

URBANIZACIÓN, INFRAESTRUCTURAS Y RIESGOS NATURALES EN LA PERIFERIA MONTAÑOSA DE LA CIUDAD DE MÁLAGA. EL CASO DEL MONTE SAN ANTÓN.

MATÍAS MÉRIDA RODRÍGUEZ
M^a JESÚS PERLES ROSELLÓ
RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA

RESUMEN

El artículo pone de manifiesto las relaciones entre medio físico, riesgos naturales y crecimiento urbano a través del análisis de un caso concreto: el entorno del monte San Antón, en la periferia este de la ciudad de Málaga. En este espacio encontramos una situación paradójica: una de las áreas de mayor calidad residencial de la ciudad es a la vez uno de los enclaves con mayor fragilidad respecto a los riesgos naturales.

ABSTRACT

This paper tries to explain the relationships between environment, natural risks and urban development through the analysis of a singular case: the San Anton mountain, in the east border of Malaga. This site presents a paradox: this is one of the most high quality residence areas of Malaga and also one of the most fragility place to the natural risks.

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MONTE SAN ANTÓN.

El monte San Antón es un promontorio calizo existente al este de la ciudad de Málaga, de la cual forma parte parcialmente y a la vez enmarca por su borde noreste, en las estribaciones de los montes de Málaga (ver mapa nº 1). Su altura es relativamente modesta, unos 508 m., pero su cercanía a la línea de costa (unos 3 kilómetros en línea recta desde su cima) genera unos fuertes desniveles (21.9% de media), que contrastan vivamente con los presentes en la estrecha franja litoral así como con los existentes en las zonas montuosas más cercanas. Por tanto, se trata de un destacado elemento del relieve en el entorno de la ciudad de Málaga. Otros montes de semejante localización periurbana y que también constituyen claros resaltes topográficos presentan unas alturas más modestas: Gibralfaro (140 m.), Cerro Coronado (200 m.), lo que refuerza la impronta sobre el área circundante del monte San Antón.

Además de por su altura, el monte San Antón resalta sobre su entorno por la naturaleza de sus materiales, predominantemente calcáreos, frente a los materiales pizarrosos o arcilloareniscos circundantes. Estructuralmente, pertenece al Complejo Maláguide o Bético de Má-

Mapa 1.
Área de estudio



laga, uno de los tres complejos que componen la Zona Bética de las Unidades Internas (o Zonas Internas) de los Sistemas Béticos, unidades formadas, a diferencia del resto de la cordillera, por una tectónica de mantos de corrimientos. De todos ellos, se trata del más superficial, situándose tectónicamente por encima del Alpujárride y del Nevado-Filábride.

En la estratigrafía de este Complejo se distinguen 2 conjuntos netamente contrastados. El inferior, formado por materiales metamórficos, aunque con un débil grado de metamorfización, y el superior, que no presenta signos de metamorfismo. Además, se diferencian por la edad de sus materiales, predominantemente paleozoica en el conjunto inferior y fundamentalmente mesozoica en el superior. Por lo que respecta a su composición, el inferior está formado básicamente por rocas de naturaleza silícea, mientras que el conjunto superior se compone fundamentalmente de materiales calcáreos.

La serie inferior es espacialmente dominante, ocupando la mayor parte de la extensión del Complejo Maláguide, y le proporciona su modelado más característico, extendido en los Montes de Málaga. Este conjunto está formado por materiales que van desde el precámbrico al carbonífero, con distintas series de rocas, todas ellas con distintos grados de metamorfismo y esquistosidad. Estos materiales pizarrosos proporcionan un modelado de formas pesadas, redondeadas, de laderas convexas, con elevadas pendientes en sus flancos y menores en sus cimas.

Dentro de este conjunto inferior podemos distinguir las siguientes series:

1.- Filitas, metaareniscas y conglomerados de cuarzo, desde un límite inferior sin determinar exactamente, aunque con toda probabilidad de edad precámbrica, hasta comienzos del silúrico. Aparecen también con frecuencia diques de diabasa, de escasa potencia y subverticales.

2.- Calizas, filitas y grauwas, del silúrico al devónico. Aparecen desde calizas azules a calizas alabeadas, filitas y grauwas. Las dos primeras constituyen prácticamente los únicos materiales calcáreos del conjunto inferior, aunque por su intensa tectonización ofrecen un modelado semejante al de los materiales pizarrosos.

3.- Grauwas, luditas, filitas y conglomerados poligénicos, del devónico al carbonífero.

Por su parte, el conjunto superior aflora de una manera significativa únicamente en determinadas zonas, entre las que destaca San Antón, ocupando en relación con el inferior una superficie mucho más reducida. A este conjunto se le denomina con el término de "cobertera maláguide" (Estévez y Chamón, 1978) y se sitúa estratigráficamente por encima del conjunto paleozoico, el sustrato del Bético de Málaga.

La cobertera se apoya discordantemente sobre el sustrato paleozoico. Se trata de la cubierta sedimentaria del complejo, estando ausente el metamorfismo. Está compuesta por materiales predominantemente calcáreos, aunque también asoman los silíceos, siendo su distribución espacial equivalente a su situación estratigráfica. Así, los materiales estratigráficamente más antiguos tienen una mayor representación espacial que las series geológicamente más recientes. Dentro de este conjunto superior sedimentario, podemos diferenciar las siguientes series:

1.- Areniscas, conglomerados, arcillas y yesos. Son de edad permo-triásica. Constituyen la base de la cobertera y por esta razón tienen una mayor extensión superficial que las series

superiores. La alternancia de materiales, junto a sus diferencias en consistencia y permeabilidad, convierten a estos terrenos en altamente susceptibles a la inestabilidad de laderas.

2.- Dolomías liásicas. Representan el primer escalón de la cobertera calcárea, aunque tiene una potencia escasa. Se encuentran en estado masivo y tableadas. A veces descansan sobre el permotriás y otras veces directamente sobre los materiales paleozoicos. En ambos casos, el contacto es mecánico.

3.- Calizas masivas blancas, de edad jurásica (Dogger-Malm). Tienen un mayor desarrollo vertical que las formaciones dolomíticas, aunque menor representación superficial y aparecen de forma masiva y fracturadas. Es el material dominante en San Antón.

4.- Calizas rojas del cretácico superior. Su representación superficial es muy escasa y se reconocen con facilidad por su fuerte tono rojizo. Tienen una escasa representación superficial, aflorando también en San Antón.

5.- Calizas y margas del eoceno inferior. También tienen una débil implantación territorial. La serie presenta diferencias según el material que predomine, el calizo o el margoso. Constituye la tradicionalmente considerada parte superior de la cobertera maláguide, y son materiales menos consolidados que los de las series mesozoicas, por lo cual su inestabilidad será mucho mayor. Al igual que las dos anteriores, está representada en San Antón, siendo los materiales más afectados por los movimientos de ladera.

6.- Oligoceno y Mioceno inferior. Algunos autores prolongan la cobertera maláguide hasta esta serie, tradicionalmente considerada como postmanto. En cualquier caso, no se extiende sobre el entorno de la ciudad de Málaga.

Los materiales de la cobertera maláguide, aunque ocupan un escaso porcentaje de los terrenos del Complejo, se desarrollan de un modo significativo en sus extremos, siendo el entorno de la ciudad de Málaga el área donde adquiere una representación más completa y constituyendo el monte San Antón uno de sus puntos más significativos, tanto por número de series como por su espesor (particularmente las calizas jurásicas).

Por tanto, la periferia de la ciudad no solamente es un área accidentada topográficamente, sino que también es una zona de litología especialmente compleja. Como hemos señalado, aparece una gran diversidad de materiales, pero lo que quizá sea más importante, una gran variedad en aspectos como los grados de permeabilidad, la consistencia, el modelado, etc. En líneas generales, encontramos unos materiales más homogéneos, consolidados, mayoritariamente poco permeables y de modelado homogéneo (materiales pizarrosos del sustrato maláguide) frente a materiales más heterogéneos, en su composición y en sus afloramientos, con fuertes alternancias en consolidación, permeabilidad y modelado (materiales de la cobertera sedimentaria).

La diferencia entre ambas series estratigráficas no es solamente estructural, sino que la diferencia litológica va a influir en una diferenciación de modelado, redondeados, con perfiles convexos, en los materiales del sustrato, agrestes, con acusadas rupturas de pendientes, en el caso de la cubierta caliza. Además de por la naturaleza de la litología, el modelado hace que mientras unos materiales, los paleozoicos, sostengan un cierto grado de cubierta vegetal, bien natural o bien cultivada, los calcáreos afloren en numerosas ocasiones de forma desnuda, en las zonas más abruptas, o con vegetación natural donde la pendiente se torne algo más apta.

Por ello, además de una diferencia de textura (roca coherente frente a materiales más sueltos), tendremos una clara diferencia cromática (tonos grises frente a tonos marrones) y de usos (a grandes rasgos, usos del suelo agrícolas frente al roquedo o vegetación natural). Por estas razones, desde un punto de vista paisajístico, el monte San Antón contrasta con el paisaje circundante, lo que aumenta su singularidad, refuerza su carácter referencial y lo convierte en un hito paisajístico de primer orden en su entorno, un espacio dotado de un alto valor paisajístico extrínseco, es decir, derivado de sus condiciones de visualización. Este valor paisajístico repercutirá en una alta valoración desde un punto de vista residencial, lo que lo transformará en un espacio demandado por la actividad residencial.

Sin embargo, su mayor complejidad litológica lo hace más susceptible que otras zonas cercanas a los movimientos en masa. Además, esta variedad litológica no es ordenada, sino que hay frecuentes cabalgamientos y saltos estratigráficos. Así, por ejemplo, los materiales del eoceno descansan directamente sobre el sustrato paleozóico, en lugar de hacerlo sobre los estratigráficamente inferiores. Por otro lado, el predominio de la vegetación natural será uno de los factores que incida en el alto riesgo de incendios que soporta.

