situación geográfica de la zona estudiada. Tomado de IBERPIX (IGN)**

El relieve de Santander se caracteriza por la existencia de elevaciones no muy acusadas y depresiones que se disponen paralelas entre sí, con una orientación preferente noreste-suroeste. Ésta, como se detallará más adelante, está motivada por la alternancia de materiales de distinta competencia que generan una erosión diferencial. La mayor cota del municipio se encuentra en el Monte de Peñacastillo (Fig. 3-2), constituido por calizas karstificadas, con una elevación de 139 m. En la propia ciudad de Santander destaca la elevación de Somorrostro, propiciada por la presencia de calizas y areniscas, o el Paseo del General Dávila, ubicado sobre una serie formada por areniscas, limolitas y lutitas carbonosas. La zona deprimida de mayor importancia es la Vaguada de las Llamas, situada sobre terrenos margosos.

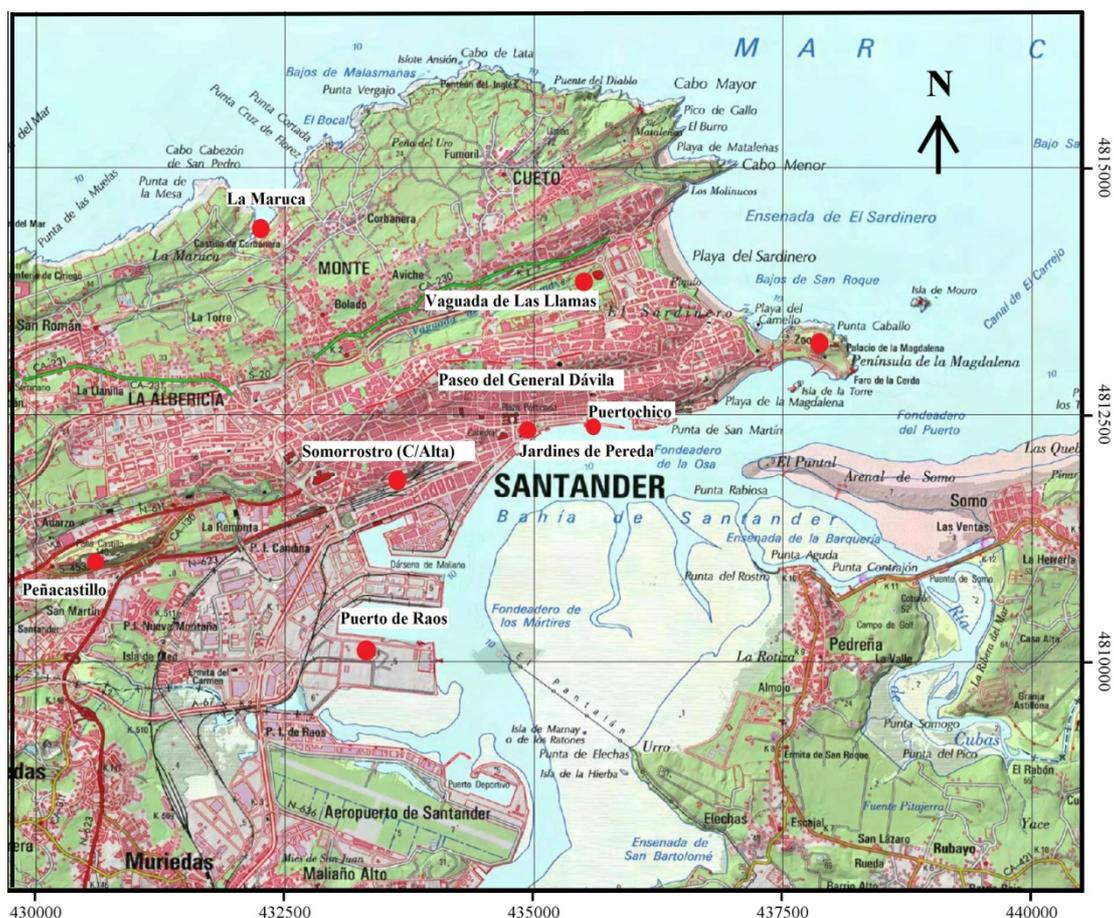


Figura 3-2. Mapa topográfico de la ciudad de Santander y sus alrededores. Modificado de IBERPIX (I.G.N.).

Hacia el Norte, la Península de Santander presenta una pendiente muy suave (no superior a  $5^\circ$ ), topografía correspondiente con toda probabilidad a una antigua plataforma de abrasión (Ayuntamiento de Santander, 2012). Hacia el Este se encuentra una alternancia de cabos y ensenadas, resultado, al igual que el resto del relieve, de la alternancia de diferentes materiales con diversa resistencia.

Desde el Paseo del General Dávila hacia el Sur se suceden una serie de pendientes de inclinación considerable, con pendiente general hacia el Sur, muy representativas de la ciudad. Estas pendientes se encuentran de forma mayoritaria atravesadas por una serie de cursos torrenciales, con dirección norte-sur que se encuentran, en la actualidad, canalizados.

Algo más al Sur, en contacto con la bahía, se encuentra una zona de relieve prácticamente horizontal constituido por las zonas ganadas al mar a partir del siglo XIX (Puerto de Raos, Jardines de Pereda, Puertochico, etc., Fig. 3-2).

La hidrografía de la ciudad está caracterizada por la presencia de diversos cursos fluviales, en su mayor parte de funcionamiento estacional. En la actualidad se encuentran mayoritariamente encauzados, permaneciendo tres con circulación al aire libre.

El primero y de mayor envergadura es la Vaguada de las Llamas (Fig. 3-2), una zona de naturaleza pantanosa que actualmente se encuentra en proceso de recuperación. En esta vaguada se concentran materiales de tipo turba y sedimentos fangosos.

El segundo curso, de funcionamiento estacional, se localiza al norte de Santander, en La Maruca y se denomina Arroyo Somonte-La Tejona, en su proximidad al mar pasa a denominarse Ría de San Pedro, que en su parte final forma la playa de La Maruca (Fig. 3-2).

El tercer curso, importante por sus depósitos de marisma, es la Ría de Raos (Fig. 3-2). En torno a ella se localizan numerosas empresas que se han instalado en la zona, que ha propiciado su intensa contaminación.

### **Características climáticas**

El clima de Santander es de tipo oceánico, caracterizado por temperaturas suaves durante todo el año, con inviernos suaves y veranos frescos. La humedad del aire es muy elevada, y las precipitaciones se reparten a lo largo de todo el año (Fig. 3-3).

La temperatura media a lo largo del año es de 14,5°C, siendo la media de las máximas 17°C y la media de las mínimas 12,1°C (Fig. 3-3). El intervalo de temperatura es bastante constante a lo largo del año como consecuencia de la influencia marítima, si bien es algo mayor en los primeros meses del mismo.

Las menores precipitaciones se producen en el mes de julio, siendo el mes más lluvioso noviembre. La componente principal del viento es ONO alcanzando rachas máximas superiores a 160 km/h. Estos vientos son húmedos y suelen estar acompañado de precipitaciones más o menos intensas (AEMET, 2012).

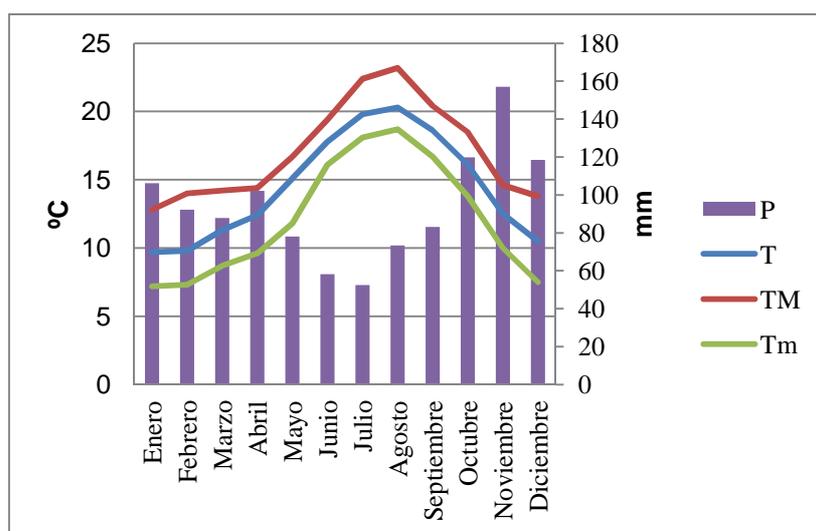


Figura 3-3. Evolución de las precipitaciones y temperaturas (máximas, medias y mínimas) a lo largo del año.

### Demografía

La población de la ciudad, a fecha de enero del 2012, es de 178.465 habitantes (Figura 3-4). El continuo descenso de la población se debe a dos factores fundamentales; por un lado la desindustrialización de Santander desde mediados de los años 80, que provocó un éxodo a zonas con mayor capacidad industrial; por otro lado la migración de parte de la población a zonas rurales cercanas al núcleo urbano, económicamente menos exigentes.

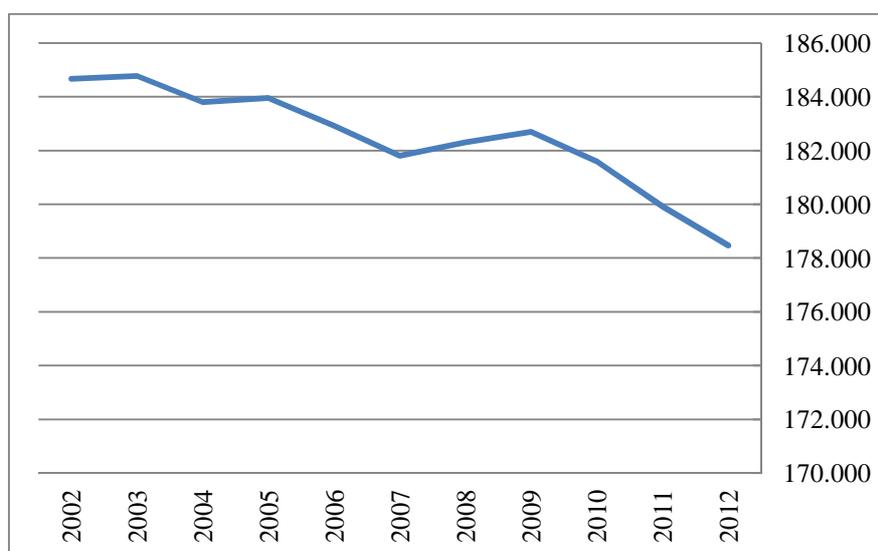


Figura 3-4. Evolución de la población en el periodo 2002-12

Dicha población se distribuye de forma desigual entre hombres y mujeres, los primeros suman un total de 82.608 personas mientras que las mujeres son, en total, 96.051, existiendo un 7,5% más de mujeres que de hombres.

Se trata de una sociedad envejecida en la que 31.166 personas son menores de 15 años y 38.342 mayores de 65 años (Ayuntamiento de Santander, 2012).

La población asentada en el municipio se distribuye de forma irregular, diferenciándose en dos zonas principales (Fig. 3-5). La primera, correspondiente a un suelo urbanizado casi en su totalidad, que linda al sur con la Bahía de Santander y al norte con la Vaguada de las Llamas; este límite norte se prolonga en determinadas ocasiones a una zona algo más septentrional como sucede en el caso de los barrios de Monte, La Pereda, Cueto y, sobre todo, Valdenoja. La segunda zona se encuentra al norte de la anterior y se trata de viviendas unifamiliares, algunos edificios inferiores a 5 plantas y especialmente espacios de uso agrícola y ganadero.



**Figura 3-5. Ortofotografía de la ciudad de Santander, donde se aprecia el diferente grado de urbanización de la misma.**

#### 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

Santander se ubica, desde un punto de vista geológico, dentro de la Cuenca Vasco-Cantábrica. Ésta se puede dividir en tres zonas (Fig. 4-1): la Plataforma Norcastellana (Floquet y Mathey, 1984), también denominada Plataforma Burgalesa por Serrano y Martínez del Olmo (1990), el Arco Vasco, definido por Feuillée y Rat 1971 y posteriormente modificado por Serrano y Martínez del Olmo, 1990, y el Surco Navarro-Cántabro (Barnolas y Pujalte, 2004), en el que se encuentra la zona de estudio.

El denominado “Surco Navarro-Cántabro” está delimitado por dos sistemas de fallas, el sistema de Bilbao-Alsasua por la zona este y un sistema de cabalgamientos frontales sobre la Cuenca del Ebro (Fig. 4-1), que se corresponden con las Sierras de Cantabria y Tesla (Barnola y Pujalte, 2004).

