



Patronato de la Alhambra y Generalife
CONSEJERÍA DE CULTURA

La presente colección bibliográfica digital está sujeta a la legislación española sobre propiedad intelectual.

De acuerdo con lo establecido en la legislación vigente su utilización será exclusivamente con fines de estudio e investigación científica; en consecuencia, no podrán ser objeto de utilización colectiva ni lucrativa ni ser depositada en centros públicos que la destinen a otros fines.

En las citas o referencias a los fondos incluidos en la investigación deberá mencionarse que los mismos proceden de la Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife y, además, hacer mención expresa del enlace permanente en Internet.

El investigador que utilice los citados fondos está obligado a hacer donación de un ejemplar a la Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife del estudio o trabajo de investigación realizado.

This bibliographic digital collection is subject to Spanish intellectual property Law. In accordance with current legislation, its use is solely for purposes of study and scientific research. Collective use, profit, and deposit of the materials in public centers intended for non-academic or study purposes is expressly prohibited.

Excerpts and references should be cited as being from the Library of the Patronato of the Alhambra and Generalife, and a stable URL should be included in the citation.

We kindly request that a copy of any publications resulting from said research be donated to the Library of the Patronato of the Alhambra and Generalife for the use of future students and researchers.

Biblioteca del Patronato de la Alhambra y Generalife
C / Real de la Alhambra S/N. Edificio Fuente Peña
18009 GRANADA (ESPAÑA)
Tel. (+ 34) 958 027 944
(+ 34) 958 027 945
Fax. (+34) 958 210 235
biblioteca.pag@juntadeandalucia.es

EL MEDIO GEOLOGICO EN EL ENCLAVE MONUMENTAL

JOSE LUIS SALINAS RODRIGUEZ *

LA GEOLOGIA, BASE TECNICA Y REFERENCIA SIMBOLICA DEL MONUMENTO

El binomio Alhambra y geología es suficientemente rico en sugerencias como para no limitarse a considerar factores estrictamente técnicos o científicos. La geomorfología, la petrología, la estratigrafía, la tectónica o la hidrogeología son ramas geológicas a través de las cuales se estudia la estabilidad del emplazamiento, las condiciones de cimentación de los edificios o las cualidades mecánicas de los materiales pétreos utilizados en su construcción. Pero también pueden buscarse connotaciones geológicas en aspectos referidos a la simbología del monumento.

Evidentemente, la geología es una ciencia clave en los aspectos geotécnicos; se trata del fundamento tangible sobre el que opera la técnica constructiva. El suelo y la interacción suelo-estructura se inscriben en un marco geológico de obligado conocimiento para la correcta resolución de los problemas de cimentación surgidos al levantar edificios y murallas. La elección de un emplazamiento adecuado para las necesidades defensivas y habitacionales del conjunto de la Alhambra requirió partir de un terreno de cimentación estable; pero es que la erosión diferencial que origina el promontorio sobre el que se levanta el monumento se produce porque el terreno es suficientemente consistente como para permitir la formación de escarpes pronunciados. Es decir, un cerro o una colina prominente puede llevar parejo un buen terreno de cimentación, al menos en la plataforma que lo remata (ausencia de tramos muy arcillosos, de aguas que inestabilicen el suelo, etc.).

Estas circunstancias, que justifican la elección del emplazamiento, eran conocidas, en el ámbito de la "práxis" constructiva cotidiana, no ya por los

musulmanes sino por quienes, mucho tiempo antes, eligieron el promontorio que ocupa la Alcazaba como, presumiblemente, primer asentamiento permanente en la colina de la Alhambra. Porque en ese tiempo se buscaba, ante todo, como baluarte defensivo, una fortaleza natural. Posteriormente, junto a la Alcazaba se edificaron los Palacios Arabes, en zona de topografía menos contrastada; y todavía más a oriente el conjunto monumental se completó con el Generalife, construido ladera arriba hacia el cerro de Santa Elena. Un lugar más abierto, con una posición, podría decirse, de carácter menos "estratégico", destinada a huertas y residencia estacional.

