

CARTOGRAFÍA Y ANÁLISIS DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE CEUTA

M. Abad de los Santos
N. López-González
J. Delgado Rodríguez
J. Rodríguez Vidal
F. Rodríguez Vidal
F. Ruiz Muñoz
L. M. Cáceres Puro



INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTIÉS

2011

**M. Abad de los Santos, N. López-González, J. Delgado
Rodríguez, J. Rodríguez Vidal, F. Rodríguez Vidal,
F. Ruiz Muñoz y L. M. Cáceres Puro**

**CARTOGRAFÍA Y ANÁLISIS DE
RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD
AUTÓNOMA DE CEUTA**



**INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES
CEUTA 2011**

El contenido de esta publicación procede de la Beca concedida por el Instituto de Estudios Ceutíes, perteneciente a la Convocatoria de Investigación de 2006.

Colección “Trabajos de Investigación”

© EDITA: INSTITUTO DE ESTUDIOS CEUTÍES

Apartado de correos 593 • 51080 Ceuta

Tel.: + 34 - 956 51 0017

E-mail: iec@ieceuties.org

www.ieceuties.org

Comité editorial:

Francisco Herrera Clavero • Alberto Weil Rus

José Luis Ruiz García • José Antonio Alarcón Caballero

Jefa de publicaciones:

Rocío Valriberas Acevedo

Diseño y maquetación:

Enrique Gómez Barceló

Edición Digital:

ISBN: 978-84-92627-32-5

Depósito Legal: CE-39/2011

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por la convocatoria de Ayudas a la Investigación 2006-2007 del Instituto de Estudios Ceutíes. Los autores de este trabajo agradecen al periódico “El Faro de Ceuta” y, especialmente, a Joaquín Sánchez (Quino) y Rocío Abad, su ayuda en la búsqueda de información local y la cesión de imágenes de deslizamientos e inundaciones en el Polígono del Tarajal, Benítez, Sardinero y la carretera a Calamocarro.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Localización.....	11
1.1.1. Marco Geográfico	11
1.1.2. Breve Síntesis Geológica de Ceuta.....	15
1.2. Objetivos	25
1.3. Metodología	25
1.3.1. Datos de partida	27
1.3.2. Mapa de Vulnerabilidad.....	28
1.3.3. Mapas de Peligrosidad.....	29
a) Mapa de Peligrosidad por avenidas e inundaciones.....	29
b) Mapa de Peligrosidad por deslizamientos y caída de rocas.....	32
c) Mapa de Peligrosidad por tormentas, tsunamis y ascenso del nivel del mar.....	33
d) Mapa de Peligrosidad Total o de Exposición.....	34
1.3.4. Mapa de Riesgos Geológicos.....	35
2. MAPA DE VULNERABILIDAD.....	36
3. MAPAS DE PELIGROSIDAD.....	38
3.1. Inundaciones y avenidas	38
3.1.1. Introducción.....	38
3.1.2. Mapa de Peligrosidad de Inundaciones y Avenidas.....	40
a) Peligrosidad Alta	40
b) Peligrosidad Media	43

c) Peligrosidad Baja	45
d) Peligrosidad Muy Baja.....	46
3.2. Procesos gravitacionales: deslizamientos de tierra y caída de rocas	46
3.2.1. Introducción.....	46
3.2.2. Mapa de Peligrosidad por deslizamientos y caída de rocas.....	50
a) Peligrosidad Alta	50
b) Peligrosidad Media	52
c) Peligrosidad Baja	54
d) Peligrosidad Muy Baja.....	55
3.3. Tormentas, tsunamis y ascensos del nivel del mar.....	55
3.3.1. Introducción.....	55
a) Las tempestades o mareas meteorológicas.....	56
b) Los tsunamis o maremotos.....	56
c) La elevación del nivel del mar	58
3.3.2. Mapa de Peligrosidad por tempestades, tsunamis y ascenso del nivel del mar	58
a) Peligrosidad Alta	58
b) Peligrosidad Media	61
c) Peligrosidad Muy Baja.....	61
4. MAPAS DE PELIGROSIDAD TOTAL Y RIESGOS GEOLÓGICOS DE LA CIUDAD AUTÓNOMA DE CEUTA.....	61
4.1. Mapa de Peligrosidad Total.....	61
4.2. Mapa de Riesgos Geológicos.....	64
5. CONCLUSIONES	66
Referencias.....	67

**CARTOGRAFÍA Y ANÁLISIS DE
RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA CIUDAD
AUTÓNOMA DE CEUTA**

1. INTRODUCCIÓN

Los mapas de riesgo han demostrado ser una herramienta útil para poder pronosticar y disminuir el tiempo de respuesta respecto a los procesos naturales catastróficos. En 1972 el Grupo de Trabajo para el estudio estadístico de desastres Naturales (UNESCO, 1972) identificó el concepto de riesgo como la expectativa de que se produzca una pérdida, bien en forma de vidas humanas, o bienes naturales, o capacidad productiva.

El riesgo (R) se evalúa como el producto de 3 factores en términos matemáticos: valor, vulnerabilidad y peligrosidad.

Riesgo = valor x vulnerabilidad x peligrosidad

Se entiende por *peligrosidad* $P(x, y, z, \Delta t)$ la probabilidad de que un punto (x, y, z) se vea afectado por el peligro considerado a lo largo de un intervalo de tiempo Δt . La *vulnerabilidad* $V(x, y, z)$ es la expectativa de daño o pérdida infligida a un elemento expuesto al peligro, y suele expresarse como porcentaje de daño referido a la pérdida total. El *valor* representa la cuantificación, en términos de vidas humanas, de coste, etc, de los elementos susceptibles de ser afectados por el peligro considerado (Felpeto, 1996).

Los eventos de naturaleza geológica que significan riesgos potenciales para la sociedad se caracterizan por su difícil predicción y por sus graves consecuencias, pero el factor más peligroso es el grado de desconocimiento que suele existir a diversos niveles sobre estos tipos de riesgos. En este breve trabajo se exponen algunos aspectos importantes relativos a los eventos geológicos más comunes y los riesgos que ellos significan en el territorio que abarca la Ciudad Autónoma de Ceuta, con la aspiración de desencadenar la atención que este asunto merece.

1.1. Localización

1.1.1. Marco Geográfico. Ceuta está situada en el extremo NW del continente africano y ocupa parte de la Península Tingitana, frente a las costas europeas de Cádiz, de las que dista aproximadamente 21 km. Esta ubicación geográfica le

proporciona un elevado interés geoestratégico: se encuentra entre dos continentes, África y Europa, y entre dos mares, el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo. La ciudad cuenta con más de 75.000 habitantes (INE, 2006) y presenta una superficie de 18,5 km², un perímetro de 28 km, 8 de ellos frontera con Marruecos, y una altitud máxima de 345 m. Ceuta es una pequeña península rodeada casi por completo por las aguas del Estrecho de Gibraltar.

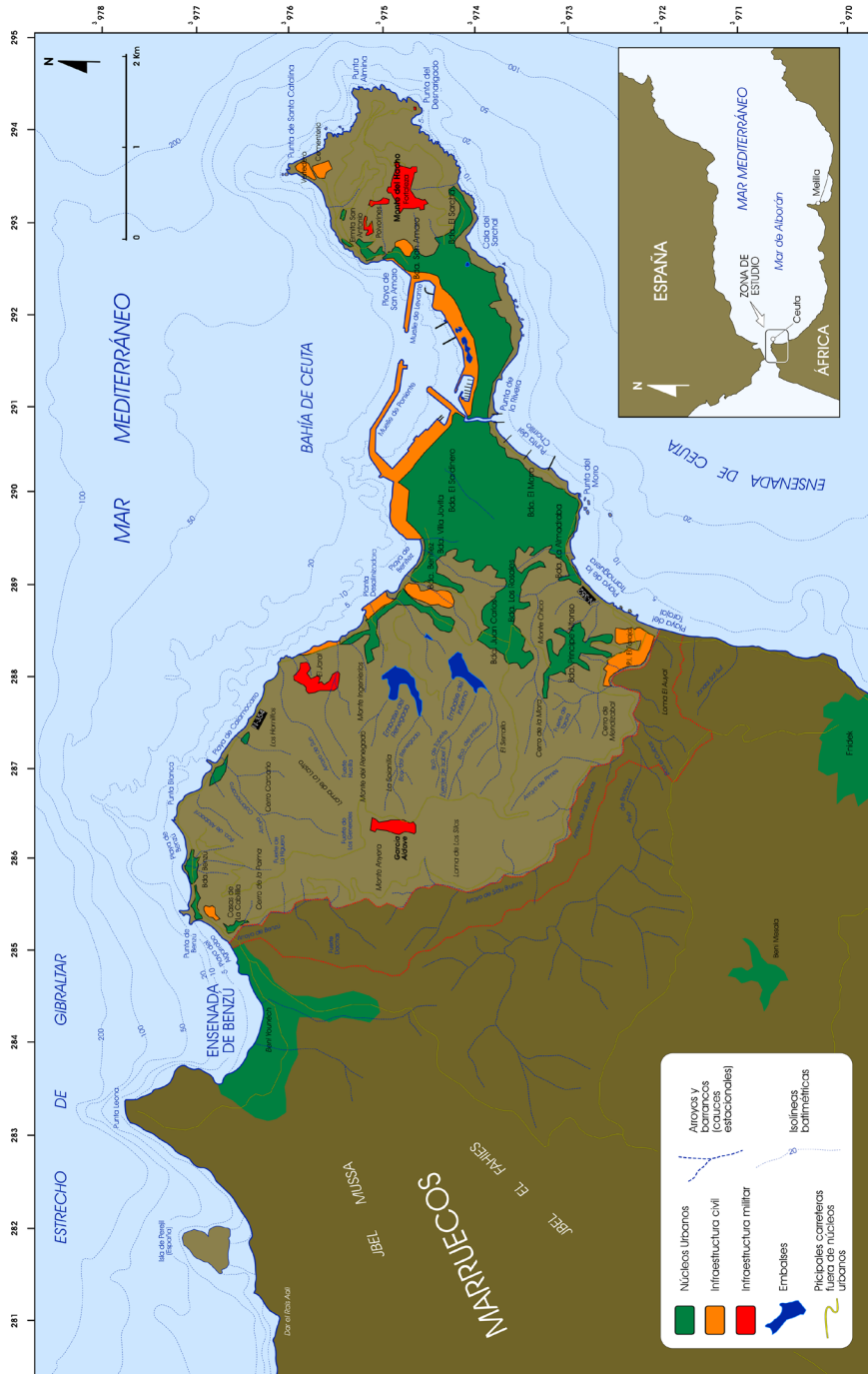
El istmo es un pequeño rectángulo con una suave pendiente en dirección N-S donde se asienta el núcleo urbano. La península de Almina, al Este, coronada por el promontorio del Monte Hacho (195 m), es un conjunto de colinas con cuevas suaves hacia el norte y un brusco acantilado hacia el sur. El Campo Exterior, al Oeste, es la parte más continental de Ceuta, constituida por las estribaciones de la Sierra de Bullones. Se trata de un gran triángulo con vértice en el istmo y base sobre Marruecos, con una complicada topografía de colinas (Morro, Terrones, Otero, etc.) insertada por una red de barrancos. En esta zona, se encuentran las máximas alturas de la ciudad (Monte Anyera, 345 m; Monte del Renegado, 239 m).



Imágenes satélites del Estrecho de Gibraltar y la Ciudad de Ceuta de los años de 2002 y 2007, respectivamente. Fuente: www.nasa.com

El clima de Ceuta es mediterráneo, con veranos calurosos e inviernos cortos y suaves. La temperatura media anual es de 18 °C, con 16 °C de media en las mínimas y 21 °C de media en las máximas. Las precipitaciones muestran la irre-

Cartografía y análisis de riesgos geológicos en la Ciudad Autónoma de Ceuta



1. Mapa Topográfico simplificado de la Ciudad Autónoma de Ceuta. Fuente: Instituto Cartográfico Nacional.

gularidad anual e interanual típica del clima mediterráneo. Los valores máximos se dan en invierno y los mínimos, en julio y agosto, aunque la influencia atlántica se hace patente en la mayor cantidad de precipitación recibida, superando los 600 mm anuales. Las horas anuales de sol superan las 2.500. Los vientos dominantes, canalizados por los accidentes geográficos del Estrecho, se alternan, por un lado con los de levante, que acentúan la humedad ambiental y, por el otro con los de poniente, que despejan el ambiente, hacen descender la humedad y la sensación térmica de temperatura.

El conjunto de relieves accidentados y las pendientes acusadas en una superficie tan reducida, junto con las características climáticas, dan como resultado una red hidrográfica formada por numerosos barrancos de escasa longitud y marcado carácter torrencial y estacional (arroyos del Infierno, de Sidi Brahim, de las Bombas, de las Colmenas, etc.).

La costa norte ceutí es de carácter accidentado, con numerosos entrantes y salientes de escasas dimensiones, con el predominio de acantilados o fuertes inclinaciones hacia el mar. La costa mediterránea ceutí está representada por playas de textura grosera, estrechas y de corto recorrido, que continúan hacia el territorio marroquí ampliando su longitud y anchura. En cuanto al régimen hidrodinámico de la costa, el análisis medio muestra como más del 60% del oleaje es inferior a 0,5 m (Benavente et al., 2007). La energía asociada que muestran también es baja, siendo la altura máxima registrada de 5,5 m M'diq (Marruecos) (LPEE 1987) en épocas de tempestades. La marea presenta rango micromareal y periodicidad semidiurna. La onda de marea, procedente del Atlántico, entra en el Mediterráneo propagándose progresivamente hacia el este. El rango mareal varía desde unos centímetros, durante las mareas muertas, hasta 0,8-1,0 m durante las mareas vivas (Jaaidi et al., 1992), lo que define a este tramo costero como micromareal (Davies, 1964). En cuanto a la clasificación de Hayes (1979), que compara la acción relativa de la marea y el oleaje, se trataría una costa dominada por el oleaje.