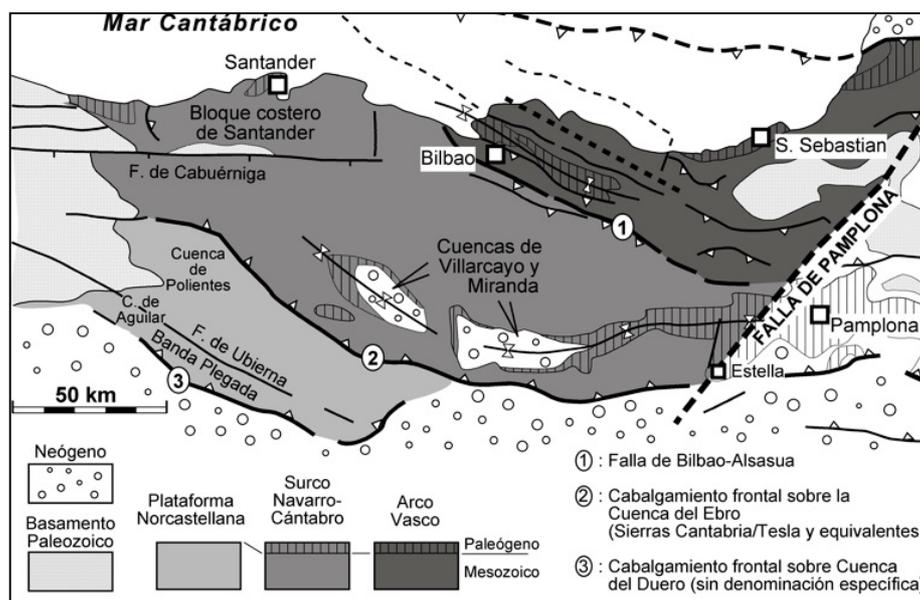
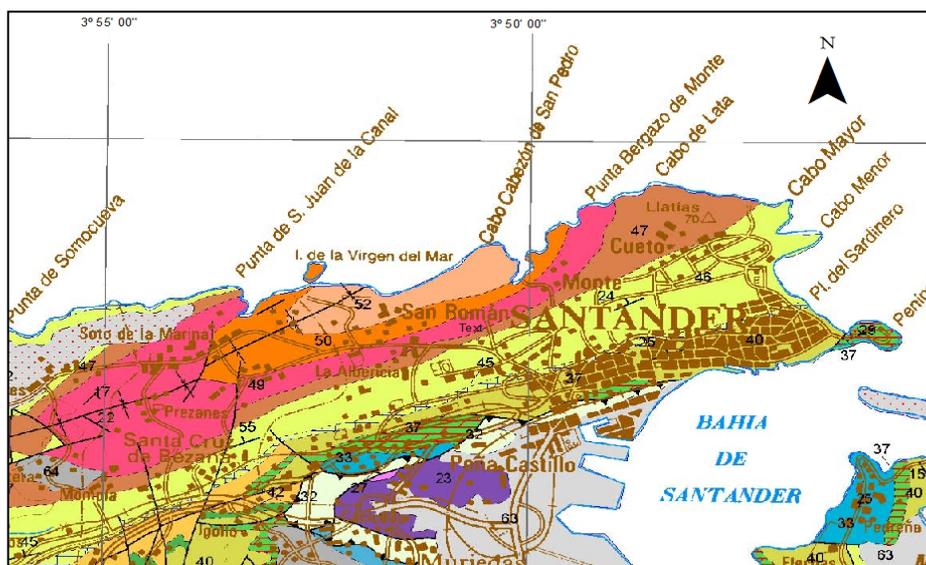


Figura 4-1. Esquema geológico de la cuenca Vasco-Cantábrica. Tomado de Vera et al. (2004).

Este surco se caracteriza por una fuerte subsidencia en la cual no se llegó a alcanzar las condiciones marinas profundas debido a una abundante sedimentación (Quesada y Robles, 1995). Dentro de esta zona se pueden diferenciar, a su vez, dos dominios de subsidencia diferenciados. El límite entre ambos lo marca la falla de Cabuerniga, que delimita al norte un dominio con una subsidencia mucho menor denominado Bloque Costero Santanderino. Debido a la actividad de la

falla de Cabuérniga la sucesión Cretácica de la zona es de unos cientos de metros, mientras que al sur de dicha falla la sucesión alcanza potencias de varios miles de metros (Barnola y Pujalte, 2004).

De forma local, el término municipal de Santander se encuentra en el flanco sur del sinclinal de San Román. Esta estructura forma parte de una mayor, denominada sinclinal de Santillana-San Román (Fig. 4-2).



**Figura 4-2. Mapa geológico donde se puede apreciar el sinclinal de Santillana-San Román. (Modificado de Robador et al., 1989)**

Al sur del sinclinal anteriormente mencionado se encuentra un cabalgamiento que pone en contacto materiales del Triásico con materiales del Cretácico Inferior; en adelante se denominará a dicha estructura “Cabalgamiento de la Calle Alta”.

## Estratigrafía

En el sinclinal de San Román (Fig. 4-2 y 4-3) aparecen materiales desde el Cretácico hasta el Paleógeno, sobreponiéndose en la mayoría de ellos materiales del Cuaternario (Fig. 4-4). Además, en la zona estudiada, aparecen materiales Triásicos, en facies Keuper, escasamente aflorantes.

En la figura 4-3 se presenta el nuevo mapa geológico-geotécnico de Santander a escala original 1/5.000 describiendo, a continuación, los materiales del área estudiada.

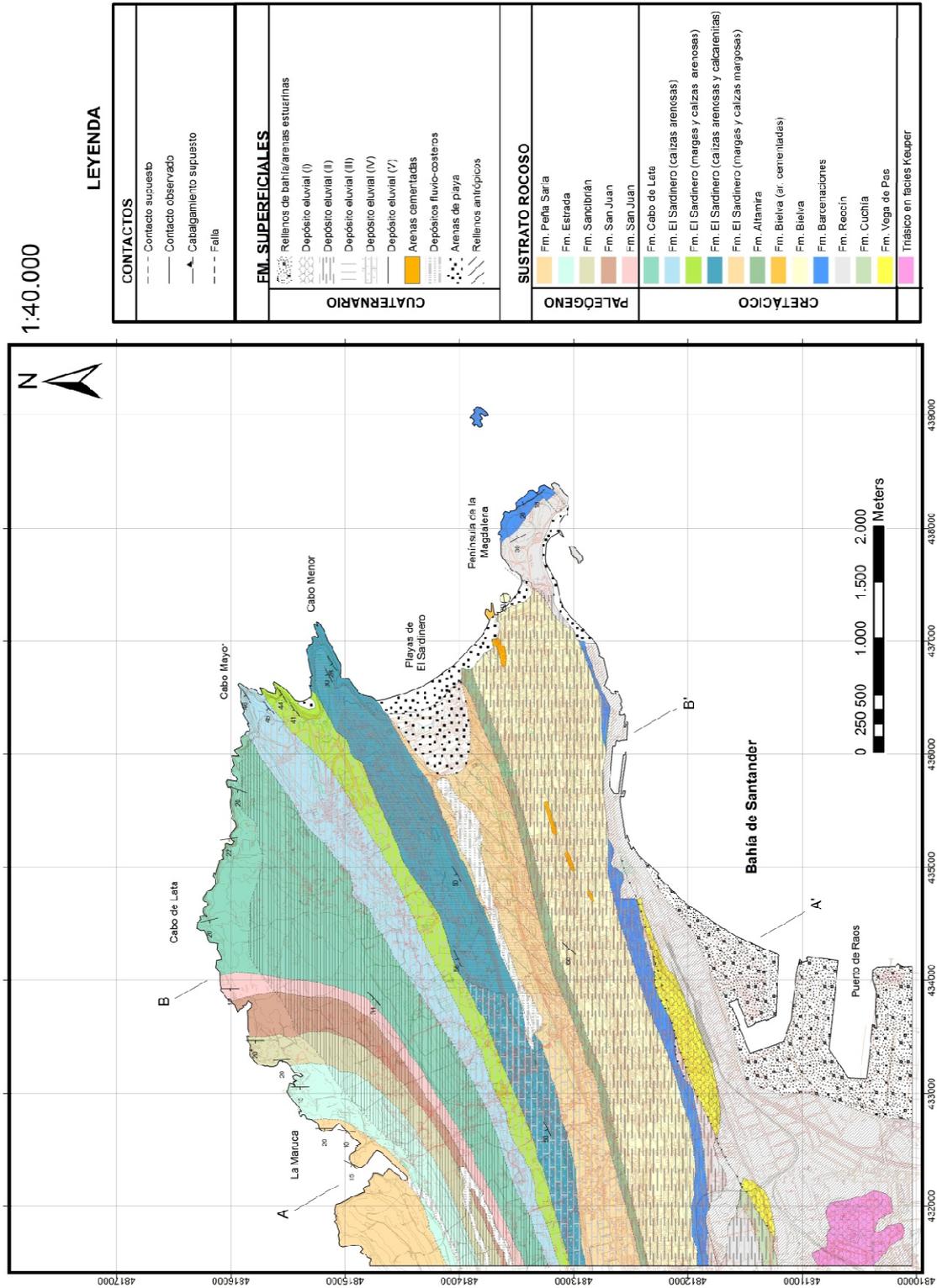


Figura 4-3. Cartografía geológica-geotécnica de Santander

Debido a la intensa urbanización de la zona sur y al escaso afloramiento en la zona norte, la serie estratigráfica ha sido descrita a partir de datos observados en los acantilados de la serie La Magdalena-Cabo Mayor y la zona desde Cabo Mayor a La Maruca (Fig. 3-3). Estos datos han sido contrastados con la información aportada por los estudios de prospección del terreno.

|              |           |           |                |                           |  |                      |                      |
|--------------|-----------|-----------|----------------|---------------------------|--|----------------------|----------------------|
| CUATERNARIO  |           |           |                | Rellenos antrópicos       |  |                      |                      |
|              |           |           |                | Fangos y depósitos de ría |  |                      |                      |
|              |           |           |                | Depósitos eluviales       |  |                      |                      |
|              |           |           |                | Arenas de playa           |  |                      |                      |
| TERCIARIO    | PALEOGENO | EOCENO    | INFERIOR       | CUISIENSE                 |  | Formación Peña Saría |                      |
|              |           |           |                | ILERDIENSE                |  | Formación Estrada    |                      |
|              |           | PALEOCENO |                |                           | THANETIENSE  |                      | Formación Sancibrián |
|              |           |           |                |                           | DANTENSE   |                      | Formación San Juan   |
| CRETÁCICO    |           | SUPERIOR  | MAATRICHTIENSE |                           | Formación Cabo de Lata                               |                      |                      |
|              |           |           | CAMPANIENSE    | SUPERIOR                  | Formación El Sardinero                               |                      |                      |
|              |           |           |                | MEDIO                     |  |                      |                      |
|              |           |           |                | INFERIOR                  |  |                      |                      |
|              |           |           | SANTONIENSE    |                           | Formación Altamira                                   |                      |                      |
|              |           |           | CONIACIONSE    |                           |  |                      |                      |
|              |           |           | TURONIENSE     |                           |  |                      |                      |
|              |           |           | CENOMANIENSE   | SUPERIOR                  | Formación Bielva                                     |                      |                      |
|              |           |           |                | MEDIO                     |  |                      |                      |
|              |           |           |                | INFERIOR                  |  |                      |                      |
|              |           | ALBIENSE  |                | Formación Barcenaciones   |  |                      |                      |
|              |           | INFERIOR  | APTIENSE       | CLANSAYENSE               | Formación Reocín                                     |                      |                      |
|              |           |           |                | CARGASIENSE               | Formación Cuchía                                     |                      |                      |
|              |           |           | BARREMIENSE    |                           | Formación Vega de Pas                                |                      |                      |
| HAUTERVIENSE |           |           |                |                           |  |                      |                      |
| TRIÁSICO     |           |           | SUPERIOR       |                           | Arcillas abigarradas, yesos y sales en facies Keuper |                      |                      |

Figura 4-4. Síntesis de los materiales presentes en la zona de estudio.

## TRIÁSICO

Los materiales triásicos situados en el entorno de la ciudad de Santander se encuentran representados principalmente por arcillas abigarradas, yesos y sales en facies Keuper. Se encuentran en su mayoría bajo la bahía y recubiertos por materiales cuaternarios.

Se trata de intrusiones diapíricas que, en ocasiones aparecen junto bloques de calizas y dolomías de modo caótico, haciendo muy complicada la diferenciación de la roca triásica (Ramírez et al., 1976). Estas intrusiones aprovechan zonas de debilidad para ascender y ocasionan una fracturación en su entorno de diversa magnitud. En el caso de Santander provoca la existencia del Cabalgamiento de la Calle Alta, estructura que pone en contacto materiales del Cretácico más inferior (Hauteriviense-Barremiense) con materiales del Aptiense más joven-Albiense.

Al tratarse de una masa diapírica totalmente removilizada no es posible asignar una potencia real a la unidad.

## CRETÁCICO

### CRETÁCICO INFERIOR

#### *Formación Vega de Pas*

Está constituida por lutitas, lutitas argilíticas y limolitas micáceas de color rojo, gris u ocre en facies Weld. En algunos puntos se puede presentar como bandas de areniscas ferruginosas en estratos de potencia decimétrica o con aspecto brechoide. Se encuentra altamente deformada y fracturada al encontrarse en las proximidades del citado cabalgamiento.