La ubicación prominente de la Alhambra, una especie de "isla" separada del resto de la ciudad por la topografía abrupta del terreno, y por torres y murallas que la individualizan aún más, tiene un innegable simbolismo. La encontraría el habitante de la ciudad cada vez que levantara su vista al cielo, como si el Palacio Real, y quien lo habitaba, fuera un intermediario entre la tierra y ese cielo hacia el que el súbdito dirigía su mirada.

La Alhambra está cuajada de significados que encuentran en la Naturaleza su modelo y su explicación. Bastará referirse a la armonía que desprende el Palacio de Comares, en el que sus proporciones aúricas emanan sensaciones de ritmo y de equilibrio; o al Patio de los Leones, en el que se concentra, como la luz en una gema, toda la capacidad de sugestión del monumento. Algo que contrasta con el trazado aparentemente caótico, laberíntico, de la configuración de los palacios nazaríes. El orden, la simetría, se consuma en sus núcleos habitacionales. Como sucede en el propio mundo natural, en el que los minerales cristalizan siguiendo unas pautas reiterativas de las que resultan formas geométricas concretas, pero que,

cuando se agregan para construir rocas, éstas no reflejan la perfecta simetría cristalográfica de sus minerales constitutivos.

Por la Alhambra han transitado, podría decirse que en conjunto felizmente, los siglos. Los sismos, las inundaciones, la degradación de los materiales de cimientos y estructuras (por no citar la desidia y la agresión humanas), han producido heridas que se ha sabido ir cicatrizando, de tal modo que la visión actual del monumento produce la impresión de algo vivo. Probablemente el agua que se bombea en el corazón de las fuentes, reverbera en las estancias y tiñe de color los jardines, es la savia vital que contribuye a hacer de la Alhambra un ente dinámico que, parafraseando a Heráclito, *nunca se mira dos veces en el mismo río*. De aquí, al menos en parte, que cada visita a sus palacios y rincones se convierta en una experiencia diferente.

LOS MATERIALES Y LA ESTRATIGRAFIA

Sabido es que los materiales que fueron utilizados por los musulmanes para levantar las construcciones son sencillos: tapial y ladrillo. Las tonalidades rojizas predominantes en el monumento denotan la presencia de componentes férricos incorporados a ellos. La tierra rojiza, el “alpañate”, es responsable de esas coloraciones en el tapial (mortero de tierra apisonada con cal). La desnudez de estos materiales está vestida por mosaicos y atauriques. Los geométricos alicatados de cerámica de los zócalos, las labradas yeserías que adornan paños y huecos (cenefas, mocárabes, frisos, ...) remiten en su origen al material geológico. Los cantos y guijarros de cuarcita, de esquisto, de caliza mármorea con los que se montan los empedrados proceden del propio suelo de la Alhambra. Otros materiales han llegado de más lejos. Musulmanes y cristianos han utilizado el mármol blanco de Macael para columnas, capiteles, enlosados y fuentes. El catálogo de materiales pétreos comprende la toba calcárea de Alfacar, la pudinga de Turro (“almendrilla”), la calcarenita bioclástica de Santa Pudía y otras localidades, la caliza micrítica gris de Sierra Elvira, la blanca de Loja, la serpentina de Sierra Nevada, el basalto negro y, como material más significativo, el ya mencionado espléndido mármol de Macael, comparable al de Carrara (las 124 columnas que cercan el Patio de los Leones es un ejemplo de ello).

Nos ocuparemos en particular, por su especial incidencia geotécnica, de los sedimentos sobre los que se cimenta el conjunto monumental. Estos materiales se conocen, en su conjunto, como “formación Alhambra”.