Ejemplos de playas del litoral ceutí. Izquierda, playa de la Punta del Morro; centro, playa de Calamocarro; derecha, cala del Sarchal.

La vegetación espontánea domina sobre los terrenos cultivados. Así, existen algunos bosques de pinos, alcornoques en condiciones precarias sobre Benzú, cañaverales en las zonas bajas y matorrales y chumberas sobre zonas accidentadas. Es también de gran interés la flora rupícola que aparece sobre los acantilados. En el Campo Exterior existen repoblaciones de eucaliptos.



Arriba, panorámica de la Península de Almina y del Istmo desde García Aldave. Abajo, vista del Campo Exterior desde San Antonio, en el Monte Hacho.

En conjunto, el paisaje de Ceuta muestra una gran riqueza al conjugar una serie de elementos muy heterodoxos: la presencia del mar, un relieve accidentado y variado, con la imponente presencia del Yebel Musa o del Monte Hacho, una rica flora, sectores fuertemente antropizados y varios miradores desde donde poder observar todo ese paisaje.

1.1.2. Breve síntesis Geológica de Ceuta. Ceuta está asentada sobre la complicada geología del arco Bético-Rifeño, zona de convergencia de las placas tectónicas euroasiática y africana, donde se han descrito diferentes unidades estructurales, entre las que dominan las de origen metamórfico. El resultado morfológico son tres espacios de distinta topografía: el istmo, la península de Almina y el Campo

Exterior. A continuación se hace un resumen de las principales características de cada unidad (Chamorro y Nieto, 1989):

- *Unidad del Hacho*. Ocupa todo el Monte Hacho y presenta una extensión de 2,2 Km². Está formada principalmente por gneiss, con bancos esporádicos de poca potencia de calizas sacaroideas y diques de feldespatos. La ordenación de minerales melanócratos les puede conferir un aspecto en franjas o bandeado. Constituye una formación bastante homogénea y masiva, ya que la foliación se encuentra mal desarrollada. Las pocas medidas tomadas denotan una dirección próxima a N 55°E/40°NE en la vertiente norte del Hacho, cerca de San Amaro, y N 120°E/45°SO en la barriada del Sarchal.



Izquierda, gneiss del Hacho desde la Punta del desnarigado. Derecha, aspecto de campo de los gneiss cerca del Faro.

Por otro lado, los gneiss se encuentran intensamente fracturados principalmente por dos sistemas de fracturas, muy bien representadas, de dirección N 96°E y N 16°E, con buzamientos de 70°N y subverticales, respectivamente. En conjunto, los planos de fractura han sido descritos en la ladera Sur del monte Hacho, ya que en la ladera Norte las rocas se encuentran mucho más alteradas y cubiertas por un manto edáfico bien desarrollado.

En esta unidad se observan al menos dos familias de fallas. La primera presenta una dirección N 85°E y movimiento mixto, con componentes normal y en dirección. Posee un sistema de fallas conjugadas de dirección N 155°E del mismo comportamiento mecánico. Las dos fallas más importantes de esta familia son las que pasan por la vaguada de San Amaro hasta Punta Almina (buzamiento 60°N) y la falla subvertical que se inicia en el Barranco de la Fábrica de Hierro y finaliza en los acantilados del Salto del Caballo. La única falla destacable con dirección

N 155°E es la que recorre el Barranco del Desnarigado y alcanza hacia el Norte el Isleo de Santa Catalina.

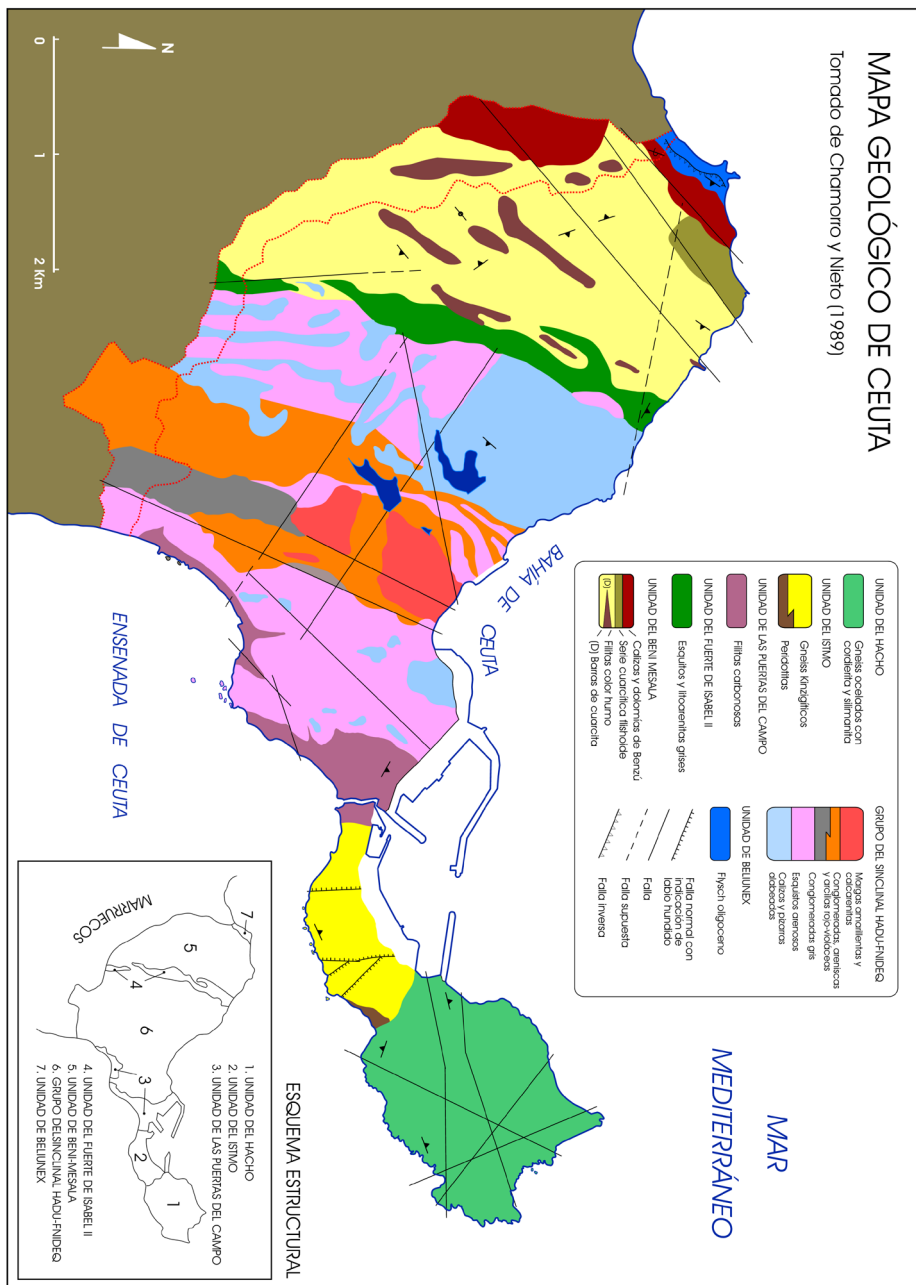
La segunda familia de fallas presenta una dirección N 20°E con otro sistema de fallas conjugadas de dirección N 120°E y buzamiento subvertical. Las fallas más importantes N 20°E son las que va desde la Punta de Quemadero hasta la Punta de las Cuevas (buzamiento 80°O) y la que nace en Salto del Tambor y acaba cerca de Odión. Las principal falla N 120°E es la que partiendo de Punta Quemadero termina cerca de la playa de San Amaro, junto con la que nace en Punta Sauciño y termina cerca del entrante del Salto del Caballo.

- *Unidad del Istmo*. Está formada por gneiss y micaesquistos. Aflora en la casi totalidad de la superficie del istmo. En su mayor parte, están constituidos por gneiss bandeados, muy heterogéneos, e intensamente deformados, con un desarrollo muy pobre de la foliación. Las rocas presentan un sistema de diaclasas reciente que produce su individualización en bloques paralelepípedos. También incluyen filones de pegmatitas, mármoles y piroxenitas. Además de los gneiss, esta unidad comprende micaesquistos que aparecen encima de los gneiss o se relacionan lateralmente con los mismos.



Aspecto de campo de los gneiss kinzigíticos del istmo en la Cala del Sarchal.

La unidad presenta una foliación media de dirección N 50°E/38°NO. Presentan también numerosas fracturas de dirección N 165°E y N 115°E. Las primeras presentan un comportamiento normal y buzamientos de 60°O. Son destacables la falla que se inicia en el Recinto Sur, y acaba cerca de la antigua factoría naval, y la que transcurre entre la Playa de La Peña y la Marina. Las fracturas con dirección N 115°E están peor representadas. Son fallas normales que buzán unos 60° hacia el Norte. Otros sistemas de fallas observados en el istmo son N 140°E y N 165°E y presentan movimiento inverso.



2. Mapa geológico simplificado de la Ciudad Autónoma de Ceuta. Modificado de Chamorro y Nieto (1989).

La serie de los gneiss y micaesquitos del Istmo se apoyan, en aparente concordancia sobre las peridotitas del Sarchal. Estas rocas pertenecen estructuralmente al complejo del Istmo. Se encuentran sólo en el pequeño afloramiento de la Cala del Sarchal. Debido a la intensa meteorización que le afecta, estas rocas se encuentran en su mayoría transformadas en serpentina. A su vez, la fracturación y deformación que presentan es muy intensa.



Ejemplos de las peridotitas y serpentinitas de la Cala Sarchal.

- *Unidad de las Puertas del Campo*. Está formada por pizarras de color gris oscuro y negras, ligeramente carbonosas. La serie contiene también bancos



Pizarras carbonosas de la Unidad de las Puertas del Campo cerca de la Playa del Chorrillo.

de cuarcitas negras de poca potencia. Generalmente, presenta una estructuración tectónica muy compleja. Esta unidad, que aflora en algo más de medio kilómetro cuadrado, presenta sus materiales muy fracturados y plegados. La dirección de los estratos muestran una dirección de N 120°E/25°NE. La falla más importante que afecta a esta unidad es la que parte de la playa de la Almadraba, con un buzamiento subvertical, y acaba en el Llano de las Damas. Dada la naturaleza litológica de esta unidad (baja resistencia a deslizar), su intensa fracturación y elevada permeabilidad, las zonas donde afloran estas formaciones geológicas sufren frecuentemente procesos gravitacionales.

- *Unidad del Sinclinal de Hadu-Findeq.* Con casi 10 km² de extensión, esta unidad es la que aflora con una mayor superficie en Ceuta. Esta formada por un conjunto heterogéneo de materiales sedimentarios. En su conjunto, se presenta como un sinclinal complejo, con el plano axial buzando al oeste y una ligera inmersión hacia el norte. El sinclinal es claramente asimétrico, presentándose gran parte de los materiales del flanco occidental invertidos. La serie sedimentaria comienza con una potente formación de calizas alabeadas, esquistos y pizarras. Le sigue una serie de esquistos y areniscas. En el núcleo del sinclinal aflora un conglomerado poligénico, a veces de aspecto brechoide. Discordante sobre todos los anteriores se observa la serie transgresiva Permo-triásica, que comienza con un conglomerado de cemento rojizo, seguido de areniscas y argilitas rojo-violáceas, terminando con areniscas amarillentas. Encima de toda esta sucesión, en clara discordancia, afloran margas y calcarenitas bioclásticas.

Las calizas alabeadas, datadas en el Devónico superior, se presentan en bancos delgados de colores gris azulado, alternantes con niveles de esquistos pelíticos y pizarras con foliación muy bien desarrollada. Frecuentemente se encuentran afectados por un intenso diaclasado. El calificativo de alabeadas procede del tipo de plegamiento que muestran. Se trata de un plegamiento suave, de elevado radio de curvatura, sobrepuesto en varias direcciones. En el flanco oriental del anticlinal, las calizas se presentan en serie normal con dirección N/NE – S/SO y buzamiento variable. En el flanco occidental, sin embargo, se presentan invertidas con direcciones cercanas a N – S y buzamientos de 45°O. La presencia de estas calizas provoca en el relieve importantes resaltes. Los sistemas de fallas medidos poseen direcciones de N 10°E a N 25°E. Estas calizas presentan una elevada permeabilidad.

Sobre las calizas alabeadas, en continuidad estratigráfica, aflora una alternancia de esquistos y de areniscas del Carbonífero, de tonalidades verdosas, pardas y rojizas. Ocasionalmente, presentan lentejones conglomeráticos y restos de plantas. Aunque los esquistos y areniscas de esta formación son rocas blandas,

resultan en su conjunto bastantes resistentes a la meteorización, debido en parte a su impermeabilidad. La dirección y buzamiento de esta serie esquisto-arenosa es similar a la de las calizas alabeadas. Aunque la formación se encuentra muy replegada y fracturada, allí donde se ha determinado dirección y buzamiento, así como la polaridad de la serie, se ha confirmado la disposición en sinclinal tumbado con el flanco oeste invertido.



Materiales del Sinclinal de Hadu-Findeq. Arriba, calizas alabeadas, afectadas por fallas normales de bajo ángulo, cerca de Playa Benítez y en la carretera de Calamocarro. Abajo, conglomerado gris del Carbonífero aflorante en la Playa Benítez.

En el eje de este sinclinal, y formando el núcleo del mismo, se observa un conglomerado gris oscuro formado por clastos redondeados de cuarcita, caliza y esquistos. La roca es bastante compacta y dura, aunque está algo fracturada. Este conglomerado, que produce resaltos topográficos, desaparece en la parte norte del sinclinal bajo los materiales Pérmicos y Eocenos. En el sur reaparece de nuevo, aunque muy brechificado y milonitizado. Dada sus malas condiciones para determinar el buzamiento y su organización masiva, no existen medidas fiables de estratificación o fracturas en esta formación.