La parte inferior de la serie (edad Hauteriviense-Barremiense) suele faltar, situándose en contacto mecánico debido al carácter diapírico de los materiales triásicos anteriormente citados. Debido al carácter mayoritariamente azoico de esta formación se ha datado por su posición estratigráfica en la serie (Ramírez et al., 1976).

### *Formación Cuchía y Miembro Inferior de la formación Reocín*

Se trata de calcarenitas masivas, lutitas, limolitas, areniscas, calizas y margas de colores muy variados. Estas dos formaciones aparecen de forma puntual al oeste de la zona estudiada, al sur de Peñacastillo, y son de edad Aptiense.

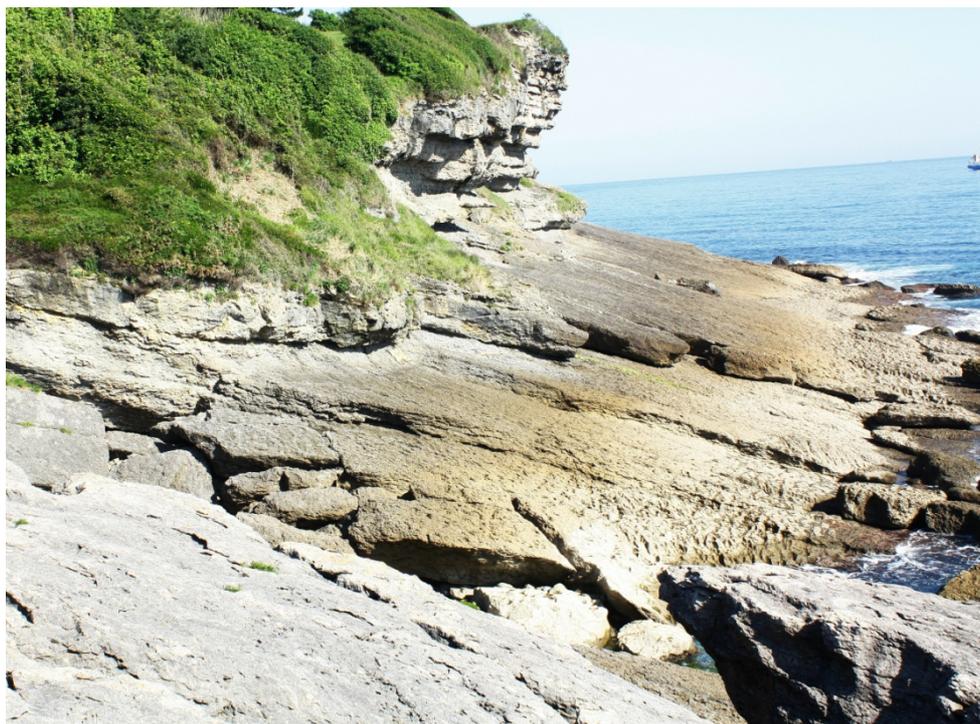
En su mayor parte se encuentran recubiertas por sedimentos de marisma cuaternarios procedentes de la bahía. El miembro inferior de la Formación Reocín se encuentra en contacto con el cabalgamiento de la Calle Alta. Es muy probable que en los alrededores de este contacto la roca se encuentre altamente fracturada y deformada, como ha observado en otros casos.

### *Miembro Superior de la formación Reocín*

Constituido por calizas con miliólidos y rudistas del Aptiense Superior (Ramírez et al., 1976), que en algunos puntos puede aparecer parcialmente dolomitizadas. Aparece de manera intermitente en contacto con el cabalgamiento de la Calle Alta, siendo a veces omitido por éste. Hacia el Este aflora en la Península de la Magdalena, constituyendo la mayor parte de la misma. En ella alcanza buzamientos de 55°.

### *Formación Barcenaciones*

Está constituida por calcarenitas masivas con glauconita, calizas y areniscas. Esta formación se extiende de OSO a ENE por toda la ciudad, quedando en algunos puntos bajo los materiales cuaternarios de la bahía, descritos más adelante. En otros puntos estas litologías se encuentran cortadas por el cabalgamiento de la Calle Alta. Aparece de nuevo, pero con diferente dirección, en la Península de la Magdalena (Fig. 4-5), en contacto normal con la Formación Reocín y en contacto mecánico con la formación Bielva. Esta formación es de edad Albiense y presenta una potencia máxima de 100 m.



**Figura 4-5. Calizas y margas de la formación Barcenaciones en la Península de la Magdalena.**

## CRETÁCICO SUPERIOR

### *Formación Bielva*

Está compuesta por materiales desde calcáreos a totalmente terrígenos entre los que se incluye areniscas, limolitas, lutitas carbonosas con pirita, alguna capa de caliza y bancos calcareníticos (Fig. 4-6). Todo ello presenta abundante fauna y en determinadas zonas pequeñas cantidades de micas. Suele presentar abundante restos vegetales (Fig. 4-7) y cantos blandos. Las bandas más areniscosas pueden presentar estratificación en surco y de tipo flasher (Ramírez et al., 1976).

Esta formación comienza a depositarse a finales del Cretácico Inferior, pero su mayor potencia se alcanza en el Cretácico superior, concretamente en el Cenomaniense Inferior.



**Figura 4-6. Areniscas, calizas, margas y lutitas carbonosas de la formación Bielva en la playa del Camello.**



**Figura 4-7. Detalle de las areniscas con intercalaciones de lutitas carbonosas de la formación Bielva.**

### *Formación Altamira*

Se trata de la continuación hacia el este de la anterior formación, que en esta zona está compuesta por margas y calizas margosas, algo arenosas de color gris e indicios de karstificación, esto hace que su techo sea irregular, al igual que su potencia. Son similares a las de la Formación El Sardinero, si bien éstas han sido datadas como Cenomaniense Medio-Superior (Ramírez et al., 1976). En esta formación tiene una potencia aproximada de unos 50-70 m.

### *Formación El Sardinero*

Formación compuesta por margas hojosas, calizas karstificadas, calizas arenosas, calcarenitas y todos los términos intermedios, presentado un color gris. Hacia techo la serie se hace cada vez más carbonatada siendo menores los aportes terrígenos aunque nunca llegan a cesar.

Su edad abarca desde el Turoniense hasta el Campaniense Medio. Fácilmente datables por su fauna (Ramírez et al., 1976), se puede observar en la serie de acantilados desde los Jardines de Piquio a Cabo Mayor (Figs. 4-8 y 4-9). Presenta una potencia en torno a los 900 m.



**Figura 4-8.** Calizas y margas de la formación El Sardinero en la playa de Mataleñas.



**Figura 4-9.** Ídem Figura 4-7 junto al Hotel Chiqui.

### *Formación Cabo de Lata*

Aflora en el tramo Cabo Mayor-La Maruca (Fig. 4-10). Compuesta por calcarenitas arenosas y calizas arenosas con abundante microfauna son fácilmente datables, obteniéndose una edad Cenomaniense Superior-Maastrichtiense (Ramírez et al., 1976). Aunque esta formación ha sido

descrita con dos tramos en este informe no se tendrá en cuenta debido a la dificultad de separarlos en los sondeos geotécnicos. La potencia total de la formación es de unos 150 -160 m.

A partir de esta formación y a medida que ascendemos en la serie se puede observar el punto de inflexión del flanco sur del Sinclinal de San Román que dará lugar a la charnela, situada bajo el mar.



**Figura 4-10. Calizas y calizas arenosas de la formación Cabo de Lata.**

## PALEÓGENO

### *Formación San Juan*

La sucesión paleógena comienza con una serie de dolomías microcristalinas, que en algunos puntos puede ser pseudoolítica, de unos 55 m a la que se superpone una serie de calcarenitas y calcarenitas arenosas, laminadas y con abundantes algas Rodofíceas (Ramírez et al., 1976) de una potencia aproximada de 65 m.

### *Formación Sancibrían*

Está constituida por calizas con algas Rodofíceas y algún tramo más calcarenítico. Puede presentar en algunos puntos glauconita. De edad Thanetiense, esta formación tiene una potencia media de 70 m.

### *Formación Estrada*

Está constituida por calizas con Alveolinas y Nummulites arenosas en algunos puntos (Fig. 4-11) y con glauconita en otros (Ramírez et al., 1976). Estas calizas han sido interpretadas como depósitos de barras bioclásticas de aguas muy someras. Estas calizas pueden estar karstificadas, presentando oquedades y rellenos arcillosos en profundidad.

Datadas mediante la abundante fauna que presentan como Ilerdiense, presenta una potencia de unos 50 m



**Figura 4-11. Calizas arenosas de la formación Estrada.**

### *Formación Peña Saría.*

Se trata de calizas arenosas (Fig. 4-12 y 4-13), con un contenido en terrígenos muy variable, que mediante la datación del contenido faunístico han sido datadas como Cuisiense (Ramírez et al.,

1976). Estas calizas pueden presentar ocasionales nódulos de sílex. Presenta una potencia máxima visible de 150 m.



**Figura 4-12. Margas arenosas de la formación Peña Saría junto al Castillo de San Pedro.**



**Figura 4-13. Calizas margosas karstificadas en la formación Peña Saría junto al Castillo de San Pedro.**

#### FORMACIONES SUPERFICIALES

Los materiales cuaternarios de la zona de estudio pueden ser observados en escasos afloramientos, dado que en su mayoría se encuentran completamente revegetados, recubiertos por

rellenos antrópicos o urbanizados. Estos sedimentos serán descritos más ampliamente en el apartado 5. En síntesis, se diferencian los siguientes:

- *Arenas de playa*: de composición mayoritariamente silíceas y de grano medio a fino con abundantes restos de conchas. Su compacidad aumenta con la profundidad llegando en algunos puntos a estar cementadas constituyendo “beachrocks”.
- *Arenas estuarinas*: son el resultado de la dinámica de la bahía, presenta un porcentaje mayor de finos que las arenas de playa y abundantes restos de conchas.
- *Fangos y depósitos de ría*: localizados en la Vaguada de las Llamas y en la bahía de Santander. Son resultado de la dinámica fluvial y marina, caracterizados por presentar granulometrías muy heterogéneas.
- *Depósitos eluviales*: materiales de diversa composición, procedentes de la alteración *in situ* del lecho rocoso.
- *Rellenos antrópicos*: muy extendidos por toda la ciudad, se trata de suelos muy heterogéneos en los que abundan las gravas y arenas junto con materiales antrópicos.

## **Tectónica**

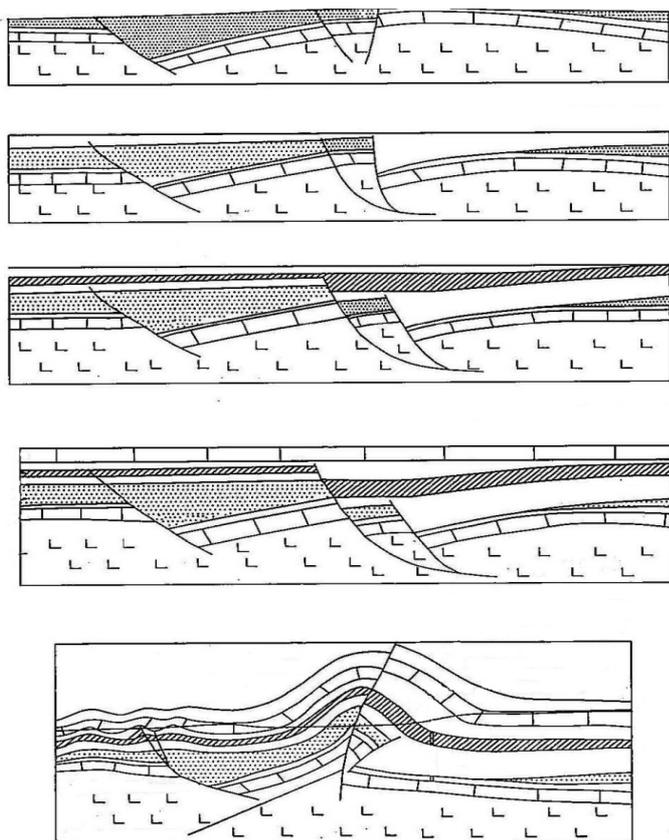
La configuración estructural del entorno de Santander está marcada por la presencia de dos grandes estructuras: el cabalgamiento de la Calle Alta, producido por el ascenso halocinético de materiales del Keuper, y por el sinclinal de Santillana-San Román (Ramírez et al., 1976).

El cabalgamiento presenta ramificaciones que hacen complicado su cartografía en un entorno urbano. Son estas ramificaciones las que provocan que no siempre sean los materiales triásicos se superpongan a otros más modernos. En la información analizada se observa como materiales de la Formación Reocín (Aptiense Superior) se sitúan sobre materiales de Formación Barcenaciones (Albiense Inferior).

En cualquier caso, parece probable que el horizonte de despegue para todas estas ramificaciones sea el nivel salino del Keuper (Serrano, 1994), ramificándose debido a una necesidad de acomodar la deformación producida por el ascenso del diapiro.