Esta formación (Fig. 1) está constituida por una

alternancia de conglomerados —con cantos de naturaleza metamórfica— y niveles arenosos y/o pelíticos, aunque con predominio de los primeros. El color característico es el rojo, pero existen tramos grisáceos. El espesor, en el entorno de la Alhambra, es del orden de 350 m.

Los niveles conglomeráticos afloran en bancos de potencia variable, que oscila entre 2 y 5 m en las partes bajas de la secuencia aflorante, donde los niveles pelíticos son más abundantes, y los 15 ó 30 m, a veces más, en las partes altas de la misma. Los cantos, redondeados y heterométricos, presentan un tamaño medio de 10 cm, y un máximo de hasta 1'5 m de diámetro. La matriz, cuya proporción es variable según los puntos, es de naturaleza limo-arenosa, haciéndose más arcillosa hacia las zonas altas de la secuencia.

El área fuente de estos sedimentos es el núcleo de Sierra Nevada (Complejo Nevada-Filábride) y los relieves colindantes, estando constituidos fundamentalmente por cantos de naturaleza metamórfica (esquistos, micasquistos con granates, cuarcitas, etc.), así como por algunos cantos de naturaleza carbonatada cuya procedencia podría ser la de los relieves carbonatados situados al norte (Complejo Alpujarride).

Los niveles pelíticos, alternantes con los conglomerados, presentan espesores que pueden alcanzar hasta 6 m, si bien su potencia media se sitúa entre los 0'5 y 2 m. Aparecen normalmente en afloramientos discontinuos con corridas superiores a 50 m y localmente en formas lenticulares. Aunque habitualmente muestran color amarillento, existen algunos niveles de tonalidades grises o rojizas que corresponden a capas más margosas o arcillosas, respectivamente.

Dentro de los conglomerados aparecen, de forma puntual, episodios de encostramientos cuya génesis está ligada a precipitación de carbonatos originados por las fluctuaciones de antiguos niveles freáticos y/o a procesos edáficos. Engloban cantos que pueden medir hasta 30 cm de diámetro y presentan espesores que oscilan entre 1 y 2 m de potencia.

Como estructuras sedimentarias sólo son apreciables algunas laminaciones paralelas o cruzadas en los materiales más finos, así como rellenos de canal de base irregular, imbricación de cantos u orientación preferencial de los mismos, y granoclasificación normal.

EL MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El conocimiento del entorno geológico es imprescindible para comprender cómo el territorio sobre el que se levanta el monumento ha llegado a ser lo que es, y para poder evaluar su evolución tanto desde un punto de vista estático como en régimen dinámico.

La colina de la Alhambra se localiza en el sector central de la región alpina bética, formada por subducción y colisión de las placas africana y euroasiática (que se aproximan según una dirección NNO-SSE). Concretamente se emplaza en la zona de contacto entre las zonas externas e internas de las Cordilleras Béticas, de tal forma que las áreas montañosas vecinas están formadas por unidades comprimidas y cabalgadas durante la orogenia alpina.

Estos esfuerzos tectónicos han producido un cortejo de fallas profundas de gran persistencia en el tiempo, que al moverse han dado origen a nuevas fallas en los terrenos que se han ido depositando en la cuenca individualizada durante el Mioceno en Granada. La sismicidad que presenta la región es el reflejo de que al menos algunas de esas fallas siguen activas, produciendo movimientos que se detectan como sacudidas sísmicas.

El relleno de aquella depresión se produjo en cinco secuencias sedimentarias, las dos primeras marinas, y las otras tres continentales. La "formación Alhambra" corresponde a la cuarta secuencia y la integran sedimentos depositados por abanicos aluviales durante el Plioceno superior-Pleistoceno inferior (de unos 3 a 1'5 millones de años b.p.). En época más tardía (Pleistoceno medio y superior) se produjo una intensa fracturación que afectó a los materiales depositados, con grandes desplazamientos verticales, y se desarrolló la red fluvial actual.

La figura 2 presenta un esquema geológico del entorno del conjunto monumental.