2. CRECIMIENTO URBANO E INFRAESTRUCTURAS.

2.1. Desarrollo de la urbanización.

Como hemos apuntado, debido a sus características físicas el monte se configura como un espacio paisajísticamente muy relevante, dominante en altura respecto a los relieves circundantes, y cercano al mar, frente al que dirige imponentes vistas. Estas razones le confieren un gran valor residencial, particularmente para la residencia de alto nivel. Si a estas cualidades topográfica-paisajísticas, le unimos valores naturales (las zonas altas y las laderas norte y oeste están ocupadas por vegetación natural o roquedo, posee una relativamente alta riqueza faunística), climáticos (amplia orientación sur, atenuación del rigor estival por la altura, mayor humedad) y sobre todo su localización muy cercana a la ciudad, sus cualidades para la residencia de calidad son evidentes.

A pesar de ello, el desarrollo urbano de este espacio a través de la residencia de alto nivel (la única que puede pagar los elevados precios del terreno, producto de la fuerte demanda, y los elevados costes de construcción en zonas topográficamente difíciles para la edificación) se producirá sólo a partir de dos hechos. En primer lugar, la existencia de una clase social que demande estos espacios y que no tengan ya su residencia en otros barrios tradicionales de la alta burguesía (por ejemplo, Limonar). Es decir, es necesario un periodo de expansión económica que haga surgir o crecer una clase media-alta o alta que aspire a espacios residenciales de estas características.

Por otro lado, aunque exista la clase social, la demanda no existirá hasta que no se generalice el uso de un elemento fundamental: el automóvil. En efecto, las condiciones de lejanía del centro urbano y más exactamente de altitud obligan al uso de vehículos de motor; además, el transporte público normalmente ha permanecido alejado de las urbanizaciones residenciales privadas hasta época muy reciente.

Ambas circunstancias, clase social y automóvil, coincidirán en los años 60 y 70 de nuestro siglo: expansión económica, que origina un gran crecimiento urbano y demográfico en la ciudad, crecimiento que, aunque fuera mayoritariamente de clases medias y trabajadoras, incluyó también sectores profesionales o empresariales de alto nivel social.

Fue en los años 60, por tanto, cuando se reunieron las condiciones necesarias para la urbanización. El promotor introdujo, con acierto, una nueva: la reforestación de gran parte de la ladera sur del monte, comenzada a finales de la década de los 50, que aportó una mejora ambiental que revaloriza aún más la zona.

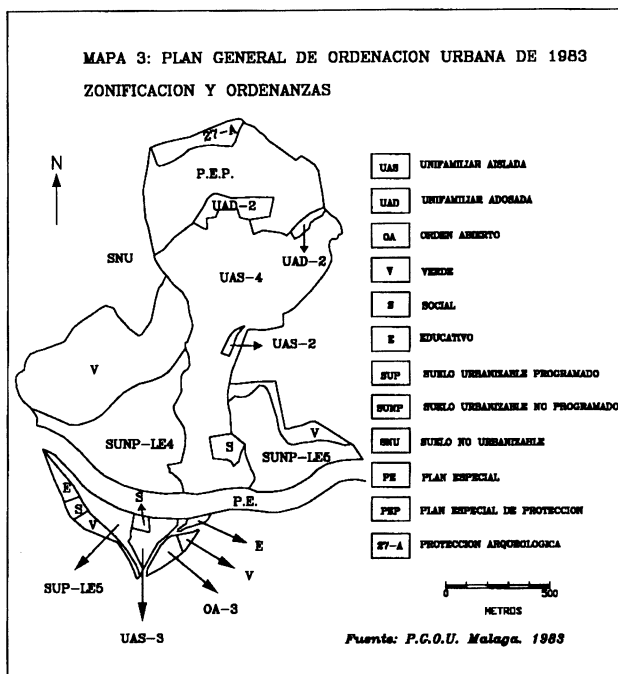
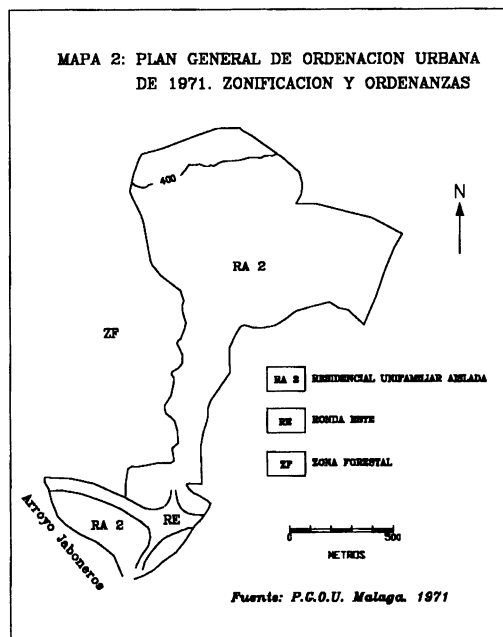
El modelo de crecimiento de la urbanización Pinares de San Antón fue típico del producido en estos años en la ciudad: urbanizaciones en suelo rústico en promociones privadas que se realizaban y posteriormente, años más tarde, se incorporaban al planeamiento. En contra de lo que pudiera parecer normal (por esta situación de ilegalidad), este problema afectaba particularmente a las urbanizaciones residenciales de la zona este de la ciudad (Cerrado de Calderón, El Candado, etc.), cuyas laderas montañosas se fueron poblando de urbanizaciones autocontenidas, desconectadas unas de otras, que fueron conformando una ciudad producto de la adición de polígonos, inconexa y cuya articulación se ha evidenciado como de gran dificultad.

En concreto, la urbanización Pinares de San Antón, que ocupa prácticamente toda la ladera sur del monte, presentó su proyecto de urbanización (Plan parcial y Plan de Urbanización) en 1965, aprobándose inicialmente en 1966, en un contexto de carencia de planeamiento en la ciudad. La tipología adoptada era la unifamiliar aislada. Igualmente, la urbanización San Isidro, en la zona más baja, también presentó su proyecto de urbanización en 1966, aunque en este caso la tipología sería la plurifamiliar exenta. Por ello, esta urbanización responde más a la expansión de la ciudad que a las particularidades de la urbanización residencial. Por ello, nos referiremos fundamentalmente a la urbanización Pinares de San Antón.

El PGOU de 1971 (Caballero y Álvarez de Toledo, 1972) clasificó los terrenos como urbanos, bajo la calificación de Residencial Unifamiliar Aislada, alcanzando el suelo urbano, en consonancia con el carácter desarrollista del Plan, cotas muy elevadas, superiores a los 400 metros. Igualmente, ya aparece la reserva de suelos para la ronda este de la ciudad, que divide la zona residencial en dos partes, una al norte y otra al sur (ver mapa nº 2).

Tras la elección de los primeros ayuntamientos democráticos, la urbanización se regularizó jurídicamente tras un convenio urbanístico firmado en 1981. En el planeamiento de 1983 (Moreno, Quero y Seguí, 1983) se procedía a una nueva zonificación del suelo urbano (ver mapa nº 3): unifamiliar (mayoritariamente aislada), con distintos grados de densidad, orden abierto (en la zona más baja, en la urbanización San Isidro), equipamientos diversos, y se mantenía la reserva de terrenos para la futura ronda de circunvalación de la ciudad. Por otro lado, se clasifican nuevas zonas como terrenos urbanizables en la misma vertiente sur, al este y al oeste de la zona urbana, programados (zona sur de la autovía) y no programados (zona norte de la autovía). Uno de estos últimos (SUNP-LE4), incluye los terrenos más afectados por los movimientos en masa producidos en los dos últimos años.

Para la zona alta, el PGOU preveía la realización de un Plan Especial al considerarlo como Suelo No Urbanizable de Protección Especial. El Plan Especial del Monte San Antón, que no llegaría a aprobarse definitivamente, se centraba en la zona norte del suelo urbano e intro-



ducía una nueva zonificación, proponiendo como zonas verdes dos áreas calificadas por el PGOU como Unifamiliar Adosada y sobre las cuales la promotora había presentado sendos estudios de detalle. Aunque el principal criterio que guía esta nueva zonificación es el ecológico-paisajístico, una segunda consideración que hace para uno de estos estudios de detalle (calle la Manga) es relativa al riesgo de desprendimientos presente en esta zona.