Encima de las rocas anteriores, mediante una clara discordancia erosiva, aparecen los conglomerados, areniscas y argilitas rojas Permotriásicas. Estos materiales aparecen en dos bandas paralelas con disposición NNE – SSW. La serie comienza con una pudinga, seguida de arenas rojas feldespáticas, ocasionalmente con estratificaciones cruzadas. Coronan la serie argilitas de color violeta y verdoso y, finalmente, bancos de arenisca masivos de composición cuarcítica. La disposición estructural del permotrias es bastante compleja. En la zona norte se puede apreciar un mínimo de tres estructuras sinclinales pellizcadas entre los esquistos, areniscas y conglomerados. En la misma zona, una importante falla inversa trastoca estos materiales y los mezcla con las margas amarillas del Mioceno. Más al sur, otra falla de dirección NO – SE produce una importante deformación. La presencia de arcillas en esta formación hace que ésta sea impermeable y, al mismo tiempo, pueden generar problemas de deslizamientos en cimentaciones.



Conglomerados y esquistos arenosos carboníferos de la Unidad del Sinclinal de Hadu-Findeq en el Suroeste de la ciudad. Izquierda, Barriada del Príncipe. Derecha, obras del nuevo Hospital en Los Rosales (Fuente: Google Earth).

Superpuestas a todos los materiales que conforman el sinclinal de “Hadu-Fnideq”, en discordancia sobre ellos, aparecen dos manchas de 0,7 Km² de margas y areniscas calcáreas del Eoceno. Son margas arenosas amarillentas que pasan lateralmente a calcarenitas bioclásticas, poco consolidadas y de color gris oscuro a amarillas. A nivel geotécnico, estos materiales pueden ser problemáticos para la construcción debido a su escasa potencia en algunas zonas y a la posibilidad de que bajo ellos aparezcan argilitas pérmicas.

- *Unidad de Isabel II.* Aflora en una banda estrecha y discontinua de dirección N/NO – S/SO que va desde la Playa de Calamocarro, en el Norte, hasta Loma Pelada, en el Sur. La superficie total que ocupa es de unos 900.000 m². Las rocas que forman esta unidad son esquistos y litoarenitas grisáceos, datados en el Carbonífero, que se encuentran pellizcadas entre la Unidad de Beni-Mesala,

por el Oeste, y la de Hadu-Fnideq, por el Este. Los materiales se encuentran muy deformados, sin poseer una dirección y buzamiento constante, aunque en la costa norte tienden a buzarse 25° hacia el NE con dirección N 130° E.

- *Unidad de Beni-Mesala*. Corresponde con los terrenos más occidentales de Ceuta. Aflora desde Calamocarro a Benzú, por el Norte, y desde Loma Pelada hasta el Yebel Zinder, por el Sur. Está formada por filitas sedosas de un gris metálico (color humo), barras de cuarcita blanco-amarillentas de varios metros de potencia, una serie alternante de esquistos y cuarcitas de tonos pardos, y potentes bancos de dolomías y calizas gris azulado. En conjunto, estos materiales ocupan algo más de 6 Km^2 , siendo las filitas los materiales más abundantes. Estas filitas aparecen alabeadas y plegadas de forma isoclinal y muestran una foliación bien desarrollada. Localmente también pueden presentar intercalaciones conglomeráticas.

Las barras de cuarcitas están, a veces, bastante bien desarrolladas en la unidad. Normalmente de varios metros de potencia, pueden llegar a alcanzar el centenar formando resaltes importantes en el relieve. Se aprecia en ella un fuerte plegamiento donde dominan los pliegues muy apretados, especialmente en pequeños bancos esquistosos.



Materiales de la Unidad Beni-Mesala en Punta de la Cabeza. Izquierda, filitas color humo. Derecha y abajo, cuarcitas amarillentas plegadas.

Por último, una potente formación de dolomías triásicas, seccionada en dos partes por una falla, cierra la unidad por su extremo occidental. En el extremo suroriental de Benzú se observa una serie calizo-pelítica alternante, con niveles centimétricos, plegada con pliegues isoclinales agudos de dirección N – S, con los flancos buzando 60° hacia el Oeste. Por otro lado, debido al aspecto masivo de las dolomías, es muy difícil determinar su estratificación. Muy fracturadas y afectadas por fallas, las rocas se encuentran repletas de cavidades y fisuras. Aunque en la zona sur la serie presenta una clara disposición anticlinal más compleja, en el Norte la estratificación se mantiene constante con ligeras variaciones en la dirección NE – SO y buzamientos de 45° hacia el SE. Entre las fallas podemos destacar las de dirección aproximada N 40°E que separan las dolomías de Benzú del resto de la unidad o la que parte cerca de Punta Blanca.

- *Unidad de Beliunex*. Ocupa sólo unos 62.000 m² y aflora en el extremo noroccidental del territorio de Ceuta. La unidad se apoya, mediante un contacto



Arriba, calizas y dolomías de la Unidad de Beni-Mesala en Benzú. Izquierda, abrigo de la Cabililla. Derecha, cantera de Benzú. Abajo, Unidad de Beliunex bajo los materiales de la dorsal caliza y el Grupo de Yebel Musa.

mecánico, en las dolomías de Benzú. Estos materiales oligocenos son típicos de una formación flyshoide, es decir, una alternancia rítmica de areniscas y pelitas. Las areniscas son cuarcíticas de tamaño de grano grueso e incluso microconglomerático. Las pelitas, menos potentes que las areniscas, poseen un color pardo oscuro. La estratificación de estos materiales está bien marcada y presenta una dirección y buzamiento de N 55°E/60°S. La falla más importante que presenta esta unidad es una falla de inversa de dirección N 140°E.

1.2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es la determinación de varias categorías de peligro (véase avenidas e inundaciones; deslizamientos y caída de rocas; tormentas, tsunamis y elevación del nivel del mar), vulnerabilidad y riesgo utilizando tanto sistemas de Información geográficos como trabajo de campo geológico. El resultado de este trabajo brinda una información valiosa como herramienta complementaria al plan de organización territorial de la ciudad, tanto en sus zonas urbanizadas como en aquellas desocupadas o con una densidad menor de población o de infraestructura. Por tanto, la creación de un mapa de riesgo no es el paso final en un manejo del desastre sino, más bien, meramente un objeto que debe ser utilizado para la toma de decisiones en el proceso de planificación.

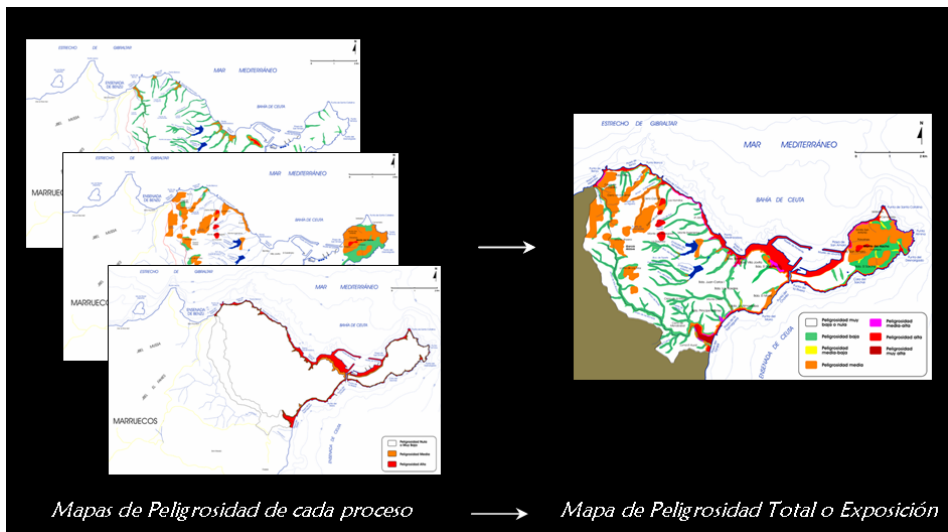
1.3. Metodología

En este trabajo se ha elaborado un mapa cualitativo de peligro conjunto de: i) avenidas e inundaciones fluviales; ii) deslizamientos y caída de rocas y; iii) temporales, tsunamis y ascenso del nivel del mar, combinando varios mapas de parámetros. Previamente, se ha elaborado un mapa de vulnerabilidad, que combinado con el anterior, han permitido generar un mapa de riesgos. El riesgo se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de uno o varios fenómenos de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Como consecuencia de lo anterior, cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo. Por otro lado, la elaboración de un mapa de riesgos es un proceso muy subjetivo, ya que los criterios utilizados para la identificación y caracterización de un proceso natural peligroso son, hasta cierto punto, arbitrarios. Esto necesariamente no implica una incorrecta determinación del mismo, aunque sí puede conllevar una importante variabilidad en el área de actuación que se le asigna.

La principal dificultad metodológica es combinar los datos procedentes de los mapas de peligrosidad con los que se obtienen del mapa de vulnerabilidad. Existe una gran diversidad de procedimientos (Bosque Sendra et al., 2000), y cada uno

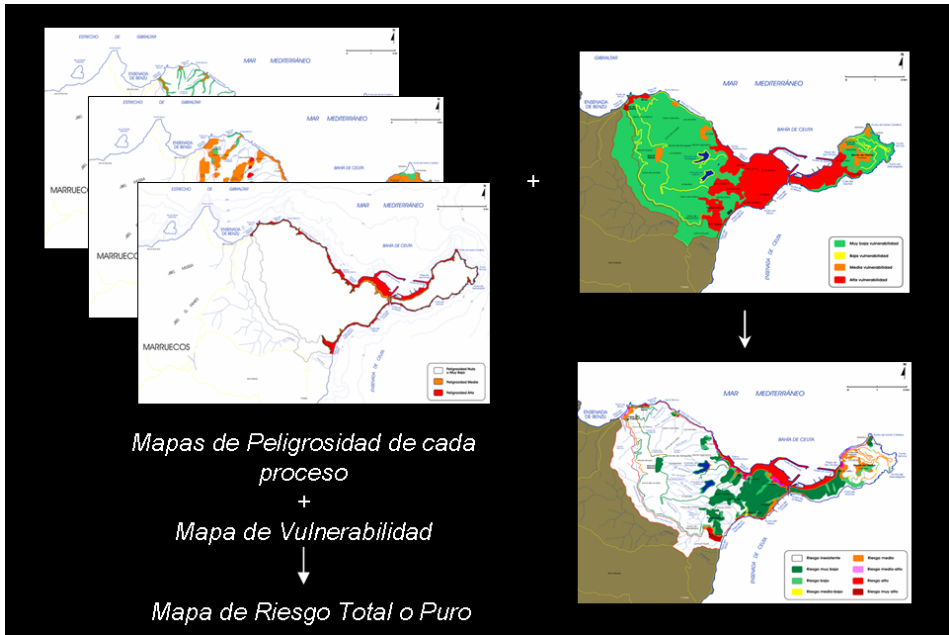
de ellos proporciona un resultado diferente. Resulta, por tanto, importante encontrar una manera de combinar los datos que sea lo más eficaz posible, con el fin de utilizar bien toda la información disponible y cumplir los objetivos planteados. En este sentido se dirigen los procedimientos planteados a continuación. Existen numerosas combinaciones posibles de los cuatro mapas básicos. De entre ellas se ha considerado prioritario obtener las dos siguientes:

a) *Peligrosidad total o exposición a amenazas* (inundaciones y avenidas + deslizamientos + tormentas)



b) Combinación de las cuatro capas, lo que podemos denominar *riesgo total o puro* (vulnerabilidad + peligrosidad por inundaciones y avenidas + peligrosidad por deslizamientos + peligrosidad por tormentas). No se ha estimado conveniente elaborar un mapa de riesgos por cada tipo de mapa de peligrosidad, ya que el objetivo inicial de este proyecto era la realización de una cartografía de riesgos general. Por otro lado, su elaboración sería relativamente sencilla partiendo del mapa de vulnerabilidad y de peligrosidad de cada proceso.

La superposición de cartografías y tratamiento de datos para obtener cada uno de los mapas de peligrosidad se ha llevado a cabo mediante diferentes sistemas de información geográfica (ArcGis 9.2 y Global Mapper 8) a partir de los que se han combinado y superpuesto mapas de datos -o capas- sobre una base cartográfica geográfica. Estos mapas constructores están formadas por áreas -o polígonos- a



los que se les asigna un determinado valor. El resultado final es una cartografía o mapa formado, a su vez, por distintos polígonos a los que se le asigna un nivel de peligrosidad (nula-baja, media y alta) en función de los parámetros y frecuencia estimados, que definen el proceso geológico considerado individualmente. La metodología empleada para la elaboración del mapa de peligrosidad total es similar, mediante combinación de polígonos de diferente valor de peligrosidad de cada uno de los mapas de peligrosidad de cada proceso geológico considerado. En total, se han diferenciado siete rangos de peligrosidad, desde muy alta a muy baja. A su vez, el método empleado para la construcción del mapa de riesgo sigue el mismo patrón, superponiendo mediante la misma técnica el mapa de vulnerabilidad y el de peligrosidad total o exposición.

1.3.1. Datos de partida. Los datos de partida poseen una gran importancia en la elaboración de cartografías de riesgos, ya que el resultado final suele ser tan bueno, o malo, como la calidad de las referencias utilizadas. El material de partida para la elaboración de este trabajo ha sido el siguiente.

- Mapa topográfico Nacional de Ceuta a escala 1:25.000 del Instituto Español de Cartografía, con isolíneas de nivel cada 10 m. Puntualmente, en zonas de mayor complejidad, se ha utilizado el mapa a escala 1:5.000 en formato digital editado por el Ayuntamiento de Ceuta, con curvas de nivel cada 2 m.