TECTONICA Y NEOTECTONICA DEL EMPLAZAMIENTO

Las unidades estratigráficas que configuran la "formación Alhambra" se encuentran en conjunto prácticamente horizontales o muy ligeramente inclinadas. Sin embargo, como ya se ha señalado, los sedimentos están afectados por fracturas. La principal familia de fallas que compartimenta el macizo tiene una dirección NO-SE, y existe otra de menor frecuencia con dirección NNE-SSO. Los movimientos que se observan con claridad son siempre de tipo normal, es decir, movimientos según el buzamiento (en la vertical) producidos en un régimen distensivo.

Una de las líneas de falla que pasa por El Fargue separa el bloque en que se sitúa la Alhambra de otro más elevado donde se emplazan Alfacar y Víznar. En los bordes de la cuenca hay fallas normales de gran salto vertical (un conjunto de fallas hunde la "formación Alhambra" unos 300 m hacia la vega de Granada). Tanto la sismicidad (mecanismos focales com-

patibles con el mismo régimen extensional de las fallas) como ciertos rasgos morfológicos (escarpes bien conservados), indican que la familia dominante, con direcciones NO-SE, podría continuar activa (de esta circunstancia se ocupa la neotectónica).

Varias fallas de esta familia se localizan en el entorno de la Alhambra, como es la falla que cruza el Albaicín y las proximidades del Castillo de Santa Elena (con un importante salto vertical), que hunde el bloque occidental, al igual que la mayoría de las litoclasas de esta familia. Dentro del emplazamiento, existen algunas fallas configurando las paredes del Tajo de San Pedro, que se prolongan bajo el recinto monumental. La falla principal es la que forma la pared occidental. Su plano tiene una dirección aproximada NO-SE y buza unos 75° al NE. En realidad se trata de tres fallas paralelas que acumulan un salto superior a 2 m. En la pared suroriental se observan dos fallas más, posiblemente paralelas pero antitéticas de la anterior, con buzamientos al SO y saltos individuales menores. Todas las fallas que aparecen en este lugar tienen salto de tipo normal, indicando tectónica distensiva. En el camino que corona el tajo una de estas fallas se orienta según N 147°-70° O. Existen otras dos fallas con orientaciones N 0°-82° E (con unos 35 cm de material triturado que ha sufrido arrastre) y N 40°-77° SE.

En el caso de que alguna de las fallas mencionadas permaneciese activa, la actividad sísmica de la región podría repercutir sobre su desplazamiento, introduciendo un efecto perturbador adicional sobre la estabilidad de las edificaciones.

Los musulmanes, deudores en gran parte de los modelos conceptuales de la ciencia griega, construyeron grandes pozos para tratar de paliar los efectos destructores de los terremotos. Hoy, naturalmente, sabemos que los sismos no se producen por el empuje de gases, a los que se trataba de dar salida con los pozos. Pero su actitud previsor, aunque errónea, es un buen ejemplo de que sus construcciones, aparentemente frágiles, estaban pensadas para perdurar. Gracias a ello podemos seguir disfrutándolas hoy.

EL ESPACIO GEOMORFOLOGICO

La Alhambra se ha edificado sobre una colina que le sirve de defensa natural. Este promontorio se ha diferenciado geomorfológicamente por la acción erosiva del río Darro y del antiguo arroyo que discurría por lo que hoy es la Cuesta de Gómez. Dos barranqueras transversales aislaron la Alcazaba de los Palacios Arabes (actual emplazamiento de un aljibe) y la Alhambra del Generalife (vaguada de la Cuesta de los Chinos).

La acción erosiva del río Darro es importante, con una acción socavadora en la ladera norte del conjunto monumental que se ha manifestado a veces bruscamente durante las crecidas. En el sector del Generalife se han producido deslizamientos, y en la Alhambra, junto a la iglesia de San Pedro, en el tajo de ese nombre, desprendimientos.