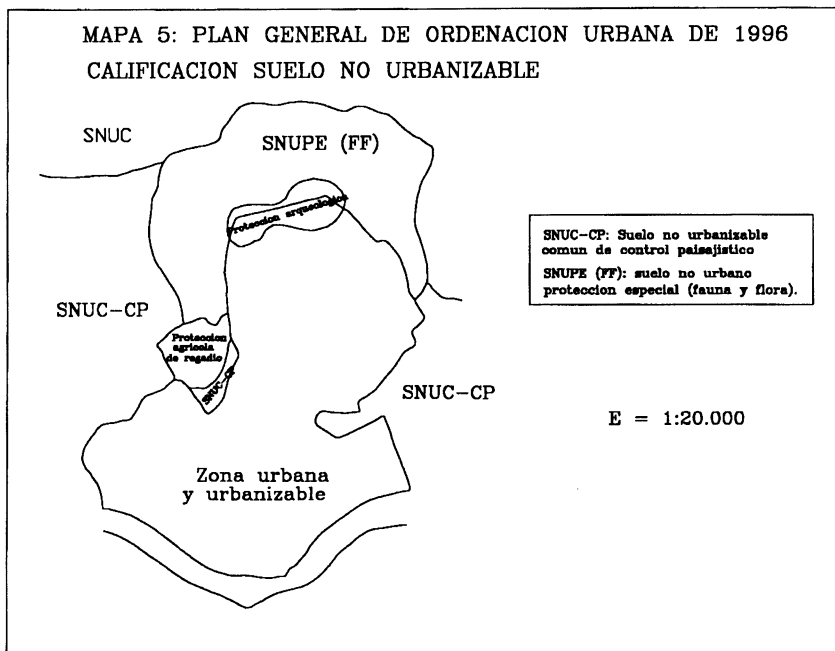
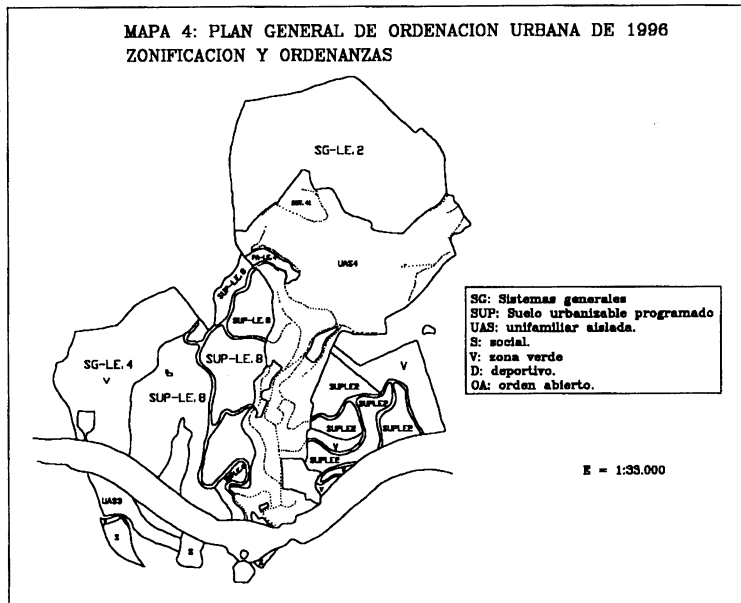
En el planeamiento actual (Quero, 1996), la situación del planeamiento no ha sufrido variaciones significativas. Por ejemplo, las parcelas de suelo urbanizable existentes a oeste y este del suelo urbano han pasado de Urbanizable No Programado a Urbanizable Programado. En estos espacios ha sido donde mayor incidencia han tenido los movimientos de ladera, que junto con las medidas correctoras tomadas han afectado sensiblemente a la topografía del lugar (ver mapa nº 4).

Por otro lado, el suelo urbano mantiene prácticamente inalterada su zonificación. No así ocurre con el suelo no urbano, en el cual se introduce algunas modificaciones, introduciendo medidas de protección: se delimita, en la zona alta del monte, un área de Suelo No Urbanizable de Protección Especial en función de su fauna y flora, dejando el área protegida anterior como sistema general dentro del suelo urbano. Se mantiene la protección arqueológica para la cima del monte, y se crea un área de protección agrícola de regadío en el lagar Huerta del Conde. Igualmente, el Suelo No Urbanizable Común se divide en dos clases: el Suelo No Urbanizable Común y el Suelo No Urbanizable Común de Control Paisajístico, que afecta a las vertientes más meridionales del monte, tanto al este como al oeste (ver mapa nº 5).

2.2. Infraestructuras.

La ronda de circunvalación de la ciudad, cuya reserva de terrenos ya aparece en el plan general de 1971, entró en funcionamiento en el año 1992. Los terrenos por los que discurre este cinturón viario son en su práctica totalidad terrenos de la cobertera maláguide. Esto ha planteado problemas de inestabilidad de laderas, debido, entre otras causas, a razones como la alternancia litológica, las diferencias de permeabilidad o los desniveles topográficos. Desde este punto de vista, parece claro que la autovía no discurre por una zona favorable. Sin embargo, es necesario indicar que evitar zonas ocupadas por la cobertera maláguide hubiera implicado, al menos en la zona de San Antón, un gran desvío al norte que, independientemente del mayor coste, hubiera implicado una menor capacidad de articulación de las comunicaciones de este nuevo eje.

En cualquier caso, la apertura de taludes y, en general, todo lo relacionado con la construcción, sin duda implicó un mayor grado de inestabilidad en estos materiales. Así, tras fuertes lluvias, los desprendimientos, algunos de grandes dimensiones, aparecieron en el invierno de 1995-96, y, particularmente, en el invierno de 1996-97, igualmente tras un intenso periodo de precipitaciones. En ambos casos, aunque el sustrato maláguide también se viera afectado, los materiales desplazados fueron, en su inmensa mayoría, materiales de la cobertera maláguide, fundamentalmente permo-triásicos (areniscas-arcillas) por su mayor extensión superficial y su mayor susceptibilidad a los movimientos en masa, pero también calcáreos como las calizas y margas del eoceno que se verían afectadas en San Antón.



La construcción de la autovía obligó a reestructurar otras infraestructuras, como las de abastecimiento de aguas. El depósito que abastece a Málaga Este se encontraba dentro del área afectada por el trazado de la autovía, y para su construcción se había excavado en la ladera un talud de grandes dimensiones, posteriormente utilizado por la autovía. El cambio de su emplazamiento, hacia el oeste, estuvo acompañado de un nuevo desmonte en la ladera oeste de San Antón, hecho que, como comprobaremos posteriormente, afectaría a su estabilidad.

3. RIESGOS NATURALES

Las características físicas del Monte San Antón, junto al desarrollo urbano y de infraestructuras que ha tenido lugar sobre él, lo convierten en una zona altamente susceptible a determinados riesgos naturales, al menos en términos comparativos respecto a otras zonas del entorno de la ciudad. Son fundamentalmente de dos tipos: los incendios forestales y los movimientos en masa.

3.1. Incendios forestales.

El riesgo de incendios forestales se debe, en primer lugar, a sus características naturales: elevadas pendientes, vegetación arbustiva densa, rodales de vegetación arbórea y localización en un contexto climático mediterráneo, con altas temperaturas en verano y prolongada sequía estival.

Estos condicionantes naturales se ven agravados por varias circunstancias: su localización periurbana, en la cual el medio rural se encuentra en una fase acusada de abandono, lo que incrementa el material combustible a la vez que disminuye la vigilancia; repoblación forestal con *pinus halepensis* en su vertiente sur, especie de rápida combustión; y, finalmente, presión humana, con facilidad de accesos tanto para actividades de ocio, incontroladas, como para otros fines e intereses (inmobiliarios, cinegéticos, etc.). En definitiva, el monte San Antón apenas se aleja de la problemática de incendios forestales que afecta al mundo mediterráneo en general y litoral en particular.

El último incendio de importancia tuvo lugar en septiembre de 1993, teniendo su origen en la ladera noroeste y afectando a esta ladera hasta alcanzar la cima y alcanzar a la ladera sur, en esa zona con un pinar denso (ver mapa nº 6). El problema radicó no sólo en el daño ecológico sino fundamentalmente en el riesgo para los habitantes que ese incendio supuso, ya que quedó muy cerca de las zonas habitadas, con viviendas intercaladas entre densos pinares. Por este motivo, la comunidad de propietarios elaboró un plan de autoprotección basándose en la legislación sobre protección civil existente (Comunidad de Propietarios, 1994).

3.2. Movimientos en masa.

Al describir las características físicas del Monte San Antón destacamos la existencia de factores determinantes para la susceptibilidad a los movimientos en masa. Por lo que respecta a los factores activadores, se ha comentado la desestabilización que ha supuesto la construc-

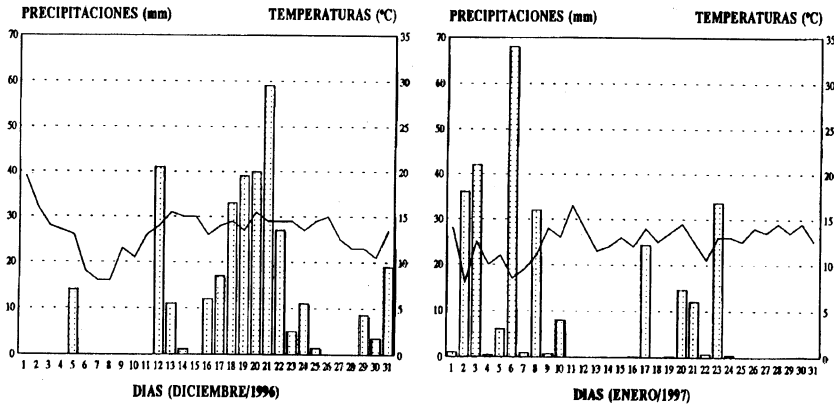


ción de infraestructuras. Además de este factor, las circunstancias climáticas actuaron de desencadenante de los movimientos en masa experimentados en la base del monte San Antón durante el invierno de 1996-97.

3.2.1 Condiciones climáticas.

Estos movimientos fueron precedidos por un mes de diciembre de intensas precipitaciones (ver figura nº 1), en los que se recogieron en la estación de Málaga Aeropuerto un total de 342.7 mm., muy por encima del valor medio para este mes, situada en 59 mm. Hay que tener en cuenta que la media anual de esta estación se sitúa ligeramente por encima de los 500 mm anuales, oscilando, según las fuentes, entre los 507 y los 569 mm. El registro se acercó bastante al valor más elevado para este mes, obtenido en 1962 con 364 mm., aunque aún lejos de los valores absolutos mensuales más elevados, como los 432 mm de enero de 1970 o los 497 de noviembre de 1989. Si a este dato añadimos la elevada pluviosidad de enero, con una cantidad recogida de 281 mm., muy por encima de los 66 mm de media, podemos apreciar la magnitud de las precipitaciones en este periodo bimensual, con un total de 623.7 mm, sensiblemente más elevado que el valor medio anual.

Además, este periodo de precipitaciones intensas sucede a un otoño con pocos días de lluvias, aunque el volumen total de precipitaciones se aproxime a la media. En septiembre, de los 28 mm., 27 se recogieron en un sólo día (3 días en el valor medio); los 47 mm. recogidos en

FIGURA Nº 1. TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES

(Los valores registrados corresponden al siguiente horario: de 06h. del día anterior a 06h. del día actual).

octubre lo fueron en su totalidad en un sólo día (6 días en la media); finalmente, los 80 mm. de noviembre se distribuyeron en 5 días de lluvias (8 días en el número medio).