- Mapa geológico de Ceuta a escala 1:25.000 (Chamorro y Nieto, 1989).
- Mapas de pendientes para usos agrarios y para actividades urbanas de Ceuta (Chamorro y Nieto, 1989).
- Mapa de clasificación de cuencas de Ceuta según su densidad de drenaje (Chamorro y Nieto, 1989).
- Juego de fotografías aéreas a color del año 1987, a escala 1:5.000, realizado por el Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire.
- Juego de fotografías aéreas, en blanco y negro y color del año 1995, a escala 1:25.000.
- Recopilación de noticias locales de las hemerotecas de los Diarios “El Faro de Ceuta” y “El Pueblo” relacionadas con procesos geológicos, durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 2002 y 2008.

Los datos de distribución de precipitaciones y temperaturas se han obtenido de la consulta de diferentes publicaciones científicas, en los que se incluyen series temporales detalladas entre los años 1942 y 1995 (Chamorro y Nieto, 1989; García-López, 1992). Estas series han sido contrastadas con datos más recientes (de 1990 a 2005) procedentes de la Agencia Estatal de Meteorología (estación meteorológica nº 603200) y diferentes sitios web donde se ofrece una información climática muy completa de las últimas décadas (p.ej. tutiempo.net).

1.3.2. Mapa de Vulnerabilidad. La vulnerabilidad o susceptibilidad se ha definido como el grado de pérdida como resultado de la ocurrencia de un fenómeno geológico o como la expectativa de daño sobre un determinado elemento expuesto. Depende de la fragilidad tanto del medio natural, como de la población humana y de sus actividades. Normalmente supone la identificación de grupos y asentamientos humanos, infraestructuras o usos del suelo. Por lo tanto, la vulnerabilidad territorial hace referencia al potencial de una población para experimentar daños graves en caso de accidente y suele relacionarse con aspectos como el estándar de vida, la salud y el nivel cultural, o con la existencia de sistemas de protección civil. *En muchas otras ocasiones el concepto de vulnerabilidad atiende también a la fragilidad del medio natural, es decir, de zonas no urbanizadas. En este trabajo, y con el propósito de facilitar la metodología empleada y la representación de los datos, se ha decidido integrar el área de actuación y la frecuencia de los procesos peligrosos, que afectan tanto al medio natural como al ocupado por el ser humano, dentro de los mapas de peligrosidad (punto siguiente).* En nuestro caso, la metodología utilizada fue práctica y se desarrolló considerando los datos y la información existentes en Ceuta a partir del material cartográfico consultado.

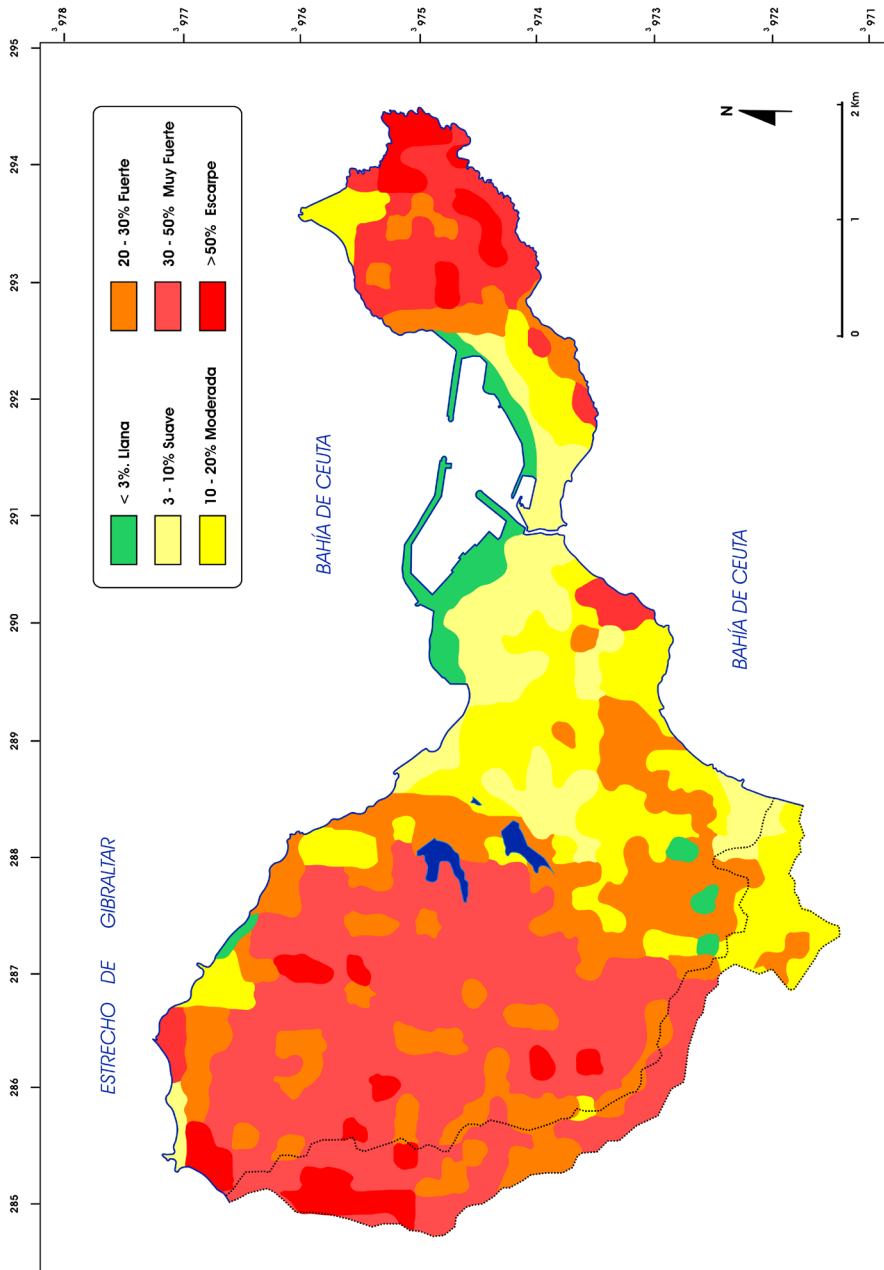
Los datos sobre población, ríos, carreteras, topografía, usos de suelo, Aunque la elaboración de un mapa de vulnerabilidad puede llevarse a cabo de una manera compleja, diferenciando la vulnerabilidad ambiental, de población, social y de infraestructura, en este trabajo se ha optado por simplificar esta cuestión. Tal circunstancia se debe a que un proceso más detallado de identificación, valoración y jerarquización de las zonas vulnerables se escapa de los objetivos del proyecto, dada la escala de trabajo prefijada. Así, y partiendo del mapa topográfico a escala 1:25.000 de año 1998 de Ceuta, se han diferenciado: i) los principales núcleos de población, que constituyen zonas de alta vulnerabilidad; ii) las infraestructuras tanto civiles como militares, que definen zonas de vulnerabilidad media y; iii) las carreteras más importantes, que delimitan zonas de baja vulnerabilidad.

En el caso de las carreteras principales, además de su propio trazado se amplió esta zona de vulnerabilidad en cartografía hasta 20 metros a ambos lados de las mismas, delimitando una banda de proximidad donde un proceso geológico podría dañar directa o indirectamente las vías de comunicación.

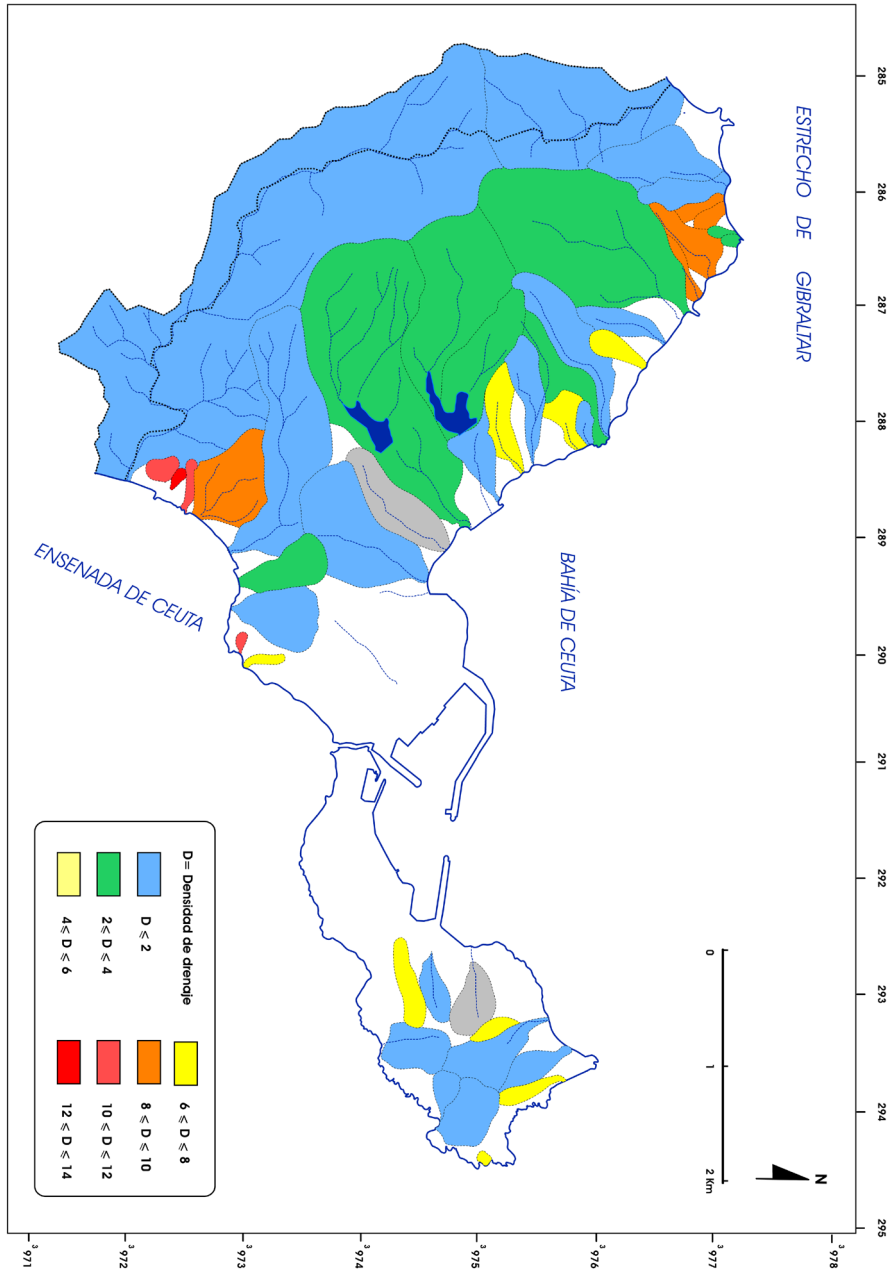
1.3.3. Mapas de Peligrosidad. La peligrosidad se define como la probabilidad de que un lugar, durante un intervalo de tiempo determinado, sea afectado por un determinado evento potencialmente perjudicial. El uso de los mapas de peligrosidad depende, fundamentalmente, del intervalo de tiempo para el que se calculan. Los mapas de peligrosidad a largo plazo (del orden de varias decenas de años) que, generalmente, abarcan amplias zonas, se emplean básicamente para ordenación territorial. Los mapas de peligrosidad a corto plazo (generalmente menos de un año) son una herramienta fundamental para la gestión de procesos rápidos, instantáneos en términos de tiempo geológico y de consecuencias más graves. En el caso de la ciudad de Ceuta, los mapas de peligrosidad se han elaborado con el objetivo de prever procesos que actúan principalmente a medio y largo plazo. Esto no significa que dichos mapas puedan ser utilizados de forma puntual para detectar zonas susceptibles de sufrir desastres naturales a diferente escala.

La caracterización de cada proceso potencialmente peligroso se ha llevado a cabo desde un punto de vista estrictamente descriptivo y cualitativo, es decir, dependiente de capas de información espacial, sin establecer un cálculo preciso –aunque sí aproximado de la probabilidad de ocurrencia temporal de estos fenómenos.

a) *Mapa de Peligrosidad de inundaciones y avenidas.* Se han diferenciado las siguientes zonas de peligrosidad en función del mapa de clasificación de cuencas por superficie y densidad de drenaje, de la orografía de las cuencas fluviales, así como de la permeabilidad y competencia de las litologías por las que pasan los arroyos y barrancos.



3.1. Mapa de Pendientes para usos agrarios de la ciudad de Ceuta. Modificado de Chamorro y Nieto (1989).



3.2. Mapa de Clasificación de Cuencas, según la densidad de drenaje, de la ciudad de Ceuta. Modificado de Chamorro y Nieto (1989).

Las zonas de peligrosidad alta se han definido como aquellas localizadas próximas a las desembocaduras de los cauces en las que confluyen factores como una alta densidad de drenaje y superficie de las cuencas, una baja permeabilidad del sustrato y/o pendientes medias de moderadas a altas. Constituyen zonas de alta peligrosidad también los arroyos y barrancos que, aún teniendo pendientes moderadas o bajas y densidad baja de drenaje, desaguan hacia áreas deprimidas y endorreicas, sin desembocadura natural al mar. Estas zonas suelen coincidir con núcleos urbanizados, donde el agua de escorrentía superficial tiene dificultad para infiltrarse en el subsuelo y el cauce se encuentra taponado por viviendas o cualquier otro tipo de construcción antrópica.

Las zonas de peligrosidad media se han definido como áreas próximas a las desembocaduras, en cuencas donde predomina la baja permeabilidad del sustrato y están asociadas a cuencas de drenaje de superficie relativamente grande o mediana, con una densidad de drenaje media y pendientes fuertes. También se consideran como zonas de peligrosidad media al área de confluencia de varios arroyos y barrancos cercanos al mar de peligrosidad menor (ver más abajo), así como las áreas anexas a las zonas de peligrosidad alta. Estas últimas definen zonas de transición entre zonas de peligrosidad baja y alta.

Las zonas de peligrosidad baja se concentran a lo largo de la superficie de los valles de los arroyos y de los barrancos, independientemente de su densidad de drenaje, pendiente y litología de las cuencas. Estas zonas pueden actuar como áreas de canalización de pequeñas avenidas en momentos de grandes precipitaciones. De la misma forma, se han considerado zonas de baja peligrosidad los cauces cercanos a las desembocaduras, o áreas de expansión y deceleración de corrientes, adyacentes a las que se han clasificado previamente como zonas de peligrosidad alta o media.