Comparado con zonas similares de la región (p. ej. Cabezón de la Sal) puede ser que el ascenso de la masa diapírica se produzca aprovechando una serie de fracturas extensionales

(Serrano, 1994). Esto provocaría una menor presión en la zona que condicionaría el movimiento de las arcillas yesíferas del Triásico hacia el área de debilidad generada. En este caso sería correcto decir que el actual Cabalgamiento de la Calle Alta se comportó en otra época como una falla normal (Figura 4-14).



**Figura 4-14. Posible evolución de la tectónica de Santander. Modificado de Serrano, A. (1994)**

Además de esta falla de gran envergadura existen en la ciudad otras de menor entidad; en general se trata de fallas perpendiculares al diapiro, que a su vez generan zonas de debilidad que aprovechan los cursos torrenciales para fluir con dirección norte-sur dando lugar a valles suaves. En el caso del La Península de la Magdalena el conjunto de fallas genera la aparición de un pequeño horst de escasa importancia debido al pobre desarrollo del mismo.

Cabe destacar el fuerte diaclasado que presentan, por ejemplo, las calcarenitas y calizas arenosas de la formación El Sardinero. En esta formación existen dos sistemas de diaclasado, denominados J1 y J2 (Fig. 4-15) que, junto con la estratificación, genera la caída de bloques de tamaño decimétrico a decamétrico (Fig. 4-16). Se ha llevado a cabo una medida sistemática de estas diaclasas dando como resultado unas direcciones preferentes aproximadas J1 = N68E y J2 = N155E.



**Figura 4-15. Sistema de diaclasado en la formación El Sardinero en la zona de Cabo Menor.**



**Figura 4-16. Bloques de tamaño métrico a decimétrico en los tramos de calizas arenosas y margas de la formación El Sardinero en la playa de Matalaños.**

El Sinclinal de Santillana-San Román es resultado de la deformación alpina. Se trata de una estructura cuyo eje se dispone OSO-ENE y cuyo flanco sur es el único que se puede observar en la zona de estudio. Este flanco presenta buzamientos crecientes a medida que se aproxima al diapiro de la bahía. En el entorno del eje del sinclinal los buzamientos son suaves no llegando a sobrepasar los 20°. La zona meridional del pliegue se encuentra parcialmente cortada por el cabalgamiento resultado del ascenso del diapiro salino de la bahía.

## Contexto hidrogeológico

Santander se localiza en el denominado Sistema Acuífero nº 4D, Unidad Diapirizada de Santander (IGME, 1989). Esta zona queda delimitada al sur por la Franja Cabalgante del Escudo de Cabuérniga, al este y al oeste por materiales impermeables del Triásico y Paleozoico, quedando delimitado al norte por el Mar Cantábrico.

Como se ha visto anteriormente, los materiales presentes en la zona de estudio son de naturaleza variada, lo que conlleva una permeabilidad muy heterogénea dependiendo de la composición del sustrato rocoso, el grado de fracturación y el estado de meteorización.

La mayor parte de los materiales presentes en la zona son de edad Cretácica y Terciaria y, en su mayoría, están compuestos por calizas, calcarenitas, margas, dolomías y algún tramo más arenoso. Esta zona está caracterizada por una permeabilidad media-alta debido al grado de fisuración y karstificación. Es posible que existan pequeñas fallas que comuniquen unas zonas con otras lo que facilita la circulación de agua.

En general se comportan como materiales impermeables aquellos formados por arcillas, lutitas y limolitas con algún tramo más arenoso del Triásico y Albiense-Cenomaniense Inferior. Estos materiales afloran en la zona sur de la ciudad separados entre sí por una estrecha franja, de unos 100-150 m de calizas, calcarenitas y areniscas.

Dentro de la Unidad Diapirizada de Santander se ubican dos acuíferos del Cretácico independientes entre sí:

- Un acuífero calcáreo de edad Aptiense-Albiense Inferior-Medio, formado por calizas y calcarenitas con tramos dolomitizados y una potencia media de 650 m.
- Un acuífero del Aptiense, formado fundamentalmente por calcarenitas masivas, cuya potencia aproximada oscila en torno a los 250 m.

Ambos acuíferos tienen una transmisividad y coeficiente de almacenamiento muy variable en función del grado de fracturación y karstificación, pero en general son altos.

Los materiales del Aptiense y Albiense constituyen un acuífero libre, cuya alimentación es exclusivamente a través de la infiltración del agua de lluvia.

Las descargas a través de los ríos y torrentes que atraviesan la ciudad no se ha podido establecer debido a la falta de estaciones de aforo en el recorrido.

Las características químicas de las aguas de la zona están directamente relacionadas con los materiales atravesados. La facies bicarbonatada cálcica es la predominante en la zona. Estas aguas presentan en determinados puntos una contaminación debida a la intrusión marina. El cada vez menor uso agrícola y ganadero de la zona está contribuyendo a la disminución de los compuestos nitrogenados muy presentes en otras épocas.

### Hidrología superficial

Para analizar el contexto hidrológico superficial se ha establecido una división entre la zona continental y estuarina, ya que la dinámica y características hidrológicas son muy diferentes (Fig. 4-17).

#### *Hidrología continental*

Dentro del área de estudio no existen cauces de agua dulce de importancia, siendo el único que presenta cierta entidad la Ría de Raos que actualmente se encuentra totalmente canalizada denominándose Canal de Raos.

Existen dos cursos de menor tamaño y con cauces discontinuos, parcialmente canalizados, que presentan una orientación preferente oeste-este. El primero de ellos y de mayor entidad, es el formado en la Vaguada de las Llamas; se trata de un pequeño curso formado por el agua de escorrentía con muy poca pendiente lo que provoca en ocasiones encharcamientos y zonas pantanosas debido al carácter endorreico de la cuenca y un sustrato altamente impermeable. Además la zona final de esta vaguada, su salida natural hacia el mar, fue canalizada y urbanizada a finales de los años 60.

El segundo curso está constituido por la desembocadura en la playa de la Maruca (Fig. 4-17) del Arroyo Somonte-La Tejona, denominado ría de San Pedro. Dentro de esta zona se ubica el área húmeda dulceacuícola de las Pozonas de San Román, formadas por charcas colonizadas con abundante vegetación acuática y palustre.

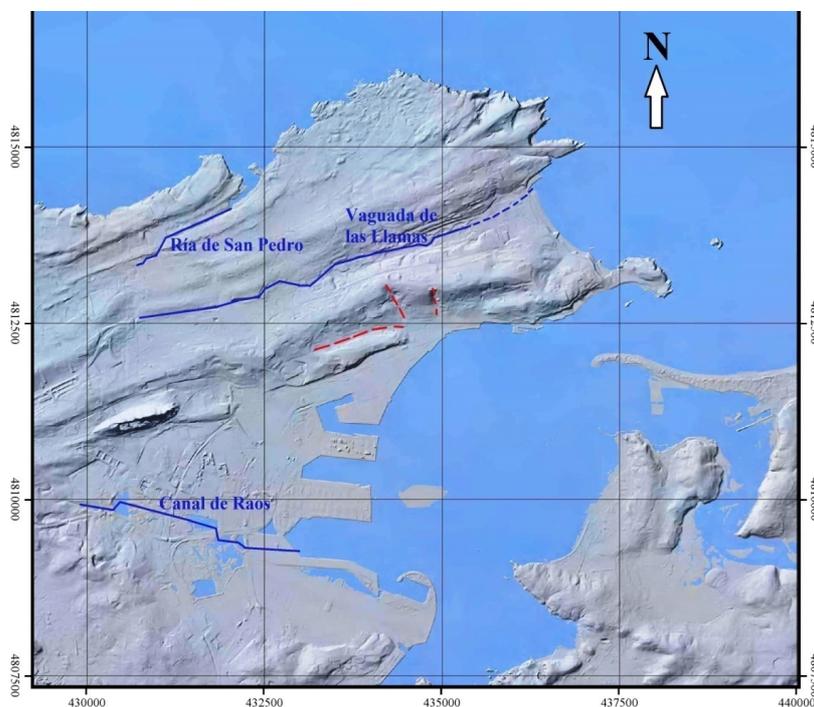
### *Hidrología estuarina*

El estuario formado al sur de la ciudad es el elemento característico de la misma, siendo el origen del municipio.

Actualmente tiene una extensión aproximada de 22.500.000 m<sup>2</sup>, siendo la mitad de la original. Aun así, constituye el mayor estuario de la costa norte española. Esta disminución se ha debido a la desecación, cerramiento y relleno de la zona iniciado a finales del s. XIX.

El fondo de la bahía es altamente irregular observándose, en las bajamares, grandes arenas y marismas. En este área vierten aguas varios cursos fluviales entre los que destacan, fuera del municipio de Santander, la ría de Solía, San Salvador y Boo cuyas aguas se vierten mediante la ría de Astillero y la desembocadura del río Miera que se produce a través de la ría de Cubas.

La dinámica de los sedimentos estuarinos hacen necesario un continuo dragado para poder continuar con la actividad marítima de la zona, lo que provoca zonas de depósito de estos dragados, utilizados en otra época para el desarrollo de la ciudad en terrenos ganados al mar.



**Figura 4-17. Principales cauces de la zona de estudio. En trazo rojo discontinuo se muestran antiguos cauces canalizados y soterrados en la actualidad.**

## 5. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES

A partir de toda la información disponible se han distinguido 13 unidades geotécnicas divididas en 9 unidades de suelos y 4 unidades de sustratos rocosos.

### SUELOS

La distribución de los suelos en la zona estudiada responde de manera general a la situación geológica de los materiales rocosos del subsuelo, ya que en su mayoría se trata de suelos eluviales, desarrollados *in situ*. Excepciones a este tipo de suelos son los situados en la zona de influencia estuarina de la bahía, la Vaguada de las Llamas y los depositados en las ensenadas de la costa generando las playas.

#### *Rellenos de bahía / arenas estuarinas*

Este nivel está compuesto por arenas con un cierto contenido en materiales finos. Se distribuyen por toda la bahía de Santander y son el resultado de rellenos que se han producido de dos formas; por el transporte de la dinámica fluvial y marina, y como consecuencia de continuos dragados de la zona. Es difícil diferenciar aquellas arenas no removilizadas de las que han sido dragadas y resedimentadas. En todo caso, sus características geotécnicas son similares (Tabla 5-1).

En general, este nivel está integrado por arenas de grano medio a fino con un contenido variable de limos y arcillas, que puede ser de hasta un 38% (Tabla 5-1). Al tratarse de un suelo granular no presenta plasticidad y no se han podido establecer sus límites de Atterberg. Estos suelos se encuentran totalmente saturados al situarse, casi por completo, bajo el nivel del mar; presentando un gran contenido en humedad natural. La densidad de las arenas tiene una gran relación con su compacidad, aumentando proporcionalmente a ésta. La compacidad aumenta, a su vez, proporcionalmente con la profundidad, como demuestra el valor  $N_{SPT}$  (Tabla 5-2); de este modo, en superficie aparecen arenas muy flojas mientras que en profundidad pasan a densas.

Las arenas presentan un alto contenido en carbonato cálcico proveniente de los restos de conchas, como se deduce de su elevada reacción con el HCl. La reacción de  $H_2O_2$  con la materia

orgánica es leve o muy leve, y en determinados tramos inexistente, por lo que se deduce que su contenido en materia orgánica es bajo.

|                                   |                | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|-----------------------------------|----------------|-------|-------|-------|
| GRANLOMETRÍA                      | % pasa 2 mm    | 99,88 | 91,2  | 98,3  |
|                                   | % pasa 0,08 mm | 37,57 | 3,24  | 11,28 |
| HUMEDAD (%)                       |                | 39,36 | 5,52  | 23,15 |
| DENSIDAD SECA (N/m <sup>3</sup> ) |                | 18473 | 12838 | 14935 |

**Tabla 5-1. Resultados de los ensayos de identificación de los rellenos de bahía / arenas estuarinas.**

La capacidad portante del terreno es muy baja, siendo su resistencia a la compresión simple  $< 0,01$  MPa en todas las muestras analizadas (Tabla 5-2). Las pruebas realizadas mediante el penetrómetro de mano y el torvane muestran valores al esfuerzo cortante algo superiores a los obtenidos mediante el ensayo de resistencia a compresión simple. De cualquier modo estos valores indican, al igual que los obtenidos mediante compresión, una capacidad portante del terreno baja.

|                            | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| N <sub>SPT</sub>           | 44    | 4     | 19    |
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa) | 0,009 | 0,008 | 0,008 |
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa) | 0,099 | 0,024 | 0,043 |
| TORVANE (MPa)              | 0,033 | 0,016 | 0,024 |

**Tabla 5-2. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras de los rellenos de bahía / arenas estuarinas.**

### *Depósito eluvial (I)*

Es un suelo desarrollado como consecuencia de la alteración de la facies Keuper del Triásico y de la formación Vega de Pas.

La potencia de este depósito es muy variable, siendo complicado establecer una media, si bien localmente puede llegar a superar los 5 m.