Por lo que respecta a las temperaturas, gracias al predominio de vientos del oeste y suroeste y también a los cielos cubiertos, fueron ligeramente más elevadas que los valores medios. Por ejemplo, diciembre tuvo 13.3 grados, por encima de la media (12.8), mientras que enero tuvo 12.5, por encima también de los 11.8 de valor medio.

La intensidad de las precipitaciones fue mayor de lo que el volumen mensual puede indicar. Así, hasta el 11 de diciembre sólo hubo un día de lluvia. A partir de él encontramos unos días continuos de lluvias que alcanzan hasta el día 24 de diciembre. En estos 14 días (la media de días de lluvia en diciembre es de 8 días) se recogen 297.6 mm, de un modo relativamente homogéneo, alcanzando las mayores cantidades entre el día 20 y el 21, con 59 mm. Por tanto, a diferencia de otros meses destacados por su elevada pluviometría, no son grandes aguaceros, sino lluvias constantes y prolongadas. Estas precipitaciones coincidieron con los primeros movimientos en masa en el entorno de la ciudad, concretamente en determinados accesos a la Ronda Este de circunvalación.

A continuación se abre un periodo de ausencia de precipitaciones desde el 25 al 28, durante el cual suben las temperaturas máximas (hasta 19 grados), aunque descienden las mínimas gracias a los cielos despejados nocturnos, dejando unas medias similares e incluso más bajas. Las horas de sol son abundantes, en torno a 8 diarias de media.

Las precipitaciones vuelven de forma continuada del 28 de diciembre al 9 de enero, 226.4 mm., con máximo el día 5 de enero, con 68 mm., caídos en pocas horas y que combinaba la lluvia con el granizo. En esta fase comienzan los desprendimientos en los taludes del monte San Antón, a la par que continúan en otros puntos de las Rondas de circunvalación.

Tras otro periodo sin precipitaciones, desde el día 10 al 15, en el que se repiten las circunstancias anteriormente expresadas (subida de las máximas, descenso de las mínimas, alto

número de horas de sol) a partir del 15 de enero comienza un nuevo periodo de lluvias continuas, que durará hasta el día 23, durante el cual se registran 86.1 mm, con la sola excepción del día 17, durante el cual no se registraron precipitaciones. La madrugada del 22 al 23 se produjo la mayor precipitación de este periodo, con 33 mm. Posteriormente, 2 días sin precipitaciones (23 y 24) así como el 25, fecha en la cual se produjo el deslizamiento que estamos comentando en San Antón. Contrariamente a lo ocurrido en los periodos sin lluvias precedentes, no se caracterizaron por un alto número de horas de sol (sólo 2.5 diarias), aunque las temperaturas máximas subieron y las mínimas descendieron levemente. Tanto la temperatura media como el número de horas de sol aumentaron el propio día 25, pero su repercusión en el desencadenamiento del desprendimiento debe ser matizada ya que éste ocurrió sobre las 12:15 horas de la mañana.

En total, hasta el 25 de enero, 16 días de lluvias, muy por encima de los 7 días de media para enero. En resumen, 3 periodos de precipitaciones constantes intercalados con fases de ausencia de lluvias, elevadas temperaturas máximas y alto número de horas de sol. Por tanto, se dan condiciones propicias para la inestabilidad de la ladera: volumen elevado de precipitaciones, lluvias intensas prolongadas alternando con periodos soleados (situación más característica), algunos casos de torrencialidad, etc. Se ajustaría, por tanto a una de la hipótesis planteadas por Romana (1992) para la estabilidad de taludes, según la cual la precipitación responsable del fenómeno sería la combinación de una precipitación abundante el día previo y de una serie previa continuada de días de lluvia entre 10 y 15 días.

Las situaciones atmosféricas que originaron estas intensas precipitaciones fueron de diversa naturaleza. Destacan sobre todo las situaciones del Oeste, con sistemas frontales situados a la latitud de la península ibérica. Son, por tanto, masas de aire relativamente cálidas, cargadas de humedad, que descargan esa humedad al contactar con el aire más frío de latitudes más altas. Un tercer elemento agudiza el contraste térmico: la existencia de embolsamientos de aire frío en altura (500 mb), sin que podamos hablar de gota fría. El contraste térmico es mucho más acusado y por ello la descarga de precipitaciones más intensa. Esta es la situación dominante en los días de diciembre con mayor número de precipitaciones (por ejemplo, el 21 de diciembre), así como en buena parte de los de enero.

Una variante de esta situación del W es la del W-NW, en la cual los sistemas frontales se sitúan algo más al norte del anterior, aunque su trayectoria es similar: oeste-este. Esta situación la encontramos a mediados de diciembre, e igualmente iba acompañada de embolsamientos de aire frío en altura.

Una tercera situación es la del NW. Esta se corresponde con los sistemas frontales anclados al noroeste de Galicia, normalmente cerca de las islas británicas, y que cuentan con una trayectoria noroeste-sureste, barriendo la península en este sentido aunque lógicamente más en las zonas situadas al noroeste. Por tanto, normalmente, a la latitud de Málaga no suele producir abundantes precipitaciones, a no ser, como es el caso de varios días del periodo considerado, que la borrasca sea muy profunda o que, como también es el caso (por ejemplo 18-19 de diciembre), vaya acompañada por embolsamientos de aire frío en altura.

Finalmente, recogemos otra situación, única en el periodo que estamos considerando pero de marcada intensidad, ya que originó precipitaciones de 68 mm en un día, el máximo

diario del periodo considerado. Sería la situación del SE, con la baja presión situada en el mar de Alborán y con embolsamiento de aire frío en altura. Esta situación provocó las lluvias del día 5 de enero, las más copiosas de todo el periodo.

3.2.2 Inventario de movimientos en masa.

Coincidiendo con este periodo de intensas precipitaciones, entre mediados de diciembre de 1996 y finales de enero de 1997 se produjeron en el entorno de la ciudad de Málaga un gran número de movimientos en masa. Prácticamente en su totalidad, estos fenómenos estuvieron ligados a las infraestructuras viarias, particularmente al sistema de Rondas de Circunvalación de la ciudad (autovía de circunvalación, enlaces, viales de acceso), viéndose los mismos seriamente afectados por esta circunstancia.

Independientemente de los numerosos pequeños desprendimientos que jalonaron durante estas fechas los contornos de la ronda de circunvalación, se reseñan a continuación los más significativos, para centrarnos posteriormente los más relevantes, que tuvieron lugar en la base del Monte San Antón.

Los primeros movimientos de grandes dimensiones se produjeron los días 19 y 22 de diciembre, y afectaron a dos viales de acceso a la Ronda Este, Limonar y Ciudad Jardín respectivamente. En ambos casos el tráfico quedó interrumpido.

A partir de enero, los desprendimientos se generalizan: el día 1 comenzaron en los taludes de la Ronda Este situados en el entorno del monte San Antón, cortando parcialmente uno de los carriles en sentido Cádiz. El día 4 se produjo un espectacular hundimiento de calzada en un terraplén de la Ronda Este, que afectó a un sentido de la autovía (sentido Almería), obligando a la utilización de un carril para cada sentido de la circulación. La reparación de este hundimiento sería compleja, y haría necesaria la habilitación de dos nuevos carriles provisionales para el tráfico.

El día 5 de Enero se registran nuevos desprendimientos en los taludes de la autovía a su paso por San Antón, coincidiendo con las fuertes precipitaciones registradas ese día. Al día siguiente, y en los mismos taludes, el desprendimiento será de mayores dimensiones, y obligará al cierre total de la autovía durante 15 horas e inutiliza un sentido de la circulación.

Durante el último tercio del mes, los movimientos en masa se reanudan. El día 20 de enero se producen nuevos desprendimientos en San Antón, sobre la calzada ya cerrada, que derriban incluso un panel electrónico. Ese mismo día, otro talud de San Antón, separado de los anteriores, comienza a dar señales de inestabilidad, con desprendimientos sobre la calzada.

Finalmente, sobre las 12:15 del día 25 se produce el movimiento más importante, sobre este último talud de San Antón. Será este deslizamiento, que afectó a una superficie importante y que según las estimaciones del MOPT movilizó unas 150.000 toneladas de material caído, sobre el que nos centraremos a continuación.

Los movimientos en masa disminuyen en intensidad a partir de este día, gracias al cese de las precipitaciones, lo que no significa el fin de la actividad: dos grandes grietas, ya gestadas durante la primera mitad del mes, aparecen en la cara oeste del monte, no recorrida por la autovía, aunque inestabilizada por la construcción de un depósito de agua en su base. Igual-

mente, los movimientos afectan en forma de grietas a viviendas situadas al sur de la autovía, obligando a su desalojo preventivo. Esta zona está compuesta de los mismos materiales, es decir, calizas y margas del eoceno.

En los siguientes apartados analizamos los dos principales movimientos acaecidos en la base del Monte San Antón: el deslizamiento del 25 de enero y la doble grieta aparecida en la ladera oeste del monte.

4. EL DESLIZAMIENTO DEL 25 DE ENERO DE 1997

Como se ha podido constatar en el relato de los hechos, han sido varios los puntos en los que se han producido movimientos en distintos momentos del invierno del 1996/97, todos ellos activados de una u otra forma por desmontes y en última instancia por las lluvias. El análisis se centra ahora en un punto en el que las características geomorfológicas del enclave aportan factores de riesgo intrínseco previos e independientes de la construcción del talud artificial, aunque haya sido el desmonte el principal factor no climático desencadenante del mecanismo.

El enclave del deslizamiento es una de las subladeras sur de las estribaciones que constituyen la falda del monte de San Antón, cuyo perfil transversal ha sido alterado por la construcción en su base de uno de los taludes que limitan la autovía en su flanco norte. Este punto ha sido el afectado por un movimiento de tierras de mayor entidad, cuyos efectos se extienden fundamentalmente hasta el propio firme de la autovía, habiéndose registrado no obstante signos de movimiento (grietas) en los terrenos situados al sur de la autovía.