Los problemas derivados de la dinámica de las vertientes estarían acrecentados por la actividad tectónica, que compartimenta la "formación Alhambra", y por los eventos sísmicos, que introducen esfuerzos dinámicos.

El Tajo de San Pedro es un reflejo de la actividad geomórfica derivada de las circunstancias reseñadas. La evolución de la ladera en que se ubica se verifica, fundamentalmente, por arroyada concentrada, que produce abarrancamientos (este efecto está hoy minimizado por la repoblación forestal de dicha ladera). Simultáneamente, las crecidas del río Darro han determinado una acción socavadora del terreno, muy manifiesta en la base del Tajo de San Pedro, con producción de desprendimientos favorecidos por la disposición de las fracturas, que son las que configuran el escarpe del talud (Lám. 1). Los planos de falla afloran unos 40 m, y forman un diedro de unos 90°, ligeramente asimétrico, que define una cuña de retroceso del cantil. El modelado de este tajo tiene, pues, un claro control tectónico.

Por otra parte, en el entorno del Generalife y Castillo de Santa Elena se han producido deslizamientos de ladera, hecho normal desde el punto de vista de la dinámica de las vertientes, puesto que el río Darro (como también el Genil, que cierra al sur el promontorio que se prolonga más allá de las murallas de la Alhambra) está fuertemente encajado, con pendientes acusadas en la ladera. Las intercalaciones limo-arcillosas en las secuencias conglomeráticas de la "formación Alhambra" propician deslizamientos con roturas que dejan cicatrices circulares en las cabeceras y material desorganizado al pie. Se producen asimismo fenómenos de reptación que conducen a crestas y surcos paralelos a la dirección de la ladera.

Problemas más localizados derivados de desprendimientos de material granular, debido a la acción de deslave de la escorrentía, se originan en los cortados de la Cuesta de los Chinos. Finalmente, algunas de las cuevas excavadas en el terreno están afectadas por hundimientos parciales.

LAS MÚLTIPLES CARAS DEL AGUA: HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA

El comportamiento hidrogeológico de la "formación Alhambra" viene dado por la permeabilidad

diferencial de los materiales que la constituyen. La disposición estratificada de los mismos introduce tramos más húmedos en los paquetes más limo-arcillosos. Por ejemplo, en las paredes del Tajo de San Pedro se constata la existencia de estas humedades. Sin embargo, no se tiene constancia de ninguna fuente natural tanto en la Alhambra como en el Generalife. Las aguas llegan al conjunto monumental, repartidas desde albercones, por la Acequia del Rey, que discurre paralela al río Darro en la coronación de su margen izquierda.

La dinámica hídrica puede determinar un lavado y arrastre de las partículas más finas y conducir a reblandecimientos y disminución de cualidades resistentes tanto del terreno de cimentación de los edificios como en las laderas.

No obstante, desde el punto de vista hidráulico, los efectos desestabilizadores sobre la colina de la Alhambra de mayor importancia están ligados a las crecidas del Darro, un río actualmente sin regular. En el tramo que cruza el monumento, este río, que tiene una longitud de 21 Kms en su cauce principal, está próximo a desembocar en el Genil. Su dinámica, en condiciones normales, es la de un río tranquilo. Sin embargo, a través de los siglos son numerosas las veces en que ha sido protagonista de inundaciones. Un documento de la época señala que la crecida del 5 de Marzo de 1600 *socavó la base de la Colina Roja de la Alhambra, dando lugar al desprendimiento que hoy se conoce con el nombre de Tajo de San Pedro*. Los desbordamientos históricos de este río se producen con un período de retorno de unos 23 años (con unos caudales máximos próximos a 100 m³/seg).