Finalmente, las zonas de peligrosidad nula o muy baja son aquellas que no cumplen las condiciones anteriores y que, generalmente, se localizan suficientemente alejadas de arroyos y barrancos.

b) *Mapa de Peligrosidad de deslizamientos y caída de rocas.* El mapa de peligrosidad de este tipo de procesos se ha construido a partir del mapa topográfico, el mapa de pendientes y el mapa geológico de Ceuta, a escala 1:25.000, donde se incluyen la naturaleza litológica de cada unidad y medidas estructurales de buzamientos, foliación y fallas. A su vez, esta información se ha completado para la obtención de un mayor número de datos mediante el trabajo de campo llevado a cabo en verano de 2007.

En la cartografía se han diferenciado las siguientes zonas:

Las zonas de peligrosidad alta, que son aquellas de pendientes muy escarpadas (>50%), formadas por sustratos rocosos con un importante desarrollo de uno o varios sistemas de planos de discontinuidad (estratificación, foliación, diaclasas o fallas). Los planos de rotura buzan en la misma dirección que la pendiente y poseen una inclinación inferior a la misma, aunque suficientemente alta como para superar el ángulo de rozamiento. Otros factores considerados en cada unidad, son la alternancia de litologías de diferente competencia que favorezcan el deslizamiento entre bloques.

Las zonas de peligrosidad media se han descrito en zonas de pendientes fuertes a muy fuertes (20-50%), en rocas y suelos que cumplen las condiciones descritas en el supuesto anterior. Constituyen también zonas de peligrosidad media las zonas muy abruptas (>50% de pendiente), intensamente fracturadas, pero que sólo cumplan alguno de los parámetros descritos, es decir, que los planos de rotura potenciales bucen en la misma dirección que la pendiente o que posean una inclinación inferior a la misma.

Las zonas de peligrosidad baja son aquellas de pendiente moderada (10-20%) y que cumplen las mismas condiciones descritas en los casos anteriores, o aquellas de pendientes fuertes a muy fuertes (20-50%) que cumplen algunas de ellas.

Finalmente, las zonas de muy baja peligrosidad se describen en superficies de terreno de pendientes muy bajas (<20%), aunque pueden poseer características geológicas adecuadas para el desarrollo de procesos gravitacionales. Esto no significa que en ellas no sean posibles deslizamientos o caída de rocas, si bien la magnitud y el daño potencial de estos procesos sería menor que en los casos previos.

c) *Mapa de Peligrosidad de tormentas, tsunamis y ascenso del nivel del mar.* Para la elaboración de este mapa se han utilizado los mapas topográficos de Ceuta a escala 1:25000 y 1:5000, en los que se especifican las isolíneas de batimetría más cercanas a la costa (5, 10 y 20 m). Además, se han considerado factores tales como la altura máxima del oleaje y la fuerza del viento durante los últimos temporales de invierno, el rango mareal medio y la orografía de la costa, junto con diferentes variables de tipo geomorfológico y antrópico que la caracterizan, como son el grado de exposición del tramo costero considerado y la batimetría de la zona infralitoral.

Las zonas de peligrosidad alta se han limitado a la franja de terreno entre la línea de costa y la cota de 6,5 metros sobre el nivel del mar, que define la cota más alta de la orla donde se concentran los daños ocasionados por las tormentas durante el invierno. Este valor se ha extrapolado a partir del valor medio del rango mareal (cm) y de la altura del oleaje. El análisis medio muestra como más del 60% del oleaje es inferior a 0,5 m (Benavente et al., 2007). La energía asociada

que muestran también es baja, siendo la altura máxima registrada de 5,5 m M'diq (Marruecos) (LPEE 1987), aunque en el último temporal fuerte sufrido por la ciudad de Ceuta se han llegado a medir olas de hasta 7 metros cerca de la costa. El rango mareal varía desde unos pocos centímetros, durante las mareas muertas, hasta 0,8-1,0 m durante las mareas vivas (Jaaidi et al., 1992). Esta banda también constituye la zona de mayor peligrosidad ante una posible subida del nivel marino en las siguientes décadas y se trataría, aproximadamente, del área más afectada ante la llegada de un maremoto o tsunami.

Las zonas de peligrosidad media se han localizado entre las cotas 6,5 y 10 m sobre el nivel del mar, ya que por encima de esta cota, en condiciones similares a las actuales, no se estima que sean probables daños por este tipo de procesos. Generalmente, el inicio de esta zona coincide con un cambio brusco de pendiente hacia el interior del terreno, por lo que su extensión es bastante más reducida que la zona anterior. Además, dado lo escarpado de la costa de Ceuta, a excepción de eventos catastróficos y de alta energía, los daños causados aquí serían indirectos, provocados por la acción del oleaje sobre el litoral infrayacente.

Por último, las áreas de peligrosidad baja o nula son las que se encuentran por encima de los 10 m.

d) *Mapa de Peligrosidad Total o de Exposición.* Como ya se ha explicado, este tipo de mapas se construyen a través de la superposición de los diferentes mapas de peligrosidad. Las zonas de peligrosidad muy alta se han definido donde confluyen dos o tres áreas de peligrosidad alta, mientras que las zonas de peligrosidad alta


















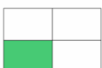
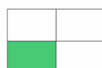
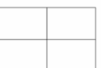
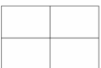
P.M.A	P.A	P.Med-A	P.Med	P.Med-B	P.B	P.M.B
						
+	+	+	+	+	+	+
						
+	+	+	+	+	+	+
						

Tabla resumen para la definición de los diferentes tipos de peligrosidad establecidos en este trabajo.

son aquellas en las que sólo se ha podido definir una clase de peligrosidad alta, independientemente de que también coincidan con otros tipos de peligrosidad de menor grado. Las zonas de peligrosidad media-alta se han delimitado en aquellos sectores donde coinciden dos o tres áreas de peligrosidad media, mientras que las de peligrosidad media se localizan donde se superponen una única zona de peligrosidad media y dos zonas de peligrosidad baja o menor. Por último, las zonas de peligrosidad media-baja se ha establecido donde confluyen dos o tres áreas de baja peligrosidad, mientras que las de peligrosidad baja y las de peligrosidad muy baja se establecen en zonas afectadas por un único tipo de peligrosidad baja o ninguno, respectivamente.

1.3.4. Mapa de Riesgos. El riesgo es la expectativa de que se produzcan pérdidas, bien sea en forma de vidas humanas, de bienes materiales o de capacidad productiva. El riesgo es el resultado de la conjunción de exposiciones a un peligro y vulnerabilidades. Una vez definidos los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad, estamos en condiciones de obtener el mapa de síntesis de riesgo mediante su combinación, por lo que se considera este último como una consecuencia de la interacción entre exposición y vulnerabilidad. Cuando el peligro es muy bajo, no importa si la vulnerabilidad es baja o alta; el riesgo será bajo en todos los casos. Cuando la vulnerabilidad es muy baja (significa que el área no contiene ningún elemento importante en el riesgo), el riesgo generalmente es bajo.

Aunque resulta evidente que el daño causado por un proceso geológico sería mucho mayor en las zonas más pobladas, a la hora de diseñar este mapa de riesgos se ha decidido asignar a todas las zonas, donde puedan producirse pérdidas, un mismo y único valor de vulnerabilidad. Esto se debe a que el objetivo inicial de este estudio ha sido identificar procesos potencialmente peligrosos que puedan provocar o provoquen circunstancias o situaciones de peligro, pérdida o daño, social y económico, sin establecer una jerarquía u orden de prioridad en los objetos sujetos al perjuicio.

De esta forma, el mapa de vulnerabilidad elaborado para la ciudad de Ceuta (ver punto 2) incluye sólo zonas potencialmente vulnerables y zonas que no lo son, a efectos de riesgos geológicos. Esto no es menoscabo para que, usando el mapa de vulnerabilidad, se pueda establecer un nuevo mapa de diferentes zonas de riesgos en función del objetivo que se haya fijado (daños en infraestructura, población, costa, etc.). Se han definido así tantas zonas de riesgo como de peligrosidad, más una nueva zona donde no existen riesgos (o de riesgo inexistente) al no existir vulnerabilidad. Es decir, riesgo muy alto, alto, medio-alto, medio, medio-bajo, bajo y muy bajo. Cada una de estas zonas coincide, respectivamente,

con zonas del mismo tipo de peligrosidad y, a su vez, con algún tipo de vivienda o infraestructura que las hacen vulnerables.

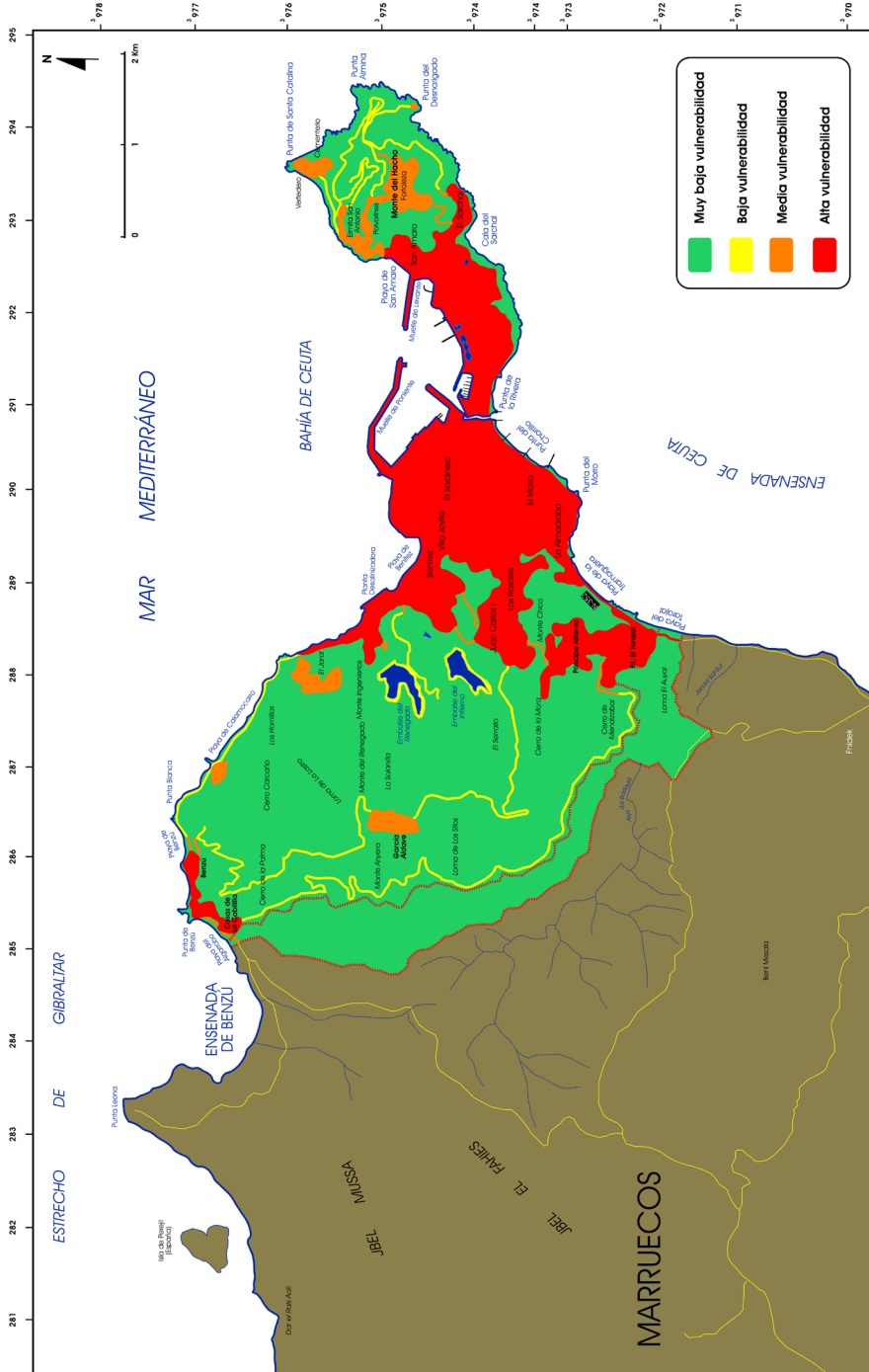
2. MAPA DE VULNERABILIDAD

El objetivo final de este trabajo es la elaboración de un mapa cualitativo del riesgo, donde se muestren las áreas en las que hay una cierta probabilidad de que pueda ocurrir un proceso geológico que origine daños en las superficies pobladas o en las construcciones. Para este fin, ha sido necesario establecer las diferentes zonas de vulnerabilidad de la ciudad. Los elementos en riesgo considerados dentro del área de estudio han sido los núcleos de población, las principales vías de comunicación y el resto de infraestructuras civiles y militares. A partir de todos ellos se han diferenciado cuatro tipos diferentes de vulnerabilidad.

Se han considerado como zonas de alta vulnerabilidad todas aquellas con una elevada densidad de población. En este sentido, resulta evidente que son la zona del istmo y del inicio del Campo Exterior, donde se concentran las principales actividades económicas y sociales de la ciudad, por lo que constituyen el área de mayor vulnerabilidad. Se han incluido también, dentro de este tipo de vulnerabilidad, los terrenos portuarios y los ganados al mar en el Norte de la ciudad, así como el Polígono Industrial y la frontera del Tarajal, en el Suroeste del territorio ceutí. Esto se debe a la importante ocupación de personas y a la relevancia mercantil y turística que suponen para la ciudad, la mayor parte del año. Son zonas de alta vulnerabilidad, además, las núcleos urbanos periféricos localizados al Oeste de la ciudad, en las estribaciones de la Sierra de Bullones, como las barriadas de El Príncipe Alfonso, Juan Carlos I, Los Rosales, Benítez y la zona de Benzú y la Cabililla. Igualmente se han considerado las barriadas del Sarchal y de San Amaro, situadas en la ladera oeste del Monte Hacho.