Como consecuencia del mismo se generó sobre el terreno un nicho de desprendimiento de grandes proporciones, de planta semicircular aunque de amplio radio de curvatura, cuyo punto más alto de despegue se situaba sobre los 116 m. de altitud. Al pie del mismo, se produce en primer lugar un talud vertical con un perfil transversal ligeramente cóncavo, que salva en un único escalón los aproximadamente 20 m. de altura que separan la masa desplazada de su emplazamiento original. La dirección y sentido del desplazamiento ha quedado reflejada en las huellas de cizalla que se labran sobre el talud húmedo del nicho, indicando que el desplazamiento se ha producido desde el noroeste hacia el sureste, con un ángulo aproximado de 45 grados respecto al norte. Los materiales se han desplazado esencialmente en bloque, manteniendo sus constantes geométricas, de modo que el bloque hundido, en su sector más alto, conserva en superficie la vegetación.

La basculación del bloque degajado, cuya superficie presenta cierto grado de buzamiento hacia el propio talud, indica, junto al perfil de tendencia cóncava del mismo, que el movimiento ha tenido una componente rotacional. La parte más baja de la masa desplazada, la correspondiente al talud artificial, presenta tras el movimiento un aspecto más caótico; este sector fue objeto de distintas formas de movilización con posterioridad al episodio más intenso, produciéndose frecuentes caídas de bloques y desplome del material desestabilizado. El fenómeno en su conjunto puede clasificarse como un deslizamiento (Varnes, 1978) ya que se trata de un movimiento descendente, de ocurrencia rápida a instantánea, de una masa de materiales

a lo largo de una superficie de deslizamiento que, como se recoge al analizar las características geológicas del enclave, puede inferirse razonablemente para este caso. Por las peculiaridades del movimiento, se trata de un deslizamiento circular o rotacional, y por presentar un único escalón de desplazamiento, sencillo.

En el siguiente cuadro se recogen los principales parámetros morfométricos referentes al deslizamiento y su enclave.

CUADRO N° 1.
PARAMETROS MORFOMETRICOS DESLIZAMIENTO

Perímetro del área desplazada.	360 m.
Superficie proyectada área desplazada.	8.700 m ²
Desnivel talud nicho	20 m.
Longitud eje mayor deslizamiento.	115 m.
Longitud eje menor deslizamiento.	75 m.
Superficie real área desplazada	9.505 m ²
Volumen masa desplazada	285.148,8 m ³
Peso masa desplazada	470.495,5 tm.

Fuentes: Mapa Topográfico de Andalucía. E=1:5.000

Mediciones directas.

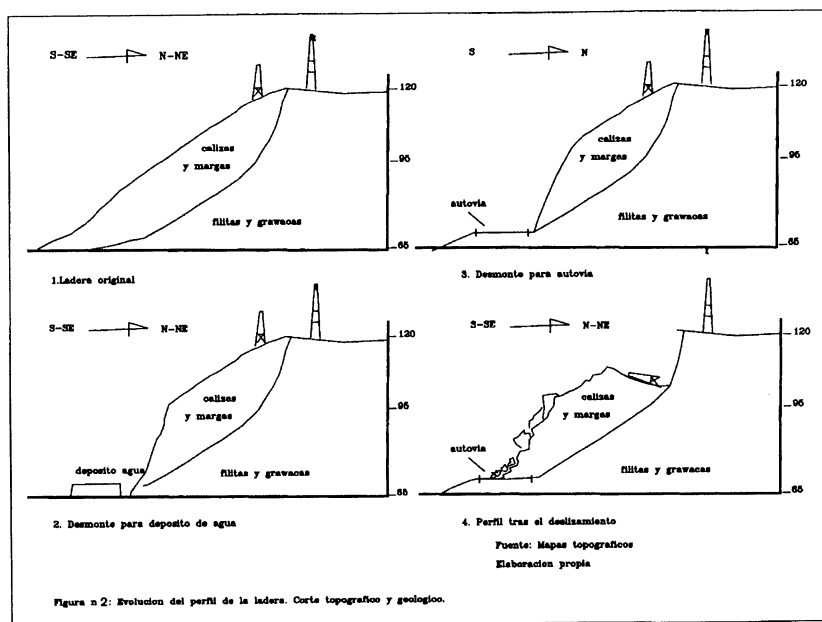
Elaboración propia.

Al analizar las propias características físicas del enclave del deslizamiento, y las circunstancias en las que se produjo el fenómeno, pueden identificarse distintos factores de riesgo que concurren tanto en el tiempo como en el espacio y que pueden haber actuado como causas. Estos factores han sido agrupados en factores determinantes y factores activadores (Hansen, 1984; Crozier, 1986), haciendo referencia así en primer lugar a las características intrínsecas de configuración y naturaleza del terreno movilizado, y en segundo lugar a las circunstancias no estructurales, sino coyunturales que actuaron como detonantes del movimiento (precipitación, desmonte).

4.1. Factores determinantes del movimiento

Se ha hecho uso, para la delimitación de los diferentes factores de riesgo, de distintas clasificaciones generales orientadas a esta función, tales como la de Marsh (1978), Way (1973), y Dunne y Leopold (1978).

Analizando en primer lugar las características fisiográficas de la ladera en la que se produce el deslizamiento, hay que señalar como factor de riesgo que se trataba de una ladera orientada a solana (orientación sur/suroeste), de perfil convexo (ver fig. n° 2), con una cumbre amplia (cota máxima: 118 m.), en torno a la que se extiende un tramo de pendiente poco acusada que marca un perfil ligeramente convexo, tras el que se sitúa un tramo de pendiente



más acentuada que discurre desde los 105 hasta los 75 m, y un último rellano en su base (desde los 75 a los 60 m) en el que la pendiente se hacía más suave. La pendiente media de la ladera se situaba en el 31,6 %, con una inclinación media por tanto de 17°. El desnivel total de la ladera era de 43 m. y la longitud real de la misma, 142.6 m. Tanto la forma convexa natural de la ladera, la orientación a solana (acentuación de las tensiones húmedo-seco del material), como el propio grado de pendiente y desnivel constituyen en si mismo factores asociables a la inestabilidad.

En lo que respecta a las características geológicas y tectónicas del enclave, prácticamente la ladera completa estaba formada por una serie de margas y calizas del eoceno inferior. El contorno de la subladera sur donde se ha producido el deslizamiento coincide casi totalmente con el límite norte de una pequeña extensión de margas y calizas del eoceno inferior correspondientes a la cobertera maláguide que descansan con un contacto mecánico sobre la serie de grawacas y filitas del Devónico-Carbonífero características de la unidad de los Montes de Málaga. Esta serie, junto con otras asociables a la cobertera maláguide, se superpone al sustrato paleozoico salvando una amplio hiato, verificándose en la mayor parte de los casos una discordancia erosiva angular entre la cobertera y el sustrato paleozoico.

El límite sur de esta pequeña extensión de materiales eocenos discurre bordeando el pie de la ladera, coincidiendo la línea de discontinuidad litológica con el trazado de la propia autovía. Al sur de la misma se extienden arcillas y margas miocenas de relleno post-orogénico, que presentan un contacto discordante sobre los materiales eocenos.

El límite norte de los materiales eocenos, línea de discontinuidad litológica, cuya disposición paralela a las curvas de nivel aumenta el factor de riesgo, constituyó la línea de despegue

del deslizamiento, coincidiendo el perímetro del nicho de despegue prácticamente en toda su extensión con la citada línea. En muchos puntos del talud del nicho de despegue, al producirse el deslizamiento, pudo observarse la presencia de la serie paleozoica subyacente, aunque en algunos tramos quedara adherido parte del material eoceno, especialmente adhesivo por la humectación, a las propias paredes del nicho de despegue, dificultando la observación de la serie pizarrosa que aparecía al ahondar mínimamente en las margas y calizas. Cuando las tareas de rehabilitación de la zona desalojaron el material correspondiente al bloque de margas y calizas deslizado, el techo de la serie paleozoica apareció subyacente a esta serie que presentaba un espesor de techo a muro de aproximadamente 30 m.

Estos datos conducen directamente a inferir cómo el contacto entre los materiales eocenos y los paleozoicos constituyó la superficie de deslizamiento, hecho que se relaciona con la propia naturaleza del contacto (mecánico) y con las diferentes características de las dos capas superpuestas (materiales sedimentarios sobre metamórficos, separados por una amplia laguna estratigráfica) lo que se traduce en fuertes diferencias de comportamiento mecánico (distinto nivel de dureza, diferencias de textura y permeabilidad, etc.).

En lo que atañe a los factores de riesgo relacionados con las características edáficas, en el propio talud del nicho de desprendimiento se observó la elevada profundidad del material alterado, alcanzando en algunos tramos una profundidad superior a 4 m. desde la superficie. Se tomaron muestras de este material como representativas del comportamiento de la masa deslizada respecto a algunos parámetros de clara influencia en la génesis del deslizamiento, tales como la capacidad de retención del agua por el material, su capacidad de saturación y su textura.

Los resultados recogidos en el cuadro nº 2, muestran como se trata de un material de textura claramente arcillosa (USDA), con una elevada proporción de fracción fina (21.97% de limos y 54.87% de arcilla), y una densidad aparente igualmente alta (2,19) de lo que se deduce una muy alta capacidad de retención de agua (0.37 cm³/cm³) y de saturación (0.30 cm³/cm³). Se trata de un material que muestra una consistencia dura en seco y firme en húmedo, comportándose en mojado de forma muy adherente y muy plástica.

**CUADRO Nº 2:
PARÁMETROS EDÁFICOS INDICATIVOS DE RIESGO DE DESESTABILIZACIÓN.**

Textura	Arcillas: 54.87%; limos: 21.97%; arenas: 23.05%
Capacidad de saturación	0.30 cm ³ /cm ³
Capacidad de retención	0.37 cm ³ /cm ³

Elaboración propia.