El resultado de la citada alteración es un suelo con un alto porcentaje de finos (Tabla 5-3), con un índice de plasticidad de 16,2 lo que le otorga, junto al valor del límite líquido, una plasticidad baja (Fig. 5-1). Los términos con una mayor cantidad de componente arenosa son los que presentan un mayor valor del contenido en humedad. Mediante la clasificación SUCS de suelos

se ha determinado que se trata de un suelo CL, arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas. Pueden presentar una amplia gama de colores, aunque en su mayoría presentan tonalidades rojas y verdes con capas grises esporádicas.

Considerando los datos granulométricos, se puede se puede apuntar al carácter impermeable de esta unidad debido a la gran cantidad de finos que presenta.

|                              |                | MÁX    | MIN   | MEDIA |
|------------------------------|----------------|--------|-------|-------|
| GRANLOMETRÍA                 | % pasa 2 mm    | 100,00 | 77,12 | 94,70 |
|                              | % pasa 0,08 mm | 96,45  | 61,08 | 82,47 |
| HUMEDAD (%)                  |                | 66,79  | 8,75  | 30,63 |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) |                | 18463  | 11103 | 15631 |
| WL                           |                | 44,0   | 28,6  | 36,5  |
| WP                           |                | 23,5   | 16,7  | 20,3  |
| PI                           |                | 21,4   | 8,7   | 16,2  |

Tabla 5-3. Resultados de los ensayos de identificación del depósito eluvial (I).

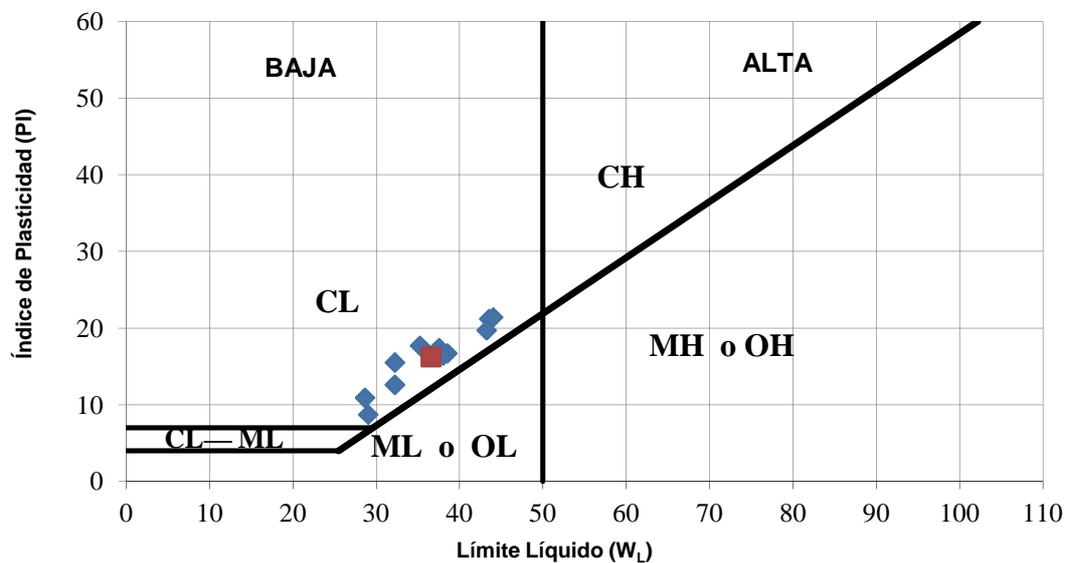


Figura 5-1. Clasificación de las muestras del depósito eluvial (I) en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

La reacción del suelo con el  $H_2O_2$  es casi inexistente por lo que se deduce que apenas presenta materia orgánica. Del mismo modo la reacción con el HCl es leve o muy leve, por lo que se le atribuye un contenido en carbonatos bajo o muy bajo.

Mecánicamente se refleja un comportamiento desigual debido, en gran medida, a su proximidad al sustrato del que proviene. La consistencia de las arcillas, estimada a partir de los datos de compresión simple (Tabla 5-4), es desde muy blanda a dura, siendo el término medio una consistencia muy firme (Tabla 5-5).

|                            | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa) | 0,660 | 0,022 | 0,240 |
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa) | 0,233 | 0,026 | 0,067 |
| TORVANE (MPa)              | 0,184 | 0,029 | 0,057 |

**Tabla 5-4. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras del depósito eluvial (I).**

| Consistencia de la arcilla | Resistencia a la compresión simple (MPa) |
|----------------------------|--|
| Muy blanda                 | < 0,025                                  |
| Blanda                     | 0,025-0,050                              |
| Medianamente firme         | 0,050-0,100                              |
| Firme                      | 0,100-0,200                              |
| Muy firme                  | 0,200-0,400                              |
| Dura                       | > 0,400                                  |

**Tabla 5-5. Correlación entre la consistencia de las arcillas y la resistencia a la compresión simple (MPa). Tomado de González de Vallejo et al., 2004.**

### *Depósito eluvial (II)*

Este nivel se desarrolla sobre las formaciones Reocín, Barcenaciones, Bielva y Altamira. Como consecuencia de su composición, los suelos muestran una naturaleza muy heterogénea, resultado de la alteración de niveles calcáreos, margosos, areniscosos y lutíticos. La variabilidad litológica del sustrato, que se produce a escala centimétrica, hace que los suelos suprayacentes ofrezcan una diferente composición.

Observando su granulometría (Tabla 5-6) se pueden considerar estos suelos como arcilloso-limosos, con bastante arena e indicios de gravas. Los valores más arenosos observados en la granulometría corresponden a cuñas arenosas, de escasa potencia (inferior a 2 m) y poco desarrollo lateral, que aparecen intercaladas entre niveles mucho más arcillosos.

Atendiendo a los límites de Atterberg (Tabla 5-6) y al índice de plasticidad, se puede observar cómo se repite la misma oscilación de valores que en la granulometría, debida a la gran dependencia de ésta que tienen. En la Figura 5-2 se puede apreciar la distribución de las muestras analizadas, correspondiendo la mayoría de ellas con suelos arcillosos, siendo los suelos limosos una minoría.

|                              |                | MÁX    | MIN   | MEDIA |
|------------------------------|----------------|--------|-------|-------|
| GRANLOMETRÍA                 | % pasa 2 mm    | 100,00 | 75,50 | 96,03 |
|                              | % pasa 0,08 mm | 99,30  | 28,37 | 74,22 |
| HUMEDAD (%)                  |                | 59,59  | 10,94 | 30,55 |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) |                | 19208  | 11368 | 15023 |
| WL                           |                | 83,8   | 24,3  | 49,2  |
| WP                           |                | 49,2   | 16,1  | 27,0  |
| PI                           |                | 34,6   | 5,3   | 22,3  |

Tabla 5-6. Resultados de los ensayos de identificación del depósito eluvial (II).

Los valores de humedad superiores al 45% e inferiores a 15% son escasos, situando la media en 30,5%. Con el valor de la humedad y de la densidad se puede clasificar el suelo como de consistencia media-blanda, que presenta un índice de huecos ( $e$ ) entre 1,3 y 0,7.

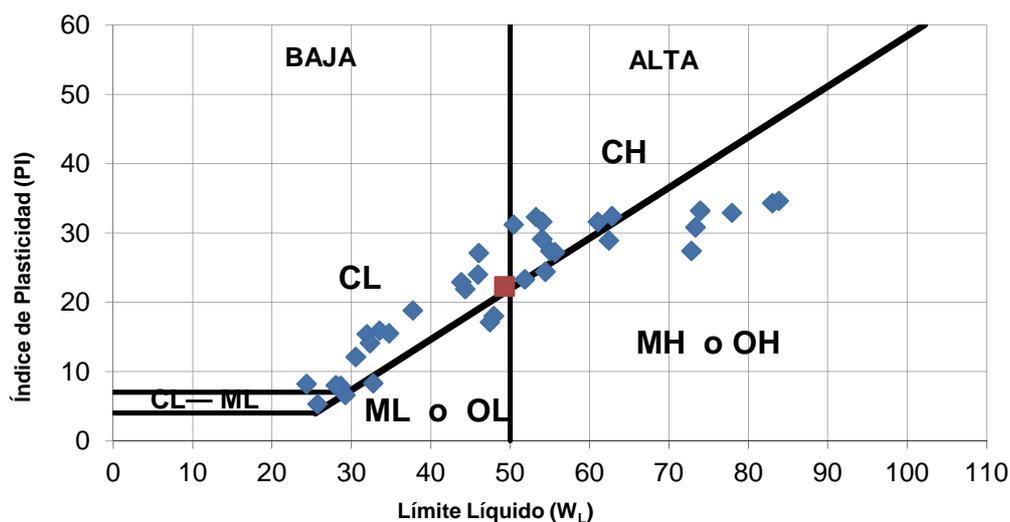


Figura 5-2. Clasificación de las muestras del depósito eluvial (II) en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

En cuanto a sus propiedades mecánicas podemos decir que el valor  $N_{SPT}$  rara vez es superior a 25 (Tabla 5-7), quedando en la mayoría de los casos por debajo de 10. Valores superiores se alcanzan, únicamente, en las zonas con cuñas arenosas, anteriormente citadas, llegando a dar valores casi siempre mayores a 25. Estas zonas arenosas presentan por tanto una compacidad entre densa y muy densa a la cual se atribuye un ángulo de rozamiento de entre 36 y  $> 41$ .

La variabilidad de los datos aportados por los resultados de resistencia a compresión simple (Tabla 5-7) hace que el suelo pueda clasificarse desde blando hasta firme. Como en casos anteriores, los mayores valores suelen estar asociados a cuñas arenosas. Los datos obtenidos a partir del penetrómetro de mano presentan un valor máximo superior a aquellos obtenidos mediante ensayos a compresión simple, lo que puede explicarse por la gran variabilidad de la zona que a su vez ocasiona dicha dispersión. Los resultados generados mediante el torvane oscilan entre los valores obtenidos por los otros dos métodos quedando validados por estos.

|                            | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| $N_{SPT}$                  | 58    | 2     | 11    |
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa) | 0,185 | 0,042 | 0,108 |
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa) | 0,392 | 0,044 | 0,116 |
| TORVANE (MPa)              | 0,167 | 0,016 | 0,075 |

**Tabla 5-7. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras del depósito eluvial (II).**

#### *Arenas cementadas*

Dentro del eluvial II se han podido distinguir diferentes cuerpos de arenas cementadas de mayor entidad que los niveles arenosos antes citados. Estos cuerpos de tamaño decimétrico son, posiblemente, el resultado de la alteración *in situ* de capas más arenosas de reducida continuidad lateral, que impide su precisa representación cartográfica. Su alto contenido en arena, no inferior en ningún caso al 50% (Tabla 5-8) hace que este material carezca de límite de Atterberg y de índice de plasticidad.

|                      |                | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------|----------------|-------|-------|-------|
| GRANLOMETRÍA         | % pasa 2 mm    | 100   | 89,01 | 96,16 |
|                      | % pasa 0,08 mm | 45,28 | 12,86 | 30,30 |
| HUMEDAD (%)          |                | 25,16 | 9,42  | 15,90 |
| DENSIDAD ( $N/m^3$ ) |                | 19953 | 16768 | 18551 |

**Tabla 5-8. Resultados de los ensayos de identificación de las arenas cementadas.**

Estos depósitos arenosos se clasificarían como arenas siliciclásticas con abundantes finos e indicios de gravas de la misma naturaleza, de color marrón amarillento.

Mediante los valores obtenidos en el golpeo de los ensayos SPT se deduce que este depósito presenta una compacidad medianamente densa llegando en algunos casos a densa. La resistencia a compresión simple es inferior a 0,2 MPa, obteniéndose valores aún más reducidos en ensayos realizados mediante el penetrómetro de mano y torvane (Tabla 5-9), esto puede ser debido al diferente grado de cementación que presenta este sustrato, lo que hace variar considerablemente los valores de resistencia al esfuerzo cortante.

Los ensayos de corte directo, a partir de los cuales se han obtenido los datos de cohesión y ángulo de rozamiento, se han realizado de forma consolidada y drenada. De este modo el ángulo de rozamiento medio es de 30° y su cohesión media 0,015 MPa.

|                           | MÁX         | MIN   | MEDIA |       |
|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|
| $N_{SPT}$                 | 32          | 25    | 28    |       |
| PENETRÓMETRO DE MANO(MPa) | 0,151       | 0,056 | 0,103 |       |
| TORVANE (MPa)             | 0,059       | 0,049 | 0,055 |       |
| CORTE DIRECTO (CD)        | $c'$ (MPa)  | 0,018 | 0,012 | 0,015 |
|                           | $\Phi'$ (°) | 32    | 28    | 30    |

**Tabla 5-9. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras de las arenas cementadas.**

#### *Depósitos fluvio-costeros*

Situados principalmente en la Vaguada de las Llamas, estos depósitos son el resultado de la dinámica marina y fluvial de la zona. La sedimentación en estas zonas puede llegar a ser muy heterogénea presentándose pasillos de alta energía donde se depositan materiales de granulometría gruesa como gravas y arenas. En las zonas de menor energía, zonas marginales de los canales, el depósito está constituido por materiales de granulometría fina como limos y arcillas. En diversas zonas, junto a estos materiales de granulometría más fina aparecen capas de turba aunque su desarrollo, en cualquier caso, es limitado.