Las zonas de vulnerabilidad media se han descrito en superficies caracterizadas por construcciones civiles y militares sin un importante grado de ocupación y relativamente alejadas de los núcleos de población. También se han considerado zonas con este tipo de vulnerabilidad, las vías de comunicación cercanas a las de alta vulnerabilidad o que comunican dos núcleos urbanos cercanos entre sí. De esta forma, las áreas de vulnerabilidad media en la Península de Almina serían la Fortaleza del Hacho, el Castillo del Desnarigado, la Ermita de San Antonio, el vertedero y el cementerio municipal. En las estribaciones de la Sierra de Bullones se pueden señalar los acuartelamientos de García Aldave y el Jaral o el Centro de Protección de Menores de Calamocarro. Otras zonas a las que se les puede asignar una vulnerabilidad media son las áreas de baja densidad de población,

Cartografía y análisis de riesgos geológicos en la Ciudad Autónoma de Ceuta



Mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Ceuta.

como la urbanización del Pueblo de San Antonio en el Monte Hacho, o las zonas de reunión de viviendas unifamiliares cercanas al antiguo camping y la playa de Calamocarro.

Finalmente, se han determinado como zonas de baja vulnerabilidad tanto las principales vías de comunicación como sus áreas adyacentes. Mientras que las zonas de vulnerabilidad muy baja o nula son aquellas donde no existe una infraestructura que puede ser dañada por un proceso geológico o, en su caso, donde estas construcciones no posean una gran importancia.

3. MAPAS DE PELIGROSIDAD

En este trabajo se han diferenciado tres tipos de peligrosidad relacionados con procesos de avenidas e inundaciones fluviales, con deslizamientos y caída de rocas y, con tormentas, tsunamis y elevación del nivel del mar. Un aspecto importante a destacar de estos mapas, y del siguiente de riesgos, es el grado de incertidumbre que podemos suponer afectan a los valores cartografiados. Tenemos que asumir que, ya sea por los posibles errores en los mapas utilizados como fuentes de información, o por las posibles insuficiencias de la metodología empleada para su elaboración, este mapa contiene un cierto nivel de incertidumbre que es difícil de establecer.

3.1. Inundaciones y avenidas fluviales

3.1.1. Introducción. El objetivo prioritario de este mapa es localizar aquellas zonas que tienen una cierta probabilidad de sufrir avenidas e inundaciones fluviales. Estos procesos generalmente están ligados directamente a uno o varios de los siguientes procesos genéticos: desbordamientos naturales del agua de los cauces durante momentos de precipitaciones muy intensas, debido a que el caudal de agua fluyente supera a la capacidad natural del cauce; encharcamientos en zonas llanas, mal drenadas y de sustrato impermeable; obras públicas, como carreteras, canales de riego y edificaciones, que reducen el caudal máximo que es capaz de evacuar un cauce sin desbordar, o bien que reducen la capacidad drenante de las llanuras de inundación en momentos críticos; zonas de desembocadura de ríos, arroyos y barrancos, cuyo drenaje se dificulta por algún tipo de obstáculo natural (por ejemplo, un deslizamiento) o de origen antrópico. Este tipo de fenómenos sucede cuando el agua de lluvia, al alcanzar un curso de agua, causa el aumento del caudal por un determinado período de tiempo. El incremento de descarga de agua tiene el nombre de creciente o avenida súbita.

Muchas veces, en el período de creciente, los caudales alcanzan tal magnitud que pueden superar la capacidad de descarga del curso de agua y desbordarse hacia

áreas marginales, ocasionando una inundación. Las condiciones naturales climáticas, geológicas y geomorfológicas de un determinado lugar son determinantes en la ocurrencia de procesos de avenidas e inundaciones. Como ya se ha mencionado, la frecuencia y magnitud de estos fenómenos tienen muchas veces una profunda relación con la forma e intensidad de las intervenciones antrópicas realizadas en el medio físico. Se puede decir, por tanto, que además de los condicionantes naturales, las acciones modificadoras causadas por el hombre son determinantes en la ocurrencia de accidentes durante crecientes, principalmente en áreas urbanas.

Existen varios tipos de procesos de avenidas e inundaciones con diferentes características dinámicas que dependen, muchas veces, de las particularidades del relieve y de la configuración geológica y geomorfológica de la cuenca. En Ceuta, el tipo de fenómenos mejor representado y más frecuente es el que se puede denominar como crecientes con alta energía de escorrentía, relacionado con las precipitaciones torrenciales de invierno. A lo largo de cursos de agua, en valles encajados y con escaso desarrollo de llanuras de inundación, crecientes violentas, con alta velocidad de escurrimiento pueden producir fuerzas hidrodinámicas capaces de causar accidentes, destruyendo viviendas situadas en el lecho menor, junto a los barrancos de los ríos. Estos daños se producen por acción directa de las aguas, por erosión y consecuente solapamiento de las márgenes de los ríos; o por inundaciones aguas abajo de los arroyos cuando estos drenan a zonas endorreicas o con deficiente desagüe hacia el mar. Crecientes con alta energía cinética y alto poder erosivo son procesos comunes, principalmente en áreas escarpadas y de dominio montañoso, como las de Ceuta, en cuencas hidrográficas que permiten una rápida concentración y altos valores de caudal.

En Ceuta, este tipo de procesos tienen lugar, en su mayoría, entre los meses de octubre a marzo, donde se concentran las precipitaciones y aparecen los denominados temporales de levante acompañados de lluvias torrenciales (ver más adelante).

Fecha	Precipitaciones	Zonas más afectadas
3 de Enero de 2008	(?)	Marina Española, Avd. España, Benzú
25 de Noviembre de 2007	33 l/m ²	Tarajal, Cría Caballar y Benítez, Almadraba
17 de Septiembre de 2007	207 l/m ²	Benítez, Tarajal, Benzú
13 de Septiembre de 2007	>100 l/m ²	Tarajal, Carretera Benzú-Calamocarro, Benítez
4 de Febrero de 2007	>50 l/m ²	Morro, Avenida España, Benzú, frontera Tarajal
1 de Marzo de 2005	160 l/m ²	Benítez, Príncipe, Tarajal, Benzú

* Fuente: El Faro de Ceuta

Esto no significa, necesariamente, que estos procesos no puedan producirse durante los primeros meses de otoño o en tormentas de verano, si bien, tal circunstancia es menos frecuente. Además, durante este periodo de tiempo, es cuando se produce la recarga de los acuíferos y la saturación en agua de los suelos de la ciudad, lo que dificulta su infiltración y favorece que el agua circule por escorrentía superficial (Chamorro y Nieto, 1989).

Los temporales de levante contribuyen, aproximadamente, con un 65% al total de la precipitación. Las lluvias intensas aparecen en la costa mediterránea española en otoño-invierno bajo condiciones de advección del Este, donde la recarga de humedad se produce cuando aire continental frío de origen marítimo polar o continental polar, pasa sobre un mar Mediterráneo más caliente (Millán et al., 1995). Este proceso, conocido como frente frío de retroceso “*back-door cold front*” (Huschke, 1959; Bluestein, 1993), puede reforzarse con la llegada de un gota de aire frío en altura y/o con la formación de un sistema de bajas presiones sobre el norte de África.

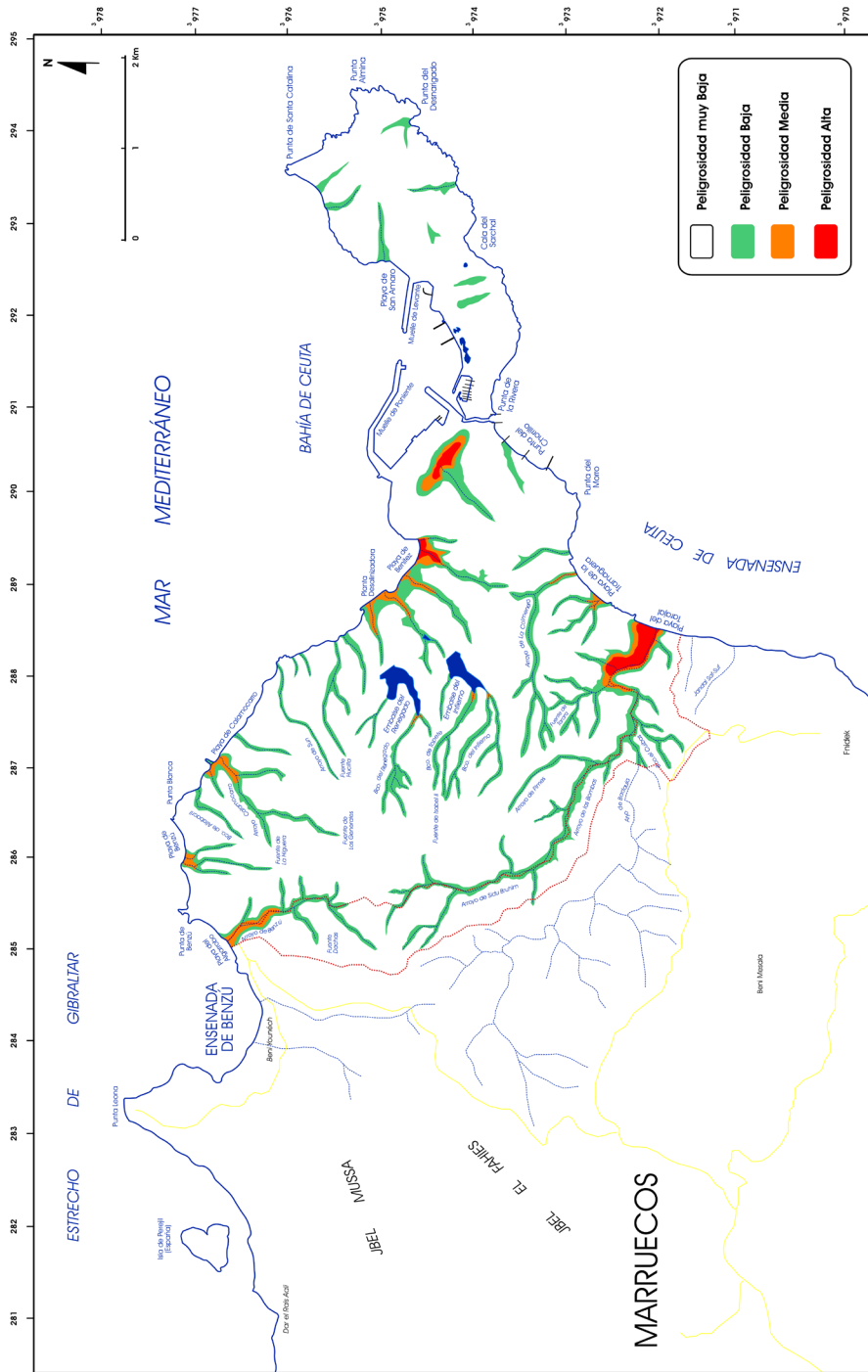
La principal característica de estos temporales, no es el volumen total de precipitaciones, sino que pueden llegar a registrarse intensas precipitaciones en muy pocas horas. Algunos ejemplos representativos de los últimos años se muestran en la siguiente tabla:

Estos fenómenos, rápidos y catastróficos, suelen originar cuantiosos daños directos e indirectos, ya que vienen acompañados por deslizamientos y oleaje de gran altura. Como ejemplo, podemos citar la evaluación de los daños ocasionados por las tormentas de septiembre de 2007, valorados en más de 2 millones de euros por el ayuntamiento de la Ciudad.

3.1.2. Mapa de Peligrosidad. Como se puede apreciar en el mapa de inundaciones y avenidas, las zonas que, de forma frecuente, presentan algún grado de susceptibilidad son los grandes arroyos y barrancos, destacando en la costa norte el Arroyo de Benzú y de Calamocarro. En la costa sur, los arroyos con mayor susceptibilidad a este tipo de fenómenos son el Arroyo de las Bombas y de las Colmenas, así como los Barrancos del Moral y de Arcos Quebrados. Además, algunos pequeños arroyos, como los de Benítez y del Sardinero, pueden generar inundaciones como consecuencia de la baja permeabilidad del terreno por el que circulan y su deficiente capacidad de desagüe hacia el mar.

En total, se han diferenciado tres tipos de peligrosidad relacionados con los procesos de avenidas e inundaciones: peligrosidad alta, media y baja.

a) *Peligrosidad Alta.* Las tres únicas zonas de alta peligrosidad cartografiadas, se localizan en las zonas de desembocadura de los arroyos de las Bombas,



5. Mapa de peligrosidad por avenidas e inundaciones de la ciudad de Ceuta.

del Sardinero y de Benítez. La cuenca hidrográfica del Arroyo de las Bombas constituye la de mayor extensión de la ciudad. Además, a pesar de su extensión y a que circula por materiales muy fracturados de diferente dureza (filitas, esquistos, calizas y conglomerados), este arroyo presenta drenajes de frecuencia alta y una densidad media, debido al importante número de barrancos afluentes que posee. Por otro lado, el nacimiento de este río se produce a cotas elevadas dentro de la Sierra de Bullones y desciende muy rápido hacia el SE, recogiendo progresivamente las aguas de sus afluentes. La densidad de drenaje de la cuenca experimenta un progresivo incremento aguas abajo, lo que puede producir un brusco aumento de su caudal, en épocas de precipitaciones, cerca de su zona de desembocadura en el Tarajal. Es en esta zona donde se concentra la mayor peligrosidad de avenidas e inundaciones, ya que en ella se produce un cambio brusco de pendiente y un suavizado de la topografía, favoreciendo la desaceleración y expansión de las corrientes hídricas. Si a esta circunstancia le sumamos que la zona se encuentra ligeramente deprimida, una bajísima capacidad de infiltración de las aguas en este sector (completamente ocupado por almacenes, edificaciones y naves industriales) y un deficiente sistema de desagüe de los cauces fluviales, el resultado es un área con alta probabilidad de experimentar inundaciones en zonas situadas por debajo de los 5 metros de altura, sin necesidad de que existan precipitaciones muy intensas. Existe también un evidente peligro de llegadas de avenidas en las zonas más próximas al cauce en momentos de grandes lluvias, desde unos 600 metros aguas arriba de la desembocadura, tras el meandro que hace el arroyo al pie del Cerro de Mendizábal.