Todos estos datos corroboran la alta capacidad del material margoso predominante para aumentar de peso y volumen en húmedo, experimentando cambios en la presión intersticial, y tensiones húmedo-seco en el proceso inverso de secado, con el consiguiente aumento del

esfuerzo cortante y disminución de la resistencia al corte. En atención al peso y volumen de la masa de material movilizado, y considerando la capacidad de saturación del material se ha estimado que en el momento de la movilización el peso del material era aproximadamente 1/5 superior al original en seco, estimándose el peso del material saturado movilizado en torno a las 557.000 tm.

Respecto a otros factores de riesgo de menor entidad puede citarse como si bien la densidad de drenaje en la ladera del deslizamiento no es muy elevada, y no existen puntos de surgencia hídrica, el gradiente altitudinal de las pequeñas torrenteras que concentran la escorrentía superficial es muy alto, no sólo por la pendiente moderadamente elevada de la ladera, sino por la corta distancia que separa estos cauces de primer grado del nivel del mar, que dista escasamente 1 km. en línea recta. Este hecho acentúa la capacidad erosiva de estos cauces y su capacidad para incidir sobre los materiales, produciendo puntos embionarios de descarnamiento y desestabilización.

4.2. Factores activadores

Partiendo de la concurrencia de factores de riesgo intrínseco enumerada, los principales factores que pueden asociarse directamente a la activación del movimiento en masa son dos: los relacionados con la construcción de la autovía y los asociados a la lluvia y consiguiente humectación de los materiales.

En lo que respecta a las actuaciones artificiales en el perfil de la ladera hay que citar que en un momento previo a la construcción de la autovía se produce una primera intervención con un desmonte de considerables proporciones en el sector sudeste de la ladera, ejecutado con motivo de la construcción de un depósito de agua. La pendiente media de este talud actualmente inexistente era del 75%, con una inclinación de unos 36°.

Con posterioridad, asociado a los trabajos para la construcción de la autovía, se produce un segundo desmonte para la construcción de un talud que secciona en este caso la base de la ladera en su sector sur/suroeste (ver fig. nº 2), induciendo directamente la desestabilización. El talud, de mayores dimensiones que el anterior, flanqueaba la autovía a lo largo de 181 m., con una pared de elevada pendiente (85.7% de pendiente, 40° 22' de inclinación) que salvaba un desnivel de 30 m en su punto más alto (desde los 70 hasta los 100 m.) con una longitud real aproximada de 46 m. No presentaba ningún tipo de reforzamiento especial.

Como factores activadores de menor importancia pueden citarse la ocurrencia de vibraciones procedentes de los movimientos en masa en los días anteriores en laderas muy cercanas, las procedentes de las tareas de corrección de éstas tras los desprendimientos, así como las procedentes del tráfico pesado que circula por la autovía al pie del talud. Otro factor activador para toda la zona, en este caso latente, es el riesgo elevado de movimientos sísmicos.

5. LA GRIETA DE LA LADERA OESTE.

La grieta de ruptura se ha producido en una de las laderas orientadas al W. de la base del monte de S. Antón, cayendo directamente sobre el Arroyo de Jaboneros, un curso de caudal

esporádico y de claras características torrenciales. Al pie de la ladera, y justo al margen del arroyo, se sitúa un depósito de abastecimiento de agua a la ciudad de Málaga, de planta cuadrangular y 120 metros de lado. Para la construcción del depósito en este punto, se ha realizado una explanación y un desmonte en la base de la ladera de considerables dimensiones.

5.1. Factores determinantes.

Como factores determinantes que concurren en la ruptura pueden destacarse los siguientes: desde el punto de vista topográfico, además de tratarse de una ladera de pendiente original elevada (26%), salva un brusco desnivel sobre el arroyo Jaboneros (146 m), lo que genera que los pequeños encauzamientos de agua que transcurren a través de la ladera hacia el Jaboneros, a pesar de no encauzar gran cantidad de escorrentía, presenten un fuerte perfil longitudinal, y una potente fuerza desestabilizadora.

Desde el punto de vista geológico, hay que citar que la base de la ladera está conformada por filitas y grawacas del Devónico-Carbonífero pertenecientes al zócalo paleozoico del manto maláguide de las unidades Béticas Internas. Se trata de materiales muy tectonizados y, en ocasiones, con bajo nivel de metamorfismo,

Por el contrario, la cumbre de la ladera está coronada por una extensión de calizas jurásicas pertenecientes a la cobertera maláguide que forma un pequeño cabalgamiento sobre las filitas y grawacas salvando un amplio hiato y, comprobándose en la mayoría de los casos, una discordancia angular erosiva entre el sustrato paleozoico y los materiales sedimentarios de la cobertera.

Analizando lo que podría haber sido un factor determinante y directo en el proceso de ruptura del terreno, se observa que el contacto entre las calizas jurásicas del sector superior de la ladera y las filitas y grawacas no coincide con la línea de fractura, que discurre en su totalidad por el material calizo. El material sobre el que se traza la grieta está constituido por bloques rocosos de grandes proporciones insertos en una matriz de carácter margoso. En cualquier caso, la presencia de esta superficie de discontinuidad, y la heterogeneidad del propio material jurásico, constituyen factores de inestabilización por los diferentes comportamientos mecánicos y de permeabilidad que introduce en el enclave.

Un factor determinante más serían las propias características del suelo y, entre ellas, la textura. En este sentido, se han analizado dos perfiles, con los resultados recogidos en los cuadros nº 1 y 2. Como podemos observar, la textura de los suelos de la zona es fundamentalmente arcillosa, por lo que la capacidad de variación de volumen de las arcillas interviene decisivamente como un elemento importante de inestabilidad del terreno.

**CUADRO N° 3.
CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL N° 1.**

HORIZONTE	TEXTURA	% M.O.	%CARB.	PH
A	Franco arcillosa (32.4%A; 32.4% L; 35.04% AR)	7.3	26.7	8.4
B	Arcillosa (52,3%A;14.9%L; 32.6% AR)	1.6	26.8	8.7
C	-	-	-	-

A: arcillas; L: limos; AR: arenas.

Elaboración propia

**CUADRO N° 4.
CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL N° 2**

HORIZONTE	TEXTURA	% M.O.	%CARB.	PH
A	Arcillosa (45.2%A; 27.1% L; 27.5% AR)	10.8	30.7	7.69
B	Arcillosa(54.2%A;27.08%L; 18.6% AR)	2.8	54.3	8.1
C	Franco-arcillosa (27.9% A; 44.6% L; 27.5 % AR)	1.2	62.9	8.58

A: arcillas; L: limos; AR: arenas.

Elaboración propia

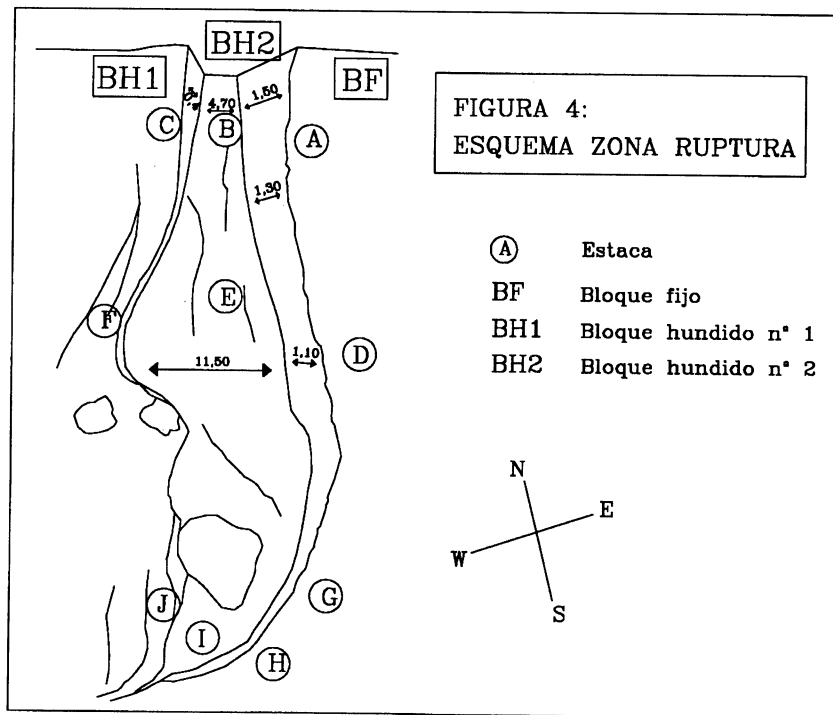
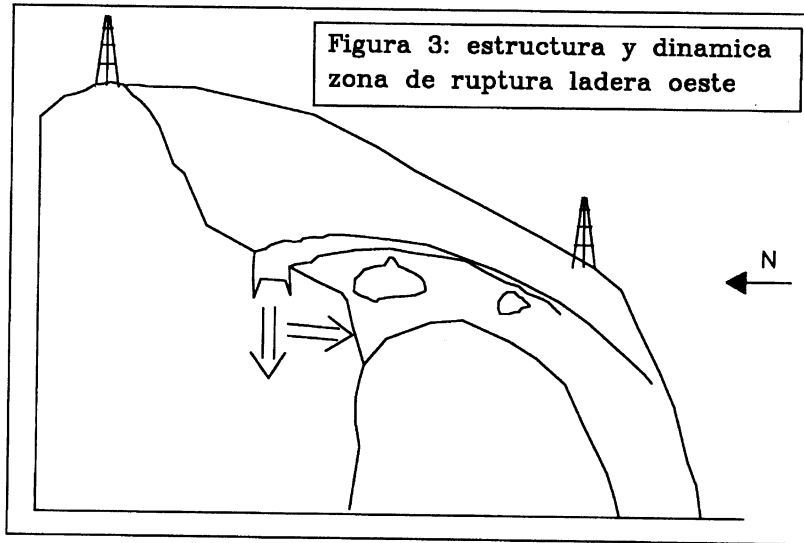
5.2. Factores activadores.