Se concluirá este artículo con una reflexión sobre el significado simbólico del agua, que retoma la idea expuesta al comienzo del mismo. Su posible incidencia en el deterioro tanto del terreno como de los materiales con los que está construido el monumento es menos relevante si se compara con los efectos subjetivamente revitalizadores sobre el mismo. Su presencia actual nos dice tanto como las inmóviles piedras que se reflejan en estanques, fuentes y canaletas, que acumulan siglos de historia. Es más: muchas veces es viendo el reflejo cambiante de los edificios sobre las aguas como mejor percibimos que nos encontramos ante un monumento vivo (es en particular sugerente la visión de la Torre de Comares reflejada en el estanque del Patio de los Arrayanes).

Los cuatro surtidores que, señalando cada uno de los puntos cardinales, surgen de las dependencias que cierran el Patio de los Leones orientan la sensibilidad que animó a sus constructores: la referencia a un mundo externo geológico se hace explícita en el

agua que es conducida desde la gruta simulada (los mocárabes recuerdan un tapiz de estalactitas) hasta la fuente central del patio, el punto gravitacional del oasis, desde la que regresará a la tierra para

seguir fecundando otros caminos, sugiriendo nuevas visiones.

* CEDEX, Laboratorio de Geotecnia.

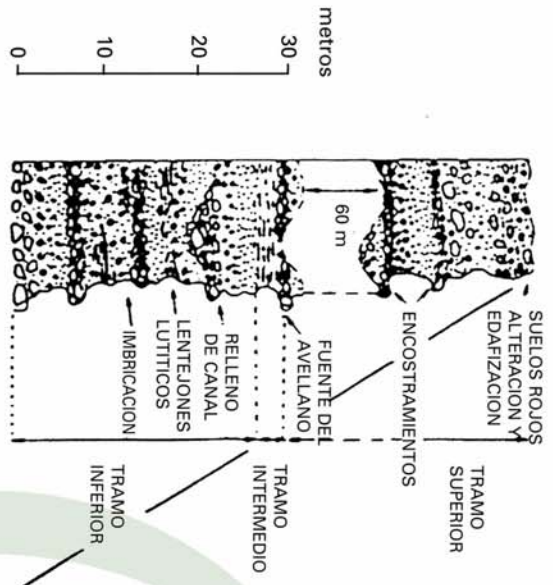




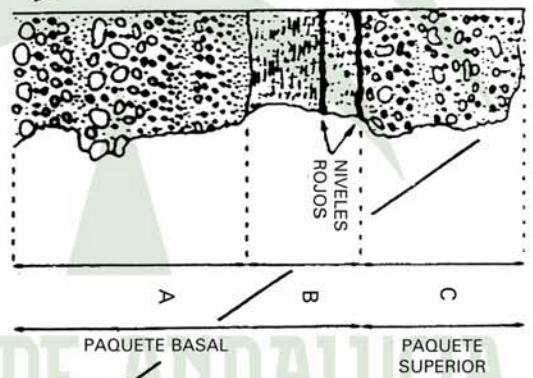
/ Discontinuidades mecánicas
///// Escarpe de falla

Lám. 1. Sistemas de fracturas en la ladera del Tajo de San Pedro.

FUENTE DEL AVELLANO



TAJO DE SAN PEDRO



CUESTA DE LOS CHINOS

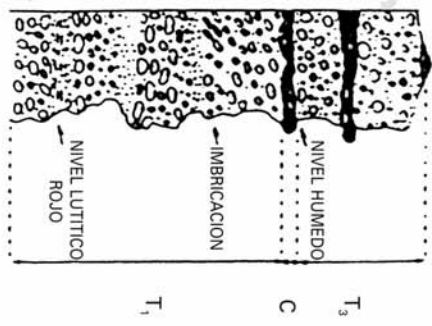


Fig. 1. Secuencia estratigráfica de la "formación Alhambra" que aflora en el entorno del monumento.