Otra zona de peligrosidad alta, se ha delimitado en el área más próxima al mar del arroyo que circula por el Barrio del Sardinero y que nace cerca de la Calle de Bolivia. Se trata de un pequeño cauce de dirección NE – SO, poco encajado y de baja pendiente, de unos 100 metros de ancho por 800 metros de largo, sin barrancos importantes que lo alimenten y que no nace de una zona elevada que favorezca la aceleración de las corrientes aguas abajo. Su principal característica es que circula por zonas completamente urbanizadas, que han ocupado tanto parte de su canal natural como su pequeña llanura de inundación. Por otro lado, este arroyo transcurre en su totalidad por los esquistos arenosos carboníferos de la Unidad de Hadu-Fnideq, de muy baja permeabilidad, y su zona de desembocadura natural está ocupada por los terrenos ganados al mar del Muelle del Cañonero Dato y del Muelle de España, dando lugar a una zona deprimida y endorreica. Todas estas circunstancias confluyen para generar una superficie con muy altas probabilidades de experimentar inundaciones, especialmente hacia el barrio de Manzanera, a pesar de que las precipitaciones no sean muy intensas.

Finalmente, la última zona de peligrosidad alta descrita, se localiza en la desembocadura del Arroyo de Benítez, cerca de la playa con el mismo nombre. En esta zona confluyen circunstancias muy similares a las descritas en el caso anterior. El cauce transcurre paralelo al contacto entre los esquistos carboníferos y las areniscas y arcillas pérmicas siguiendo una fractura. Ambas litologías poseen una relativamente alta impermeabilidad. La cuenca de drenaje, que recoge las aguas estacionales desde los 75 metros, es de mayor extensión y posee una mayor frecuencia de drenaje que la descrita con anterioridad, por lo que recoge un mayor volumen de agua y tiene un mayor caudal en épocas de lluvias. Además, otros arroyos y barrancos confluyen con éste en la costa, desde la zona Este. Su peligrosidad por avenidas es, por tanto, algo mayor que la anterior existiendo, al mismo tiempo, un peligro claro de inundación en las áreas planas o deprimidas próximas al litoral.

b) *Peligrosidad Media*. Las zonas de peligrosidad moderada se han descrito en tres sectores diferentes, todos ellos localizados en la parte occidental de la ciudad. El primer sector se encuentra en el SO de la ciudad y lo constituyen las zonas adyacentes a la zona de alta peligrosidad del Arroyo de las Bombas y las



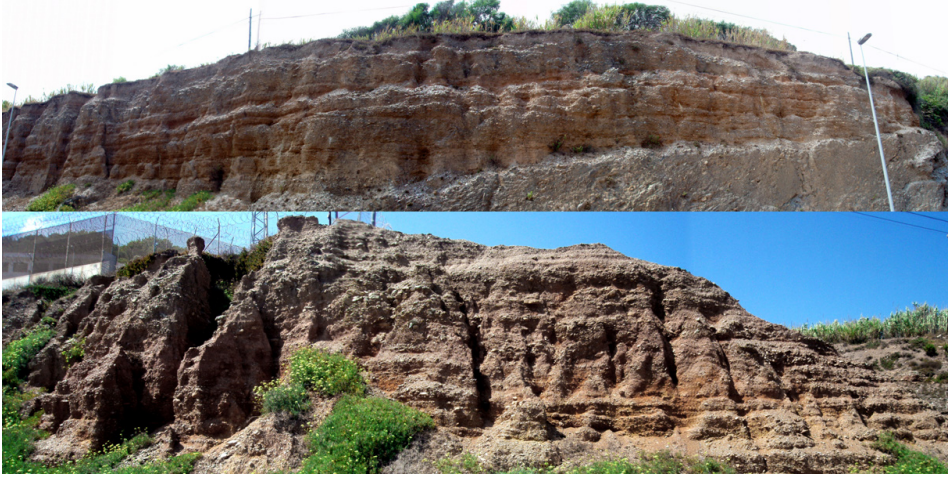
Inundaciones en Ceuta en invierno de 2007. Izquierda, Polígono del Tarajal. Derecha, Benítez y Cría Caballar. Fotografías: Quino.

zonas cercanas al mar del Arroyo de las Colmenas y de los Barrancos del Moral y Arcos Quebrados. En el Arroyo de las Bombas el área de peligrosidad media se localizaría a una cota superior a los 5 metros sobre el nivel del mar y afectaría a las zonas más altas dentro del Polígono del Tarajal sólo en momentos de grandes precipitaciones.

El Arroyo de Las Colmenas recoge agua a cotas próximas a los 100 metros en su curso alto y desde los 50 metros en su curso bajo. Aunque la superficie de la cuenca es importante, lo que le confiere una cierta capacidad de reunir volúmenes importantes de agua de lluvia, posee una red dendrítica muy pobre que se instala sobre los materiales del sinclinal de Hadu-Fnideq. La zona de peligrosidad media se ha restringido, por tanto, a las zonas próximas al cauce en su transepto más cercano al mar, donde coincide con el Barrio de la Almadraba. El Barranco del Moral nace a 80 metros de altura y recibe el aporte del de Arcos Quebrados prácticamente en su desembocadura. Siguen las pendientes marcadas a partir de las plataformas donde se asienta el barrio del Príncipe, con un drenaje pobre y dendrítico. Sin embargo, dada la elevada pendiente de la zona, la confluencia de sus cauces y la baja capacidad de infiltración de agua en el terreno sobre el que circula (en parte asfaltada), se le ha asignado una peligrosidad media por avenidas en su zona de desembocadura.

Otro de los sectores descritos como de peligrosidad media, lo constituye la zona de desembocadura del conjunto de arroyos y barrancos situados en la costa Norte y que afectan a las zonas de Villa Jovita, Benitez y Postigo. Son arroyos y barrancos de curso recto, de escaso desarrollo y cauce intermitente, que nacen de los relieves donde se asientan los barrios de Juan Carlos I y Los Rosales o las estribaciones de la sierra más al oeste. Son cuencas de baja superficie y densidad de drenaje, que fluyen sobre los materiales menos permeables del sinclinal de Hadu-Fnideq hacia el Norte. Hacia al Oeste, especialmente cerca de la Planta Desalinizadora, se produce un incremento en la pendiente, que alcanza valores medios del 20-30%, mientras que hacia el istmo los valores oscilan entre el 10-20%. Este conjunto de factores hace que la franja litoral de confluencia de dichos sistemas, constituya una zona de llegadas de avenidas en momentos de precipitaciones intensas, especialmente considerando el grado de urbanización del terreno por el que circulan estos arroyos hacia el mar. Próxima a esta zona, las áreas adyacentes a las de alta peligrosidad del Arroyo del Sardinero y que están situadas a cotas más elevadas, también han sido clasificados como de peligrosidad media.

Las últimas áreas de peligrosidad media descritas, están constituidas por las zonas distales de cauces localizados en la parte continental noreste de la ciudad. Son los arroyos y barrancos de Benzú y Calamocarro. Todos poseen cuencas de



Cuaternarios aluviales en las proximidades de Punta de la Cabeza y Playa de Calamocarro

superficies medias y ramificaciones de tipo dendrítico bien desarrolladas sobre los materiales blandos e impermeables, de naturaleza filítica, de la Unidad Beni-Mesala. La pendiente de estas zonas varía de fuerte a muy fuerte (20-50%). En toda el área y asociados a estos sistemas aluviales inmaduros, afloran depósitos de abanicos que registran la actividad de los arroyos y barrancos en épocas recientes. Por tanto, durante momentos de fuertes lluvias, el funcionamiento de estos cauces podría generar avenidas de alta energía y poder erosivo a su llegada al mar, donde se expanden a la altura de la carretera Benzú-Calamocarro.

c) *Peligrosidad Baja*. Estas zonas ocupan gran parte del territorio y coinciden con los cauces fluviales más importantes de la ciudad, independientemente del relieve, litología o características de su cuenca. En este caso, se consideran todos los cauces como potencialmente peligrosos por avenidas, aunque sólo en circunstancias de lluvias torrenciales muy intensas. Para plasmar esta circunstancia se ha definido una banda de extensión variable entorno a los cauces en función de la anchura del valle y su grado de encajamiento. Un buen ejemplo de este tipo de peligrosidad se puede encontrar en el Monte Hacho. En el Hacho, la red hidrográfica es de caudal intermitente, con cursos que se limitan a funcionar en las estaciones húmedas. Las cabeceras no superan la cota de 150 m y descienden rápidamente por barrancos, con una distribución radial, hacia el mar.

Otras zonas de peligrosidad baja, son aquellas cercanas a las de peligrosidad alta y media que pueden ser afectadas por el mismo proceso que delimita a las



Izquierda, Arroyo de la Colmena y Barrancos de Moral y Arcos Quebrados. Derecha, barrancos en la falda oeste del Monte Hacho.

últimas, aunque de forma atenuada, ya sea por encontrarse a una cota topográfica algo mayor o por estar más alejadas del cauce principal de la cuenca.

d) *Peligrosidad Muy Baja*. Constituyen el resto de superficies del territorio de la ciudad no afectadas por este tipo de procesos y que tienen lugar sólo cerca de los valles fluviales y barrancos.

3.2. Deslizamientos y caída de rocas

3.2.1. Introducción. Dentro de los procesos geológicos ligados a los riesgos geodinámicos externos se encuadran los movimientos del terreno en general. Los procesos de ladera son los más extendidos dentro de los mismos, en parte debido a que no se asocian a un determinado tipo de litología. Por el contrario, pueden ocurrir en infinidad de condiciones debido al gran número de factores que influyen, condicionan y desencadenan estos movimientos. Su predicción y modelización resulta, por tanto, muy complicada. Los deslizamientos y procesos relacionados, forman parte de la lista de movimientos gravitacionales de masa, directamente referidos a la dinámica de las laderas, distinguiéndose de las subsidencias y colapsos, pertenecientes también a este gran grupo. Cruden (1990) propone una definición simple para deslizamientos: “deslizamiento es un movimiento de roca, tierra y detritos ladera abajo”.

Se han diferenciado dos grandes grupos de factores que definen y caracterizan los movimientos de laderas: los intrínsecos y los externos. Los factores intrínsecos son la litología, la estructura, las propiedades físicas de los materiales, el compor-

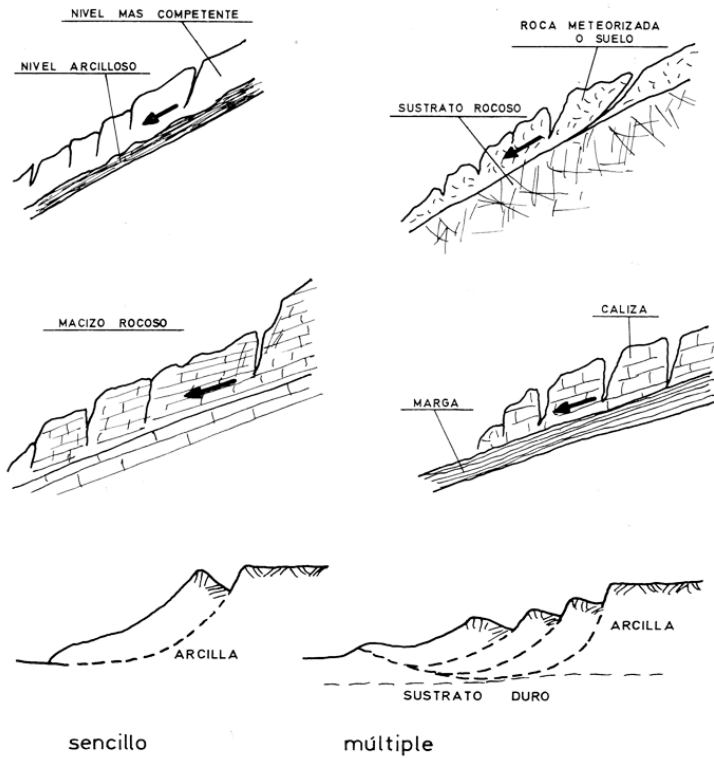
tamiento hidrogeológico, las propiedades geomecánicas, el estado de esfuerzos, etc. Los factores externos son aquellos que actúan sobre el material dando lugar a modificaciones de estabilidad inicial de las laderas y taludes, como aplicación de cargas estáticas, movimientos sísmicos, factores climáticos, cambios en las condiciones hidrogeológicas, variaciones en la geometría del talud, etc. Estos procesos se vinculan, por tanto, a otro tipo de procesos naturales peligrosos y, a su vez, están ligados a eventos como la erosión. A menudo, la actividad humana promueve la ocurrencia de estos fenómenos e incrementa su peligrosidad como, por ejemplo, la eliminación de la cubierta vegetal en las laderas de las montañas o el desmonte de un talud para la construcción de un edificio o carretera.

Es el segundo grupo de factores el que provoca o desencadena la inestabilidad de laderas y son responsables de la magnitud del proceso; mientras que el primer grupo de factores configura los diferentes tipos, mecanismos y modelos de movimientos gravitacionales. El factor más importante es, obviamente, la propia morfología del terreno, aunque ésta no debe ser abrupta o muy accidentada, necesariamente. Otro factor fundamental es el agua y el comportamiento hidrogeológico de los materiales. El agua es el principal desencadenante de un gran número de movimientos de ladera. Su papel desestabilizador, como consecuencia de la disminución de la resistencia a la fricción y la creación de presiones intersticiales a que da lugar su presencia, está presente en todo tipo de taludes. La correlación entre movimientos de ladera y periodos de lluvia es un hecho bien conocido en la ciudad de Ceuta, por ejemplo, en la carretera de Calamocarro a Benzú.