En lo que respecta a los factores activadores que pueden asociarse a la ruptura, se observa con claridad la incidencia del largo periodo de lluvias de diciembre-enero de 1997, anteriormente citado, pero se pueden señalar otros factores inestabilizadores añadidos, como por ejemplo las detonaciones asociadas tanto a la construcción del viaducto cercano, como a la restauración en las inmediaciones de un talud sobre la autovía derrumbado por un deslizamiento.

El factor activador de mayor importancia en la desestabilización lo constituye el desmonte acometido en la base de la ladera para la construcción del depósito de agua, que, con anterioridad a la formación de la grieta, ya generó un pequeño deslizamiento que puede apreciarse con claridad en la figura n° 3.

5.3. Sucesión de los hechos y descripción de la zona de ruptura.

El primer momento en que se detecta la presencia de una grieta de ruptura embrionaria en esta ladera oeste de la falda del monte S. Antón coincide con la realización de un inventario de movimientos de ladera en el trazado de las rondas este y oeste de Málaga que se realizó con motivo de las intensas y duraderas lluvias que se producen en la ciudad desde mediados de diciembre de 1996 y enero de 1997.



La primera imagen que tomamos de esta grieta indicaba, en un primer momento, un desplazamiento de no grandes dimensiones en lo que respecta al salto, aunque su longitud lineal sí atravesaba una amplia zona de la ladera. Con posterioridad a que se produjera en las inmediaciones el deslizamiento del 25 de enero sobre la autovía de circulación, y tras las fuertes lluvias que lo activaron, la grieta de la ladera oeste se agranda considerablemente en extensión longitudinal y, sobre todo, marca el inicio del desplazamiento de dos bloques del terreno, que quedan escalonados.

La grieta de ruptura, observándola en su totalidad, tiene una longitud de 148 m. Forma un arco de muy amplio radio de curvatura, discurriendo paralelamente a las curvas de nivel en el sector superior de la ladera, para cortarlas transversalmente conforme la grieta va bajando por la misma. Puede observarse en la figura nº 3 como el dibujo de la grieta discurre de forma relativamente paralela al dibujo marcado por el límite superior del desmonte artificial que se ha excavado en esta ladera oeste.

Analizándola ya con más detalle, en el sector superior de la ladera, donde la grieta discurre más o menos paralela a las curvas de nivel, puede observarse como la grieta está dividida en dos ramales (ver figura nº 4). El sector que transcurre más al este, y con ello a mayor altitud en la ladera, ha producido una ruptura disimétrica del terreno, generando un talud que separa con un desnivel medio de 1.30 m. un bloque hundido, BH2, del bloque fijo (BF). El salto del talud se prolonga en profundidad, midiendo la grieta una media de 1.50 m por debajo del nivel del bloque hundido.

A una distancia media de unos 8 m., se ha formado otra grieta que transcurre más al oeste y, por tanto, a un nivel más bajo de la ladera. Esta grieta genera un nuevo escalonamiento como consecuencia del hundimiento del bloque de terreno situado más al este, que, a pesar de su situación de mayor altitud, como consecuencia del movimiento, queda por debajo del nivel de la ladera en este punto, generándose por tantos dos taludes enfrentados, a distinto nivel, que encierran un bloque hundido entre ellos (BH2).

Los dos ramales, conforme discurren hacia el sur, se van aproximando, hasta llegar a confluír en un punto (al sur de una roca de grandes dimensiones), para correr unidos en uno, ladera abajo, hacia el sur. El doble escalonamiento que los dos ramales generan en el perfil de la ladera, la presencia del desmonte en la cara oeste, y la orientación de la pendiente, son circunstancias que parecen indicar la posibilidad de que la ruptura de despegue del terreno se haya producido siguiendo un modelo de expansión lateral de la ladera por descompresión.

5.4. Metodología para la medición.

Para el seguimiento de la dinámica de los bloques de terreno movilizados se dispusieron en el terreno una serie de estacas como puntos de medición, siguiendo el método clásico de estacas fijas. Entre otros (Gili, J.A., 1989; Zinck, J.A., (1997), la Comisión on testing Methods (1984, 268) señala como “de una manera sencilla es posible medir el cambio de distancia (posición relativa) entre unas señales (estacas, clavos, pernos o clavijas especiales) ancladas a ambos labios de la discontinuidad”.

Como puede observarse en la figura nº 4, se situaron cuatro estacas en el bloque que quedo fijo en la parte superior de la ladera, tres en el bloque hundido 2 (BH2), y otros tres en el bloque hundido 1 (BH1), intentando al situar las estacas que su disposición relativa nos permitiera medir el movimiento en las dos componentes que podían intuirse, la norte/sur y la este/oeste: la localización de estos puntos estuvo condicionada, en parte, por la topografía del terreno y la mayor o menor dificultad de instalación.

Con este esquema y simplemente con un metro de larga extensión se procedió a medir la evolución de las distancias entre las distintas estacas en distintos momentos a lo largo del espacio de un año aproximadamente, tomando medidas especialmente cuando se producía un periodo de lluvias intensas o prolongadas en el tiempo.

Finalmente, una vez obtenidos los datos directos de medición, se ha procedido a comparar en cada punto la evolución a lo largo del tiempo, obteniéndose unas medidas más unívocas (el acercamiento o alejamiento son constantes en todas las ocasiones medidas); por otra parte se han detectado tendencias más inconstantes, esto es, que muestran como los puntos se alejan o acercan de una forma más o menos aleatoria, lo que, como a continuación se verá, no se relaciona con una falta de fiabilidad de la muestra, sino con una posición relativa más compleja de los puntos de medición. Estos dos tipos de mediciones se han representado de distinta forma en los gráficos (línea continua y línea discontinua).

Se ha considerado expresivo utilizar los datos de incremento o disminución de la distancia entre los distintos puntos de una forma absoluta, y también relativa en algunos casos (incremento positivo o negativo de la distancia respecto a la primera de las mediciones).

5.5. Resultados de la medición.

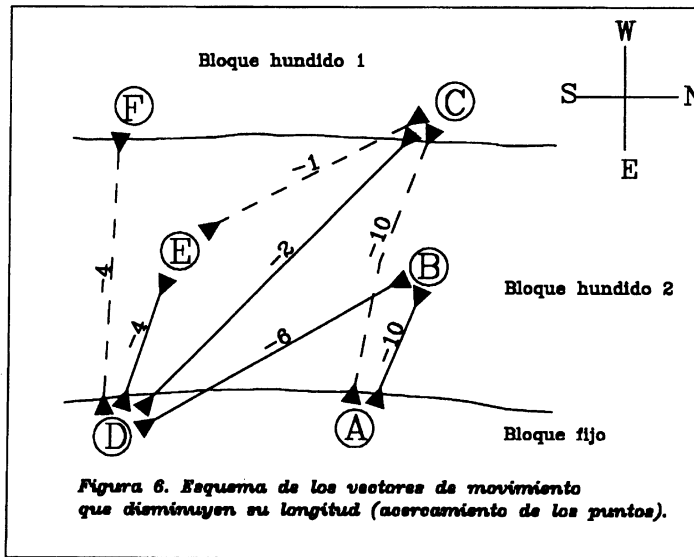
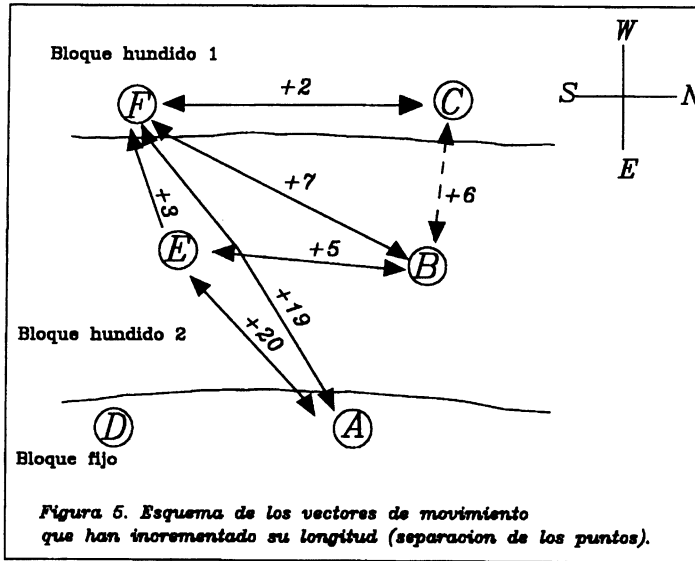
Las principales componentes del movimiento que se pueden apreciar a tenor de las mediciones obtenidas señalan las tendencias que se analizan a continuación. Se han esquematizado en algunos gráficos (figuras 5 y 6) los incrementos tanto positivos como negativos de las distancias. En primer lugar se analiza el **sector superior de la grieta**:

1. Se observa (ver fig. nº 5 y 6), además de un ligero hundimiento, un movimiento de separación del bloque hundido 1 hacia el oeste desde el bloque fijo situado al este. Este movimiento se constata en el distanciamiento de los puntos F y A, que se separan 19 cm.

2. La segunda componente de movimiento, (nuevamente además del propio hundimiento, en este caso más apreciable), es N-S, y puede apreciarse tanto en el bloque hundido 1 como en el 2, alcanzando en este último una mayor magnitud. Pueden observarse con más detalle otros movimientos de esta misma tendencia, reflejados en las figs. 5 y 6.

3. El bloque hundido 1 se ve afectado, aunque en escasa medida, por el movimiento N-S, hecho que justifica el alejamiento de F del punto fijo A (19 cm.), simultáneo al acercamiento de C (-2) y F (-4) al punto D, acercamiento que no podría producirse si el bloque hundido 1 fuera únicamente de despeque (este-oeste) respecto del bloque fijo.