En general, este nivel se puede describir como de arcillas con un contenido variable en arenas, de color gris negruzco a marrón verdoso que engloban niveles más arenosos y algún depósito de turba.

Su potencia es función de la proximidad al cauce, disminuyendo a medida que nos alejamos de éste y de manera general oscila entre los 2 y los 8 m de espesor.

En general, presenta abundantes finos (Tabla 5-10) aunque existen zonas en que el contenido en arenas llega al 75%. Las zonas con mayor contenido en finos presentan, en general, una plasticidad baja. Mediante la Carta de Plasticidad de Casagrande (Figura 5-3), el suelo queda, por lo general, definido como CL; arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas arenosas o arcillas limosas.

| GRANLOMETRÍA                 |                | MÁX         | MIN    | MEDIA |
|------------------------------|----------------|-------------|--------|-------|
|                              |                | % pasa 2 mm | 100,00 | 80,17 |
|                              | % pasa 0,08 mm | 94,70       | 25,88  | 76,72 |
| HUMEDAD (%)                  |                | 43,59       | 21,54  | 30,44 |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) |                | 20100       | 12338  | 15592 |
| WL                           |                | 47,6        | 23,6   | 35,5  |
| WP                           |                | 24,4        | 18,3   | 20,4  |
| PI                           |                | 27,4        | 2,9    | 15,1  |

Tabla 5-10. Resultados de los ensayos de identificación de los depósitos fluvio-costeros.

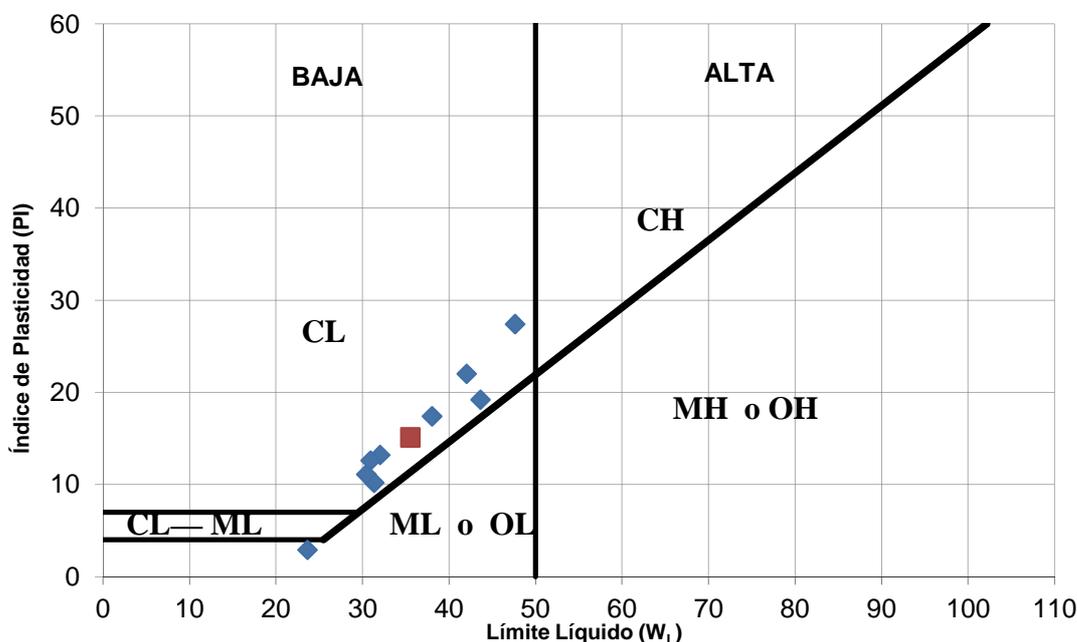


Figura 5-3. Clasificación de las muestras de los depósitos fluvio-costeros en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

El valor  $N_{SPT}$  obtenido en todos los casos es muy reducido (Tabla 5-11), indicando suelos blandos o muy blandos. Del mismo modo, los valores obtenidos mediante el penetrómetro de mano y el torvane también son bajos, deduciendo que se trata un suelo de capacidad portante muy baja.

La cohesión media se sitúa en los 0,019 MPa y su ángulo de rozamiento es de 27°. Ángulos de rozamiento menores de 30° son típicos de suelos en los que abundan partículas de tamaño limo y arcilla.

|                            |         | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------------|---------|-------|-------|-------|
| N <sub>SPT</sub>           |         | 8     | 4     | 6     |
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa) |         | 0,087 | 0,000 | 0,037 |
| TORVANE (MPa)              |         | 0,078 | 0,000 | 0,039 |
| CORTE DIRECTO (CD)         | c'(MPa) | 0,036 | 0,008 | 0,019 |
|                            | Φ' (°)  | 33    | 18    | 27    |

**Tabla 5-11. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras de los depósitos fluvio-costeros.**

La baja capacidad portante y un contenido variable en materia orgánica implica que, en cualquier caso, sea necesaria su eliminación no pudiéndose llevar a cabo su aprovechamiento o utilización como nivel de apoyo.

### *Depósito eluvial (III)*

Este depósito se desarrolla sobre la parte inferior de la Formación El Sardinero (Turnoniense y Coniaciense), llegando en la zona más oriental a situarse sobre terrenos del Santoniense. Las rocas de procedencia, en la mayoría de los casos, son calizas, margas y sus términos intermedios, si bien, en casos puntuales, se sitúa sobre calizas arenosas y calcarenitas. Son los suelos situados sobre estos últimos términos los, que en general, presentan mayor tamaño de grano.

En general se trata de arcillas y/o limos con un contenido variable de arena y ocasionales gravas, aunque puede carecer de ellas. Su porcentaje de arenas varía de entre un 15 y un 65%, situándose la media en torno al 30 % (Tabla 5-12).

El índice de plasticidad (PI) es por lo general reducido. Representando los valores obtenidos en la Carta de Plasticidad de Casagrande se observa como todas las muestras analizadas se sitúan en el límite entre los suelos arcillosos y los suelos limosos (Figura 5-4). En la mayoría de los casos la plasticidad obtenida es baja.

Su resistencia al esfuerzo cortante ha sido determinada mediante penetrómetro de mano y torvane; ambos ensayos presentan resultado en el mismo orden de magnitud (Tabla 5-13). De forma

general y considerando los dos tipos de ensayos se puede establecer que su resistencia al esfuerzo cortante oscila entre los 0,049 y los 0,1 MPa. Según estos ensayos el suelo presenta una consistencia medianamente firme (0,5-0,1 MPa).

| GRANLOMETRÍA                 |                | MÁX         | MIN    | MEDIA |
|------------------------------|----------------|-------------|--------|-------|
|                              |                | % pasa 2 mm | 100,00 | 78,41 |
|                              | % pasa 0,08 mm | 84,10       | 34,82  | 64,79 |
| HUMEDAD (%)                  |                | 45,39       | 17,32  | 26,62 |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) |                | 16013       | 12446  | 14190 |
| WL                           |                | 54,7        | 27,3   | 40,3  |
| WP                           |                | 34,6        | 18,0   | 23,7  |
| PI                           |                | 25,9        | 7,7    | 16,6  |

Tabla 5-12. Resultados de los ensayos de identificación del depósito eluvial (III).

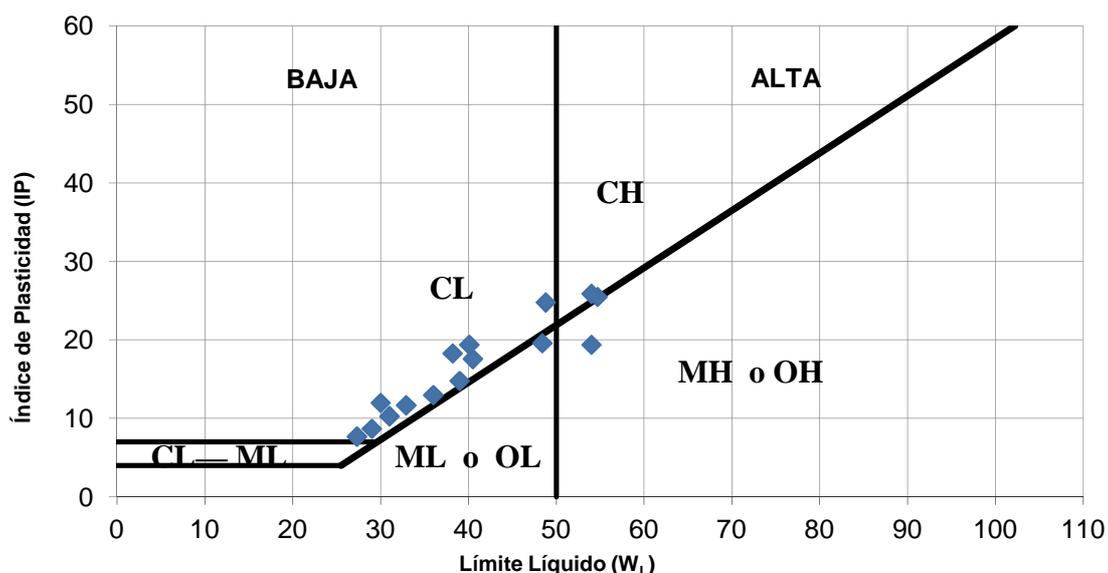


Figura 5-4. Clasificación de las muestras del depósito eluvial (III) en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

La cohesión obtenida mediante corte directo consolidado y drenado es la mayor de todos los depósitos hasta ahora descritos, alcanzando su valor medio los 0,026 MPa. Su ángulo de rozamiento también es el mayor y se sitúa en los 33° (Fig. 5-13).

Los colores de este suelo oscilan entre marrones más o menos claros y amarillos. En algunas zonas presenta cantos blandos y ocasionales nódulos de color rojizo con presencia de óxidos de hierro.

|                            |         | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------------|---------|-------|-------|-------|
| N <sub>SPT</sub>           |         | 12    | 8     | 9     |
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa) |         | 0,144 | 0,024 | 0,100 |
| TORVANE (MPa)              |         | 0,111 | 0,021 | 0,049 |
| CORTE DIRECTO (CD)         | c'(MPa) | 0,034 | 0,015 | 0,026 |
|                            | Φ' (°)  | 38    | 30    | 33    |

**Tabla 5-13. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras del depósito eluvial (III).**

#### *Depósito eluvial (IV)*

A diferencia del anterior, este depósito recubre el resto de materiales del Santoniense y del resto de la formación El Sardinero. Su límite hacia el norte es el denominado depósito eluvial (V). Las rocas sobre las que se sitúa son, esencialmente, margas y calizas, predominando las segundas.

Presenta colores entre amarillos, marrones y grisáceos. Su contenido en materia orgánica es escaso no habiéndose producido más que ligeras reacciones en su contacto con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Se trata de un suelo con un alto porcentaje de finos (>90%) y con porcentaje de arenas que por lo general no supera el 5% (Tabla 5-14). La alta acumulación de materiales finos se debe a la alteración de las calizas subyacentes, tratándose por tanto de arcillas de decalcificación. Estas arcillas presentan una alta plasticidad como así indican los ensayos realizados. En este caso el índice de plasticidad es siempre superior a 30, situándose la media en 48,5.

Aunque presenta un alto contenido en arcillas su humedad no es tan alta como cabría esperar, no superando en ninguna muestra el 45%, cuando en suelos de este tipo es factible alcanzar valores del 60 o 70% (González de Vallejo et al., 2002).

Al realizar la representación del índice de plasticidad (PI) frente al límite líquido (WL) se observa como la gran mayoría de las muestras analizadas para este suelo se corresponde con el campo de las arcillas inorgánicas de alta plasticidad o también denominadas arcillas grasas (Figura 5-5). Dos de las muestras se ubican en el límite entre arcillas y limos y una en el campo MH, limos inorgánicos.

|                              |                | MÁX    | MIN   | MEDIA |
|------------------------------|----------------|--------|-------|-------|
| GRANULOMETRÍA                | % pasa 2 mm    | 100,00 | 98,75 | 99,73 |
|                              | % pasa 0,08 mm | 99,48  | 80,76 | 94,93 |
| HUMEDAD (%)                  |                | 44,13  | 24,14 | 36,54 |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) |                | 13779  | 12368 | 12995 |
| WL                           |                | 95,2   | 52,5  | 76,0  |
| WP                           |                | 41,8   | 21,2  | 27,5  |
| PI                           |                | 64,4   | 30,9  | 48,5  |

Tabla 5-14. Resultados de los ensayos de identificación del depósito eluvial (IV).