JUNTA DE ANDALUCÍA
CONSEJERÍA DE CULTURA
Patronato de la Alhambra y Generalife

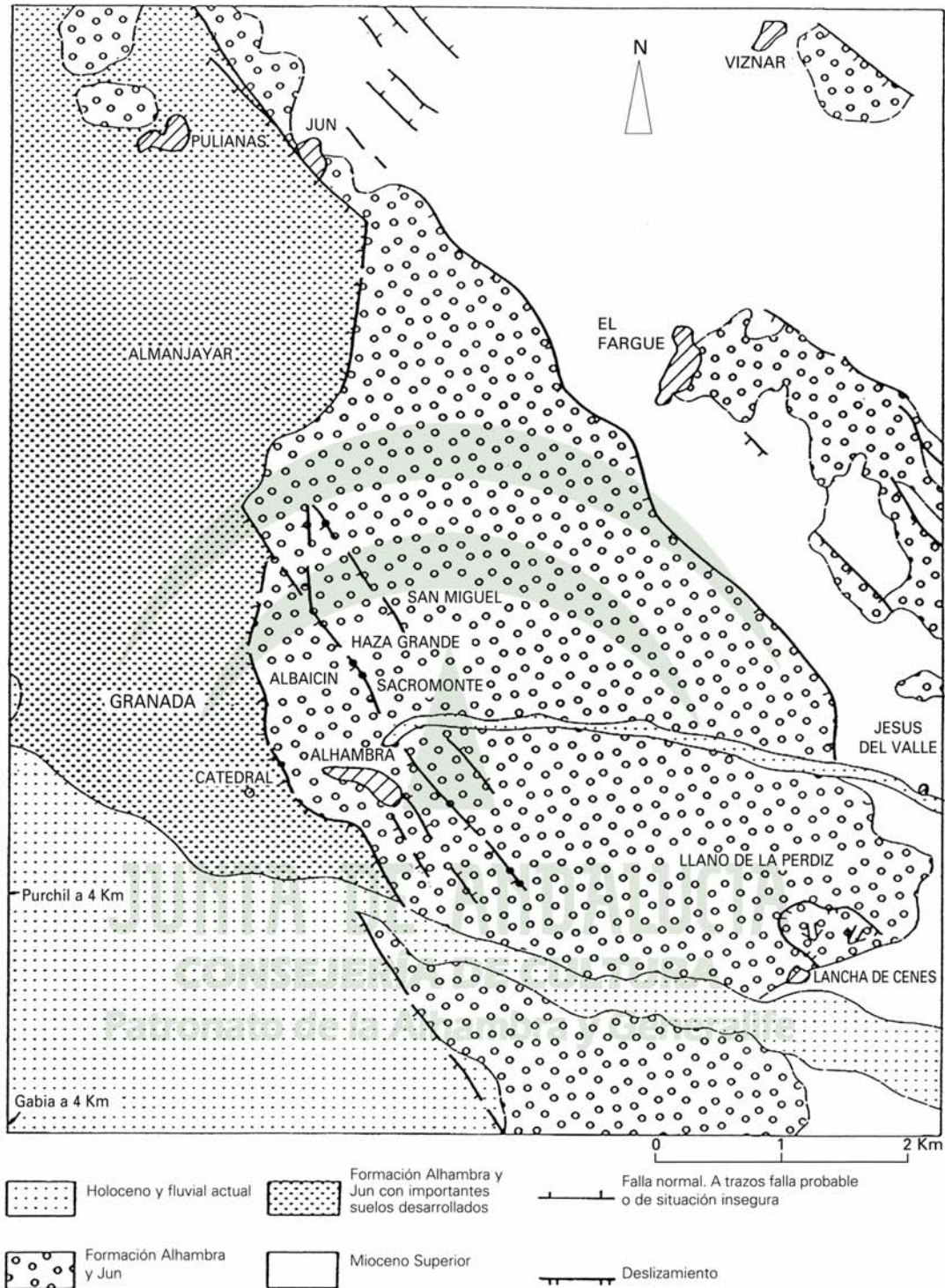


Fig. 2. Esquema geológico del entorno de la Alhambra. (Fuente: Prospección e Ingeniería y CEDEX).