Se han establecido cuatro grupos de movimientos de ladera (IGME, 1988): deslizamientos, desprendimientos o caída de rocas, avalanchas y flujos. Algunas veces un tipo de movimiento va asociado a un material de características definidas y causas definidas, mientras que otras veces su definición está basada en la morfología y tipología de la rotura. En Ceuta los dos procesos de laderas dominantes son los deslizamientos y la caída de rocas. A continuación describiremos brevemente cada uno de ellos.

a) *Deslizamientos*. Son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia al corte en dichos planos. Es característico de este tipo de inestabilidad la presencia de planos de rotura, más o menos netos, y el movimiento del material en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. Este tipo de movimientos puede ocurrir en una gran variedad de materiales y están controlados por diferentes tipologías, como la litología o la estructura.

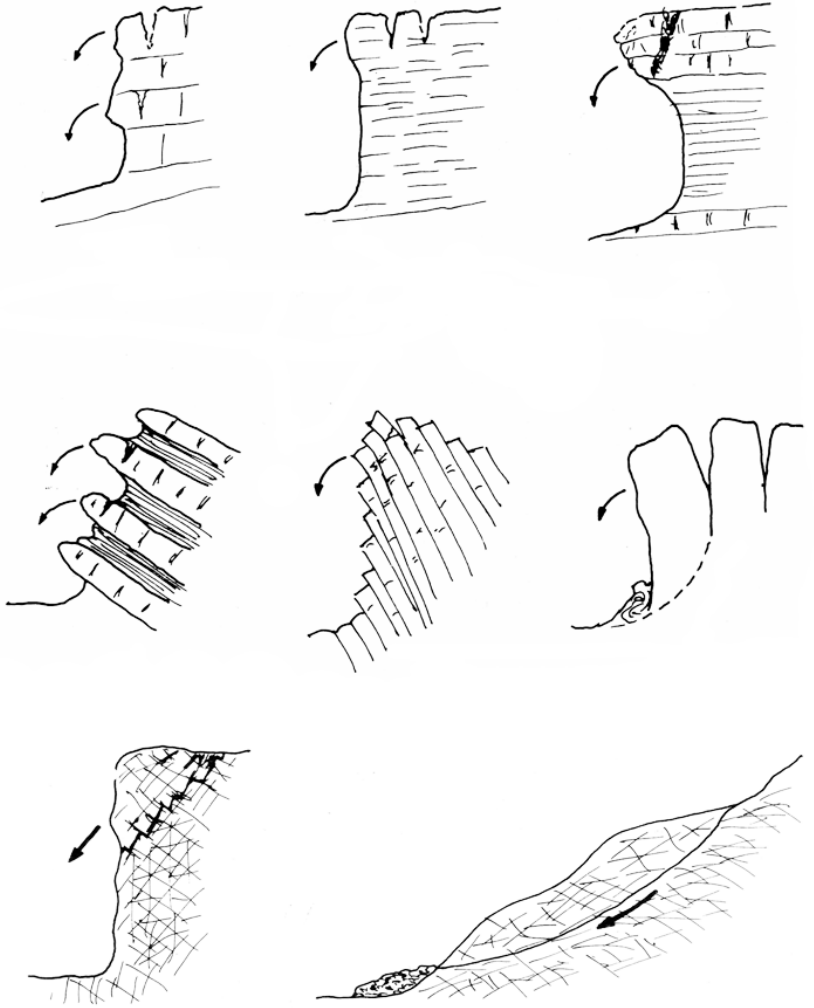
Dentro de los deslizamientos se pueden diferenciar dos tipos básicos, ambos identificados en el territorio de Ceuta: los translacionales y los rotacionales.



Diferentes tipos de deslizamientos en suelos y macizos rocosos. Arriba, deslizamientos translacionales. Abajo, deslizamientos rotacionales..

Los primeros ocurren a favor de planos de debilidad con dirección más o menos paralela a la superficie del talud e inclinación menor o igual a la pendiente del talud. Generalmente, una superficie de discontinuidad estructural o de materiales de diferente competencia sirve de plano de rotura. Los deslizamientos rotacionales son aquellos en los que la rotura ocurre a través de superficies curvas. Se trata de un movimiento que suele estar asociado a suelos cohesivos uniformes o a macizos rocosos muy fracturados y sin estructura.

b) *Desprendimientos*. Se definen como la caída de bloques de un determinado material de un talud, individualizados por planos de rotura, con caída libre al menos en parte de su recorrido. Por lo general, este mecanismo ocurre en taludes escarpados. Los planos de rotura pueden ser superficies de estratificación o de esquistosidad, siendo su inclinación superior a su ángulo de fricción y con salida libre hacia la cara del talud. La superficie de rotura también puede tratarse de una



Arriba, diferentes tipos de desprendimientos en suelos y rocas. Abajo, desprendimientos de bloques en macizos rocosos.

falla, una diaclasa o una grieta tensional. La pérdida de resistencia y la apertura de las superficies de discontinuidad están motivadas, en la mayoría de los casos, por la presencia de agua. En otros casos, la caída de bloques puede ocurrir en materiales con estratificación favorable a la estabilidad en caso de erosión de los niveles infrayacentes a las capas más competentes. También se incluyen como

desprendimientos las grandes caídas en conjunto de bloques rocosos que se producen en taludes escarpados.

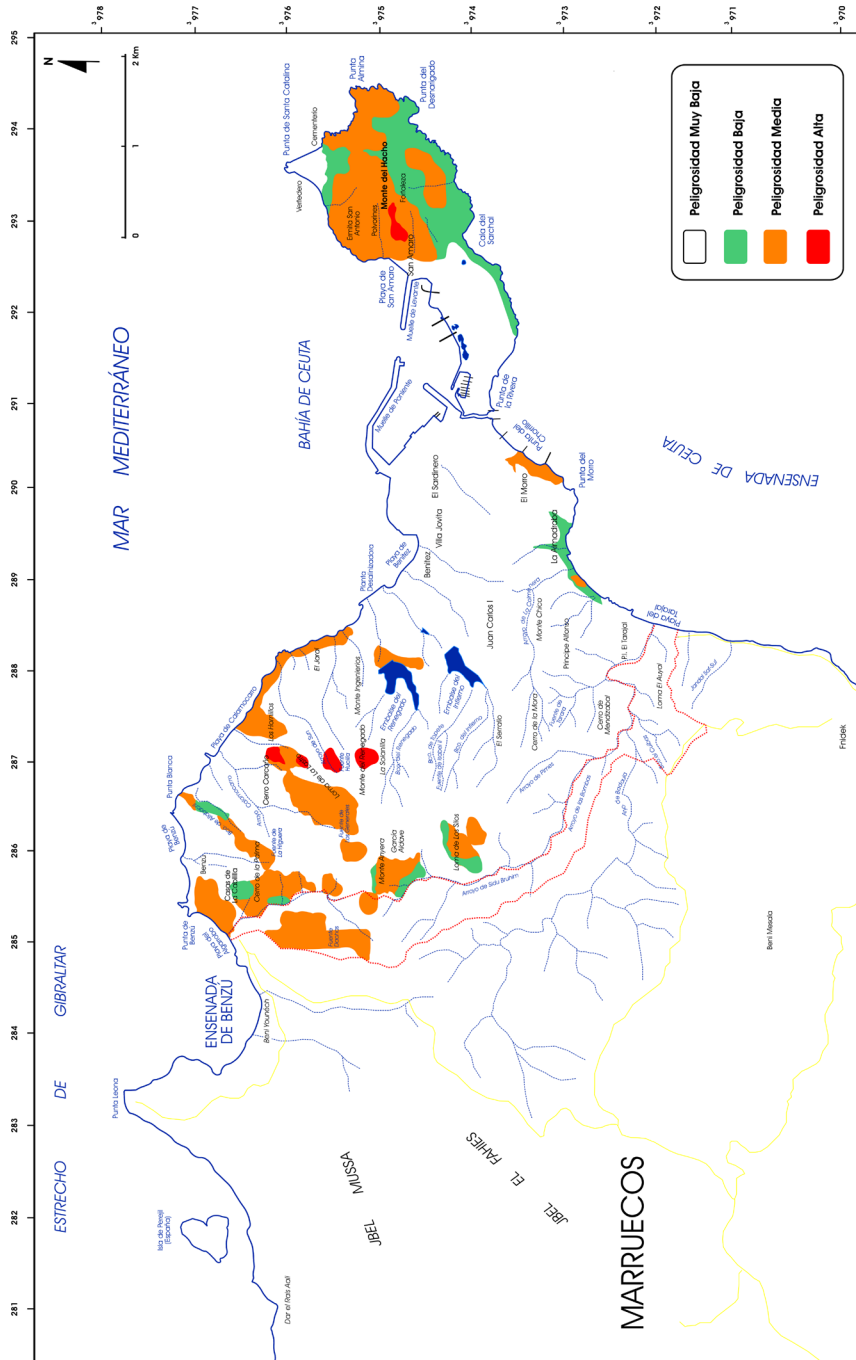
Los desprendimientos pueden estar asociados a la concentración de tensiones en la cabecera del talud o a la erosión y pérdida de competencia de la base del mismo. Ambas causas suelen estar directamente relacionadas con las condiciones climáticas: relleno de grietas tras la lluvia, congelación, erosión fluvial o costera al pie de taludes, apertura de grietas por desecación, etc., causan este tipo de movimientos. La gran variedad de materiales que pueden sufrir estos desprendimientos, el clima estacional, su compleja organización geológica y la accidentada topografía del territorio de Ceuta hace que este tipo de fenómenos esté muy presente.

3.2.2. Mapa de Peligrosidad. Se han diferenciado cuatro tipos de peligrosidad relacionada con estos fenómenos.

a) Zonas de *Peligrosidad Alta*. Tan sólo se han determinado dos zonas con este tipo de peligrosidad.

La primera se localiza en la ladera occidental del Monte Hacho, próximo a San Amaro. En este punto afloran los gneiss ocelados del Hacho, que se presentan intensamente fracturados y con una dirección y sentido de foliación adecuados para que se produzca un deslizamiento de materiales hacia el oeste. Esta unidad presenta una organización masiva (esquistosidad mal desarrollada) y una fuerte homogeneidad litológica. La orientación de varios sistemas de fallas y diaclasas (N 85°E/60°N y N 20°E/80°O), mucho más penetrativas que la foliación, hace que sean superficies potencialmente apropiadas para los movimientos de laderas. A estas circunstancias se unen que dicha ladera del monte se encuentra intensamente alterada y que sobre ella se ha formado un manto edáfico de potencia variable con una capacidad de movilización muy alta.

La segunda zona la conforman un grupo de manchas, de unos centenares de metros cuadrados, alineadas según la dirección N – S, entre el Monte del Renegado y el Cerro Carcaño, al oeste de la ciudad. Estas áreas corresponden a afloramientos de calizas alabeadas y esquistos devónicos de la Unidad de Hadu-Fnideq, y de esquistos y grauvacas grises de la Unidad de Isabel II. En todas ellas, la estratificación de los materiales buza siguiendo direcciones subparalelas, en el mismo sentido y con menor inclinación que las laderas naturales de la zona, de pendientes fuertes y muy fuertes (>30%). Ambas formaciones presentan alternancias de litologías de diferente competencia. El conjunto de estas circunstancias hace que estas zonas aisladas sean muy peligrosas en lo que se refiere a deslizamientos y, sobre todo, caída de rocas, fundamentalmente durante los periodos de lluvias intensas.



6. Mapa de peligrosidad por deslizamientos y caída de rocas de la ciudad de Ceuta.



Arriba izquierda, inestabilidad en la ladera norte del Monte Hacho vista desde San Amaro. Arriba derecha, desprendimientos en los taludes de la carretera a Benzú. Abajo izquierda, pequeños desprendimientos en los gneiss del Hacho cerca del Faro. Abajo centro y derecha, medidas de control (mallas de contención) de movimientos de ladera en los gneiss del Hacho (carretera del Pino Gordo) y en calizas alabeadas de Hadu-Fnideq (carretera a Calamocarro).

b) *Zonas de Peligrosidad Media*. En total se han diferenciado cuatro sectores de peligrosidad media en Ceuta, que ocupan un porcentaje significativo del territorio.

El primer sector ocupa una importante extensión del Monte Hacho. En estas zonas existe peligrosidad por deslizamientos y caída de rocas, especialmente en su ladera Norte, como consecuencia de la intensa fracturación y la elevada pendiente que presenta la Península de Almina (localmente $>50\%$). La ladera Norte, donde se concentran las precipitaciones, se encuentra muy afectada por procesos

de meteorización que dan lugar a horizontes de alteración que, a su vez, suponen niveles de baja competencia a favor de los que se pueden originar movimientos de laderas. Esta circunstancia es observable a lo largo de la carretera del Pino Gordo, durante el ascenso hacia el Faro de Ceuta, donde se han llevado a cabo diferentes medidas geotécnicas (mallas de contención) para controlar este proceso.

El segundo sector con peligrosidad media se localiza en la costa Sur de Ceuta, concretamente en las proximidades de los acantilados de la playa del Chorrilo, al pie del Morro, y en un pequeño afloramiento cerca de la Almadraba. En ambas zonas las pendientes varían de fuertes a muy fuertes (20-50%). Los materiales que afloran aquí corresponden a las filitas carbonosas de las Puertas del Campo, que se presentan intensamente fracturadas y plegadas. La naturaleza problemática de estos materiales, con tendencia a provocar deslizamientos y derrumbes, ya fue descrita a principios de siglo en la construcción de las vías del ferrocarril Ceuta-Tetuán, donde originaron numerosos contratiempos (Chamorro y Nieto, 1989). Recientemente, en abril de 2006, en épocas de lluvias se han producido deslizamientos