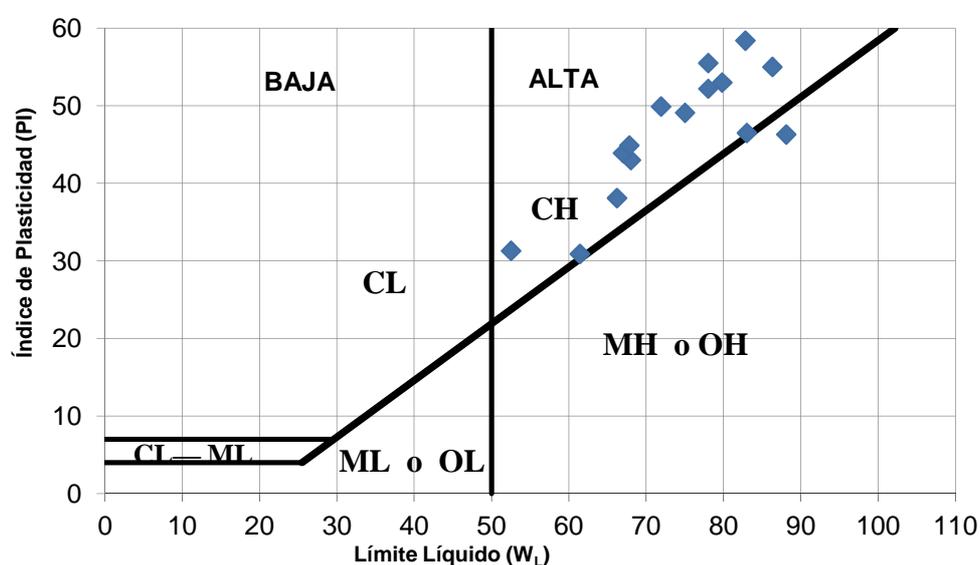


Figura 5-5. Clasificación de las muestras del depósito eluvial (IV) en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

Mediante el valor de la resistencia al esfuerzo cortante, mediante ensayos de compresión triaxial no consolidado y no drenado (UU) y con el penetrómetro de mano (Tabla 5-15), en un conjunto de muestras se deduce que el suelo analizado presenta una consistencia medianamente firme.

|                                | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa)     | 0,144 | 0,045 | 0,084 |
| COMPRESIÓN TRIAXIAL (UU) (MPa) | 0,084 | 0,067 | 0,077 |

Tabla 5-15. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras del depósito eluvial (IV).

*Depósito eluvial (V)*

Bajo esta denominación se incluyen aquellos depósitos generados *in situ* que se sitúan al norte de los descritos para el nivel anterior. Estos suelos presentan una potencia que decrece de forma gradual a medida que se avanza hacia la costa. En el margen septentrional este suelo no supera el metro de espesor. Su contacto con las calizas y calizas arenosas inferiores es altamente irregular llegando a variar en un mismo pozo de reconocimiento hasta 3 m.

Es frecuente la presencia de dolinas en las zonas con un mayor contenido en calizas, lo que hace pensar que esta karstificación se manifieste también en profundidad. Los colores mayoritarios para estos suelos son marrón, amarillo y gris, con algún nivel irregular más arenoso amarillento y ocasionales nódulos negruzcos.

En general, observando los datos de la Tabla 5-16, y su representación gráfica en la Figura 5-6, se trata de arcillas con algo de arena de plasticidad baja a alta en determinadas zonas. En determinados puntos existen zonas más limoso-arenosas con una plasticidad reducida.

|              |                | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|--------------|----------------|-------|-------|-------|
| GRANLOMETRÍA | % pasa 2 mm    | 100   | 99,72 | 99,91 |
|              | % pasa 0,08 mm | 99,24 | 72,73 | 87,30 |
| HUMEDAD (%)  |                | 36,31 | 16,00 | 26,43 |
| WL           |                | 55,8  | 22,7  | 45,7  |
| WP           |                | 25,9  | 17,4  | 21,8  |
| PI           |                | 31,2  | 5,3   | 23,9  |

**Tabla 5-16. Resultados de los ensayos de identificación del depósito eluvial (V)**

La resistencia al esfuerzo cortante se ha deducido a partir del ensayo con el penetrómetro de mano (Tabla 5-17) y presenta oscilaciones desde 0,12 a 0,07 MPa. Su media es de 0,09 MPa situando a este suelo en el campo de los medianamente firmes casi en el límite de los suelos firmes.

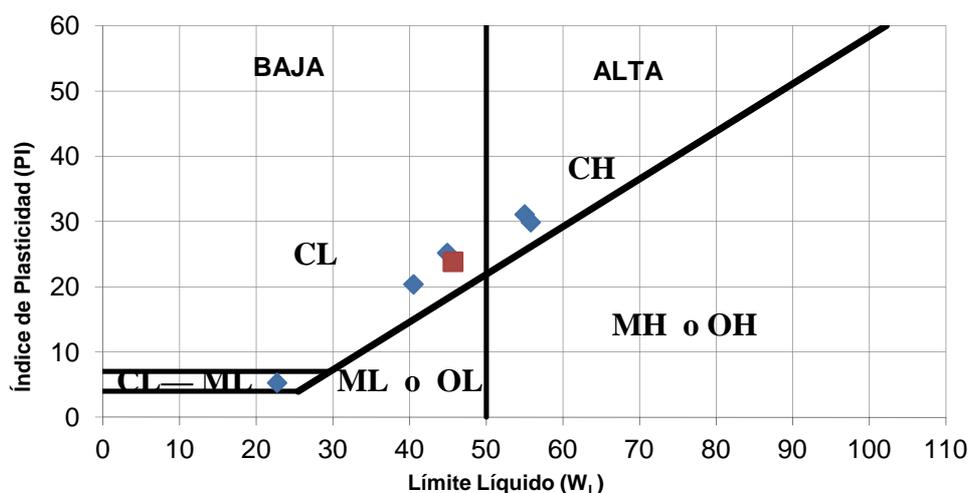


Figura 5-6. Clasificación de las muestras del depósito eluvial (V) en la Carta de Plasticidad de Casagrande.

|                            | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| PENETRÓMETRO DE MANO (MPa) | 0,122 | 0,068 | 0,091 |

Tabla 5-17. Resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre muestras del depósito eluvial (V).

### *Rellenos antrópicos*

Distribuidos por toda la zona de estudio se concentran principalmente en la parte sur, más urbanizada. Son materiales muy heterogéneos en los que es frecuente encontrar un alto porcentaje de gravas de diversa naturaleza (calcárea, silíceas, restos de ladrillería, etc.). Su matriz es desde arenoso-arcillosa a arenosa con algo de arcilla (Tabla 5-18). Fácilmente identificable por su contenido en materiales antrópicos como ladrillería o plásticos, suelen ser materiales de relleno que han de ser eliminados por su baja cohesión y capacidad portante.

Su potencia es muy variable, existen zonas en las que los rellenos antrópicos no presentan potencias superiores al metro, mientras que en otras estos rellenos pueden llegar a tener una potencia cercana a los 5 o 6 m.

|               |                | MAX   | MIN   | MEDIA  |
|---------------|----------------|-------|-------|--------|
| GRANULOMETRÍA | % pasa 2 mm    | 95,91 | 48,96 | 72,833 |
|               | % pasa 0,08 mm | 57,54 | 26,88 | 42,633 |

Tabla 5-18. Granulometría de los rellenos antrópicos.

## SUSTRATO ROCOSO

A continuación se describen las cuatro unidades litológicas principales diferenciadas en la zona de estudio: “arcillas abigarradas, lutitas y limolitas”, “margas”, “calizas, calcarenitas y dolomías” y, por último, “areniscas”.

### *Arcillas abigarradas, lutitas y limolitas*

Bajo esta denominación se han agrupado las alternancias de arcillas, lutitas y limolitas. Rocas, todas ellas de grano fino, que presentan colores rojos, verdes y amarillentos, con una porosidad reducida. En general, estos materiales son muy alterables, presentando grados de alteración III-IV disminuyendo estos en profundidad hasta valores II (ISRM, 1981). Destaca la alterabilidad de las arcillas abigarradas del Keuper y las lutitas de la formación Vega de Pas, que se acentúa en cuanto quedan sometidas a los agentes meteorológicos en el transcurso de las obras. Estos materiales son prácticamente impermeables, actuando como límites de los acuíferos circundantes. Los ensayos realizados indican que no son agresivos al hormigón.

Este grupo de materiales se caracteriza por presentar las menores resistencias a la compresión simple dentro de la zona de estudio, ofreciendo valores  $< 1$  MPa (Tabla 5-19).

Los valores RQD de estas litologías oscilan de manera considerable, aunque en general las lutitas y limolitas presentan valores entre 50 y 70%, pudiendo disminuir hasta el 20 % en algunas zonas.

Todos ellos, de cara a las excavaciones, son fácilmente ripables mediante medios mecánicos convencionales, si bien no soportan taludes con altas pendientes debido, además de a su propia naturaleza, a su fácil alterabilidad.

|                              | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| HUMEDAD (%)                  | 24,54 | 3,81  | 7,64  |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) | 24363 | 16131 | 27185 |
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)   | 6,11  | 0,10  | 1,58  |

**Tabla 5-19. Parámetros representativos de las arcillas abigarradas, lutitas y limolitas.**

### *Margas*

Los materiales de naturaleza margosa son los más abundantes en la zona de estudio; en general se observa una notable variación en su contenido en materiales terrígenos y calcáreos.

Comúnmente presentan una densa red de fracturación y un aspecto hojoso y noduloso, lo que incide en que muestren unos reducidos valores de RQD, inferiores al 50 %.

En general, presentan una baja resistencia a la compresión simple (Tabla 5-20) no llegando, en las muestras estudiadas, a superar los 12 MPa. Su contenido en humedad es relativamente elevado.

|                              | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| HUMEDAD (%)                  | 7,90  | 2,39  | 5,15  |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) | 25578 | 21619 | 23186 |
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)   | 12,7  | 0,5   | 5,1   |

**Tabla 5-20. Parámetros representativos de las margas.**

Son, generalmente, materiales ripables mediante medios mecánicos convencionales en zonas superficiales, si bien en profundidad se hace necesario el empleo de martillos neumáticos.

En estos materiales se pueden ejecutar taludes provisionales verticales de hasta 3 m de altura o con pendiente 1H/1V en pendientes mayores siempre y cuando su estratificación sea favorable. Son zonas con una escasa permeabilidad.

### *Calizas, calcarenitas y dolomías*

En este grupo se incluyen todas aquellas rocas con un alto contenido en carbonato cálcico y/o magnésico así como sus términos intermedios.

Los términos más dolomíticos están asociadas al cabalgamiento de la calle Alta, mientras que las calizas y calcarenitas se encuentran distribuidas por toda la zona de estudio alternándose con diferentes litologías. La alteración decrece en profundidad desde grado III a grado I (ISRM, 1981)

en pocos metros. Por lo general son rocas no agresivas al hormigón, si bien en la formación Reocín se han localizado zonas piritosas que presentan una agresividad baja-media.

La red de fracturación es menos densa que en casos anteriores, dando lugar a valores RQD elevados, generalmente  $> 70 \%$ .

Estos materiales presentan una resistencia a compresión simple media de 32 MPa, una densidad superior a  $26000 \text{ N/m}^3$  y una humedad media del 1 % (Tabla 5-21).

|                             | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| HUMEDAD (%)                 | 3,58  | 0,05  | 1,11  |
| DENSIDAD ( $\text{N/m}^3$ ) | 27656 | 24128 | 26597 |
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)  | 74,1  | 5,1   | 32,4  |

**Tabla 5-21. Parámetros representativos de las calizas, calcarenitas y dolomías.**

En general, su capacidad portante se presume alta, permitiendo recurrir a cimentaciones directas, aunque es necesario un estudio geológico detallado para determinar la presencia de fenómenos kársticos en profundidad. Son materiales no ripables mediante medios mecánicos convencionales, debiendo recurrirse al uso de martillos de perforación neumática o, en el caso de que fuera posible, explosivos. Estos materiales permiten taludes de elevadas pendientes, superiores a 1H/2V incluso verticales con estratificación favorable.

### *Areniscas*

Estos materiales aparecen intercalados entre las calizas y margas anteriormente citadas. En algunos puntos presentan un cemento carbonatado que hace aumentar su resistencia.

Presentan un carácter generalmente masivo, con valores RQD de entre 40 y 80%, si bien localmente pueden ser más reducidos.

Por lo general, su resistencia a compresión simple es reducida, siendo normalmente inferior a 10 MPa y situándose de media en 5,1 MPa (Tabla 5-21). Presenta un contenido en humedad elevado y una densidad reducida, de lo que se deduce que se trata de areniscas con un alto grado de porosidad.

|                              | MÁX   | MIN   | MEDIA |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| HUMEDAD (%)                  | 11,04 | 3,80  | 7,16  |
| DENSIDAD (N/m <sup>3</sup> ) | 26695 | 19179 | 21864 |
| R. COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)   | 24,3  | 0,3   | 5,7   |

**Tabla 5-22. Parámetros representativos de las areniscas.**

Son materiales ripables en superficie, donde se encuentran más alterados (hasta grado III-IV), mientras que en profundidad su cementación y cohesión hacen necesario el uso de martillos neumáticos o explosivos. Debido al alto porcentaje de sílice presente en la roca se prevé una elevada abrasividad.