4. En el bloque hundido 2 se está experimentando, con mayor claridad, este movimiento. El punto E se separa del punto A (20 cm.), lo que podría indicar un desplazamiento este- oeste



del bloque hundido 2 respecto al bloque fijo. Sin embargo, el punto F, situado en la misma trayectoria que el E, sólo se distancia de A en 19 cm, lo que supone un incremento del 1,36 %, frente al incremento del 1,8 % de la distancia A-E. Esto sólo se explica porque el punto E está experimentando un movimiento hacia el sur, a la vez que hacia el oeste, con lo que se incrementa la distancia de separación.

De igual modo puede observarse como los puntos E y B, ambos en el bloque hundido 2, se acercan a los puntos fijos A y D (B-A: -10 cm.; B-D: -6 cm.; E-D: -4 cm.). Este acercamiento nuevamente se explica por el movimiento norte-sur del bloque hundido 2.

5. Existen movimientos de distensión en el propio bloque hundido 2, producidos por la traslación N-S. Puede observarse en el hecho de que los puntos B y E (ambos en el bloque hundido 2), se separan entre sí.

6. Comparando la magnitud de los movimientos de los bloques hundidos 1 y 2, se observa como la velocidad de movimientos de bloque hundido 2 hacia el sur es mayor que la del bloque hundido 1 (mayores distancias desde el punto fijo A (+20 cm. desde A a E), y mayor acercamiento al punto D).

7. El hecho de que las mediciones efectuadas respecto al bloque fijo sean en todos los casos unívocas (es decir, proceso continuo de acercamiento o alejamiento entre los dos mismos puntos medidos) y, sin embargo, alternativamente positivo o negativo en el caso de la mayor parte de las mediciones efectuadas entre los puntos del bloque hundido 1 y 2, parece indicar nuevamente que ambos bloques se mueven simultáneamente (aunque como ya se ha visto, con distinta intensidad), por lo que las mediciones entre ellos van cambiando aleatoriamente a tenor de la posición relativa entre ellos en cada momento.

Sector en el que se unen la grieta este y oeste, **sector inferior de la grieta** (ver fig. 7):

1. En este punto vuelve a repetirse el esquema hasta aquí desarrollado, de modo que el bloque hundido 1 experimenta un alejamiento considerable del bloque fijo en sentido este-oeste (G-J, + a19 cms), distancia que al medirse entre los puntos H y J se ve sensiblemente reducida (+5 cms.), lo que parece volver a indicar que el bloque hundido 1 se mueve hacia el sur a la vez que hacia el este se comprueba un acercamiento de los puntos J e I (- 9 cms.).

2. Al igual que ocurría en el sector superior de la rotura, el bloque hundido 2 se mueve con una mayor intensidad que el bloque hundido 1, y en este caso, puesto que el movimiento hacia el sur parece verse limitado por el hecho de que el bloque hundido 2 termina en este punto (se unen los dos taludes y las dos grietas, cerrándolo al sur), habrá que pensar que el movimiento de separación este-oeste es mayor que en el sector superior anteriormente analizado, ya que los incrementos de separación son muy grandes en distancias de medición muy pequeñas.

Como **resumen de la dinámica**, siguiendo el modelo de proceso de expansión lateral (Corominas, J., 1989), y tal como se ha esquematizado en la figura 4, el proceso de ruptura ha podido producirse por la siguiente secuencia: el proceso de descompresión lateral generado por el desmonte de la base de la ladera, al oeste, ha generado inestabilidad, induciendo una tendencia a la expansión de la ladera hacia el oeste. Cuando es activado por un proceso tal como un periodo de fuertes lluvias se observa una cierta descompresión, produciéndose el

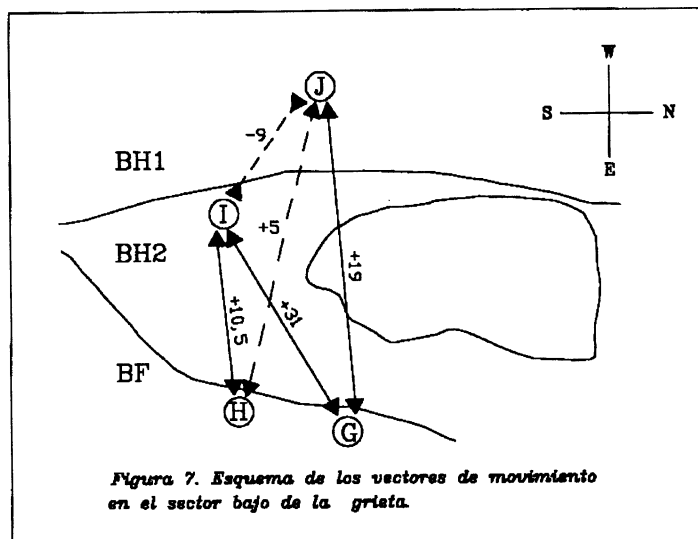


Figura 7. Esquema de los vectores de movimiento en el sector bajo de la grieta.

hundimiento de un bloque superior que queda descalzado. En este caso, como podrá observarse en el análisis de la dinámica, dada la doble orientación de la pendiente en este tramo, el bloque hundido está experimentando además del hundimiento, un movimiento noreste/sureste a favor de la pendiente.

A través de las mediciones efectuadas a lo largo del periodo de observación, la grieta ha demostrado tener una dinámica activa, con un movimiento neto máximo de 20 cm. en algunos puntos.

6. CONCLUSIONES

Del análisis desarrollado hasta el momento podemos definir la existencia de una paradoja: una de las zonas de la ciudad de mayor calidad residencial es a la vez uno de los espacios que soporta mayores riesgos naturales. Ambas circunstancias parten de las características físicas del monte, pero se interrelacionan: la expansión de la urbanización y de las infraestructuras aumenta los riesgos naturales, tanto respecto a los incendios forestales como respecto a los movimientos en masa. Por otro lado, hasta el momento el planeamiento no ha comprendido esta doble naturaleza atractiva-peligrosa del entorno del monte, y aún en el planeamiento actual se incluyen terrenos urbanizables programados justo en los espacios más susceptibles a los movimientos en masa. Si bien en el contexto mediterráneo la convivencia con los riesgos naturales se vuelve casi inevitable, puntualmente el planeamiento debe establecer medidas en las zonas más proclives. En este sentido, el problema de los movimientos en masa no afecta sólo al monte San Antón, sino a todos los terrenos de la cobertera maláguide existentes en el

entorno de la ciudad, algunos de los cuales incluyen terrenos que el planeamiento ha dictado como urbanizables.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- CABALLERO MONROS, E. y ALVAREZ DE TOLEDO Y GROSS, R. (1972): *Plan General de Ordenación al Este del Río Guadalhorce*. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental, Málaga.
- COMISSION OF TESTING METHODS (1984): "I.S.R.M. Suggested Methods for Surface Monitoring of Movements Across Discontinuities" *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Austr.*, 21, 265-276.
- COMUNIDAD DE PROPIETARIOS DE LA URBANIZACIÓN PINARES DE SAN ANTON: "Plan de autoprotección ante emergencia por riesgo de incendios en la urbanización Pinares de San Antón." Málaga, 1994.
- COROMINAS, J. (1989): "Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera." En COROMINAS, J. (Ed.) *Estabilidad de taludes y laderas naturales*. Monografía N° 3, S.E.G., Zaragoza, pp. 1-30.
- CROZIER (1986): *Landslides: causes, consequences & environment*. Rotledge, London & New York.
- DUNNE, T. y LEOPOLD, L. (1978): *Water in environmental planning*. W.H. Freeman and Co. San Francisco.
- ESTÉVEZ C. y CHAMÓN, C. (1978): *Memoria de la Hoja 1053 del Mapa Geológico de España*, IGME, Madrid.
- GILI, J.A. (1989): "Control de movimientos. Auscultación de taludes y laderas inestables", en COROMINAS, J. (Ed.) *Estabilidad de taludes y laderas naturales*. Monografía N° 3, S.E.G., Zaragoza, pp. 167-214.
- HANSEN, A. (1984): "Landslides hazard analysis", en Brunsden and Prior (Eds.) *Slope instability*, John Wiley & Sons. London.
- MARSH W. M. (1978): *Environmental analysis for land use and site planning*. Mc. Graw-Hill. New York.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1994): "Estimación de propiedades físicas de los suelos a partir de variables edáficas de medición sencilla". *Geomorfología en España*, SEG, Logroño.
- MÉRIDA RODRÍGUEZ, M. (1994): *El Monte San Antón (Málaga): análisis de un espacio natural periurbano*. Universidad de Málaga, Málaga.
- MORENO PERALTA, S., QUERO CASTANYS, D. y SEGUI PEREZ, J. (1983): *Plan General de Ordenación Urbana de Málaga*. Ayuntamiento de Málaga.
- PERLES, M.J., BLANCO, R., MÉRIDA, M. (1997): "Movimientos de ladera asociados a infraestructuras viarias. El caso del monte San Antón, Ronda este de la ciudad de Málaga". *IV Simposium nacional sobre taludes y laderas inestables*, Granada, pp. 285-300.
- QUERO CASTANYS, D. (1996): *Plan General de Ordenación urbana de Málaga*. Ayuntamiento de Málaga.

- ROMANA, M. (1992): "El problema de la previsión de la rotura de un talud en función de la pluviometría". *II Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, La Coruña, 53-69.
- VARNES, D.J. (1978): "Slope movement and types and processes". *Landslides: analysis and control*. De. National Academy of Sciences. Washington DC, 176, pp. 11-33
- WAY (1973): *Terrain analysis*. Dowden, Hutchinson and Ross eds. Stroudsburg, Penn.
- ZINCK, J.A. (1997): "Riesgos ambientales y suelos. Enfoques para la modelización de la erosión por cárcavas y movimientos en masa", en *Revista de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo*. Sociedad Española de Ciencia del Suelo. Granada.