## 6. CONCLUSIONES

En este Trabajo Fin de Máster se ha llevado a cabo el estudio geológico-geotécnico detallado del subsuelo de Santander. Esta ciudad se ubica, desde un punto de vista geológico, en la cuenca Vasco-Cantábrica, concretamente dentro del Bloque Costero Santanderino del denominado surco Navarro-Cántabro

Santander se asienta principalmente sobre materiales cretácicos y paleógenos, exceptuando su sector meridional donde afloran materiales del Triásico, predominantemente facies *Keuper*.

Los materiales se disponen principalmente con una orientación OSO-ENE, estando afectados únicamente por algunas fallas. En general la geología presenta una estructura con buzamientos dispuestos mayoritariamente hacia el ENE. Estos buzamientos son mayores en la zona sur de la ciudad, llegando a alcanzar los 60° mientras que la zona norte presenta buzamientos suaves del orden de 15°.

Entre las principales conclusiones de este trabajo se pueden señalar las siguientes:

- En el entorno de la ciudad de Santander se diferencian 13 unidades geotécnicas principales, cuatro correspondientes al sustrato rocoso y nueve al recubrimiento.
- El sustrato rocoso está constituido principalmente por calizas, calcarenitas, margas, areniscas y lutitas.
- Las calizas y calcarenitas son las litologías más abundantes. Desde un punto de vista geotécnico son materiales con una elevada capacidad portante constituyendo buenos niveles de cimentación; en general, presentan también una reducida ripabilidad lo que facilita las excavaciones urbanas. Su principal problema es la presencia de fenómenos de karstificación, que precisan la realización de estudios geotécnicos de detalle para delimitar su alcance y dimensionado.
- Las margas y areniscas se presentan de forma más frecuente a partir del Cretácico Superior. Con espesores reducidos, afloran intercaladas entre niveles calcáreos y localmente poseen bandas carbonosas. Geotécnicamente, presentan una resistencia a compresión media de 5-6 MPa, y una ripabilidad media a baja.
- Las lutitas aparecen de forma mayoritaria en materiales del Cretácico inferior y Triásico asociadas a la facies *Keuper* y la formación Vega de Pas, aflorando fundamentalmente

en la zona sur del municipio de Santander. Suelen aparecer recubiertas por niveles de alteración *in situ*. Son materiales fácilmente ripables y con una reducida capacidad portante, siendo necesario técnicas de cimentación profundas.

- Dentro del recubrimiento, las unidades denominadas: “depósito eluvial I”, “depósito eluvial II”, “depósito eluvial III”, “depósito eluvial IV” y “depósito eluvial V”, son producto de la alteración *in situ* del sustrato rocoso y, en general, se trata de materiales arcillosos CL y, mayoritariamente, CH. La mayor parte muestran una reducida capacidad portante, consecuencia de su reducida resistencia a compresión simple ( $< 0,25$  MPa).
- En todo el entorno de la Bahía se localizan diversos depósitos marinos arenosos, silíceos y con un alto contenido en carbonato cálcico. Esta unidad se caracteriza, principalmente, por sus deficientes condiciones geotécnicas, reflejadas en una nula capacidad portante.
- Los depósitos fluvio-costeros están presentes en todas aquellas zonas topográficamente deprimidas y se caracterizan por presentar una amplia gama granulométrica aunque, en general, predominan las arcillas con un contenido variable en arenas. Presentan una reducida continuidad lateral y marcadas variaciones laterales de potencia; localmente presentan elevados contenidos en materia orgánica.

## 7. REFERENCIAS

- Agencia Estatal de Meteorología (2012). Guía Resumida del Clima en España, Versión 3.0. Agencia Estatal de Meteorología, Departamento de Producción.
- Ayuntamiento de Santander (2012). Plan General de Ordenación Urbana del Ayuntamiento de Santander.
- Barnola, A., Pujalte, V. (2004). La Cordillera Pirenaica. En: *Geología de España*. (J. A. Vera, Ed.) SGE-IGME, Madrid, 233-343.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. *Pearson Educación*, Madrid. 744 pp.
- IGME. (1989). Mapa Hidrogeológico de España 1:200.000, Hoja de Santander.
- Ramírez del Pozo, J., Portero García, J. M. (1976). Mapa geológico de España 1:50.000, Hoja de Santander, IGME.
- Robador Moreno, A., Heredia Carballo, N., Rodríguez Fernández, L. R., Marquínez García, J. (1989). Mapa Geológico de Cantabria 1:100.000, IGME.
- Serrano, A., Hernaiz, P. P., Malagón, J., Rodríguez Cañas, C. (1994). Tectónica distensiva y halocinesis en el margen SO de la cuenca Vasco-Cantábrica. *Geogaceta*. Universidad de Salamanca, 15, 131-134.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer la ayuda prestada a todas aquellas personas, entidades o empresas, que de algún modo han servido de apoyo para la realización de este Trabajo Fin de Máster.

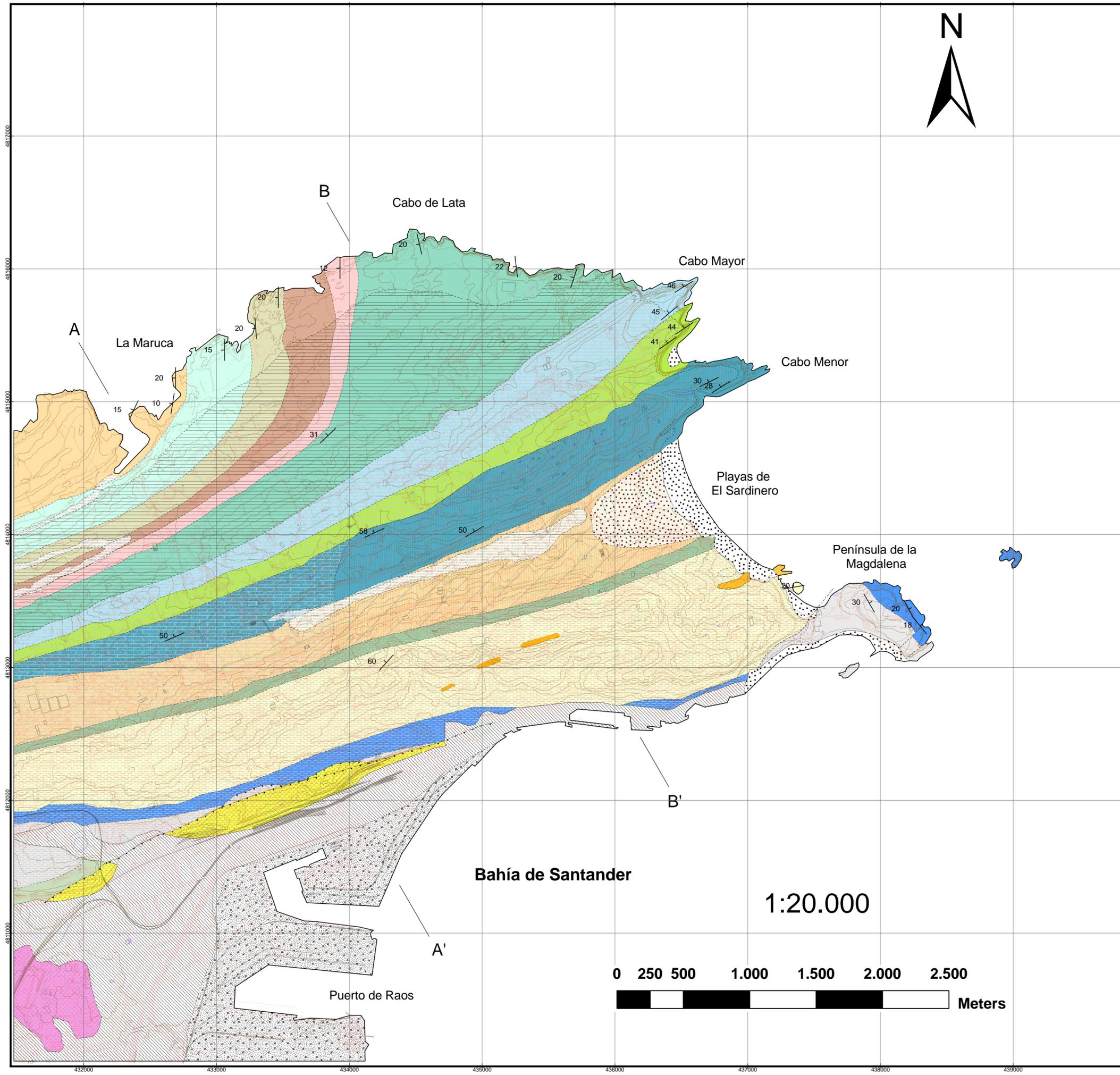
En primer lugar dedicárselo a mi familia, en especial a mi abuelo, ya que sin él no hubiera sido posible realizar este Máster. Una especial mención se merecen mis padres y Bárbara por todo el apoyo que me han dado durante la realización de la presente memoria.

Agradecer a TRIAX, S.A. la información suministrada ya que ha constituido uno de los dos pilares en los que se ha basado este trabajo.

Agradecer del mismo modo al IGME, por cederme la cartografía geológica 1:25.000 de Santander, así como a Alberto Lanza, del Gobierno de Cantabria, por la tramitación de la cartografía 1:5.000, que han sido las bases de la cartografía realizada.

Por último no me gustaría acabar sin mencionar a mi director Carlos López, ya que gracias a sus correcciones y paciencia ha sido posible finalizar este trabajo.

*ANEXO 1: Cartografía geológico-geotécnica de Santander*



### LEYENDA

| CONTACTOS |                        |
|-----------|------------------------|
| -----     | Contacto supuesto      |
| ————      | Contacto observado     |
| —▲—▲—     | Cabalgamiento supuesto |
| -----     | Falla                  |

| FM. SUPERFICIALES                           |                                     |
|---|-------------------------------------|
| [Stippled pattern]                          | Rellenos de bahía/arenas estuarinas |
| [Cross-hatched pattern]                     | Depósito eluvial (I)                |
| [Horizontal lines]                          | Depósito eluvial (II)               |
| [Vertical lines]                            | Depósito eluvial (III)              |
| [Diagonal lines (top-left to bottom-right)] | Depósito eluvial (IV)               |
| [Diagonal lines (top-right to bottom-left)] | Depósito eluvial (V)                |
| [Orange color]                              | Arenas cementadas                   |
| [Horizontal dashed lines]                   | Depósitos fluvio-costeros           |
| [Dotted pattern]                            | Arenas de playa                     |
| [Diagonal lines (top-left to bottom-right)] | Rellenos antrópicos                 |

| SUSTRATO ROCOSO     |                |
|---------------------|----------------|
| [Orange color]      | Fm. Peña Saría |
| [Light green color] | Fm. Estrada    |
| [Olive green color] | Fm. Sancibrían |
| [Brown color]       | Fm. San Juan   |
| [Pink color]        | Fm. San Juan   |

| CUATERNARIO                                 |                                     |
|---|-------------------------------------|
| [Stippled pattern]                          | Rellenos de bahía/arenas estuarinas |
| [Cross-hatched pattern]                     | Depósito eluvial (I)                |
| [Horizontal lines]                          | Depósito eluvial (II)               |
| [Vertical lines]                            | Depósito eluvial (III)              |
| [Diagonal lines (top-left to bottom-right)] | Depósito eluvial (IV)               |
| [Diagonal lines (top-right to bottom-left)] | Depósito eluvial (V)                |
| [Orange color]                              | Arenas cementadas                   |
| [Horizontal dashed lines]                   | Depósitos fluvio-costeros           |
| [Dotted pattern]                            | Arenas de playa                     |
| [Diagonal lines (top-left to bottom-right)] | Rellenos antrópicos                 |

| PALEÓGENO           |                |
|---------------------|----------------|
| [Orange color]      | Fm. Peña Saría |
| [Light green color] | Fm. Estrada    |
| [Olive green color] | Fm. Sancibrían |
| [Brown color]       | Fm. San Juan   |
| [Pink color]        | Fm. San Juan   |

| CRETÁCICO           |  |
|---------------------|--|
| [Teal color]        | Fm. Cabo de Lata                                   |
| [Light blue color]  | Fm. El Sardinero (calizas arenosas)                |
| [Light green color] | Fm. El Sardinero (margas y calizas arenosas)       |
| [Dark blue color]   | Fm. El Sardinero (calizas arenosas y calcarenitas) |
| [Orange color]      | Fm. El Sardinero (margas y calizas margosas)       |
| [Green color]       | Fm. Altamira                                       |
| [Orange color]      | Fm. Bielva (ar. cementadas)                        |
| [Yellow color]      | Fm. Bielva   |
| [Blue color]        | Fm. Barcenaciones                                  |
| [Grey color]        | Fm. Reocín   |
| [Light green color] | Fm. Cuchía   |
| [Yellow color]      | Fm. Vega de Pas                                    |
| [Pink color]        | Triásico en facies Keuper                          |



1:20.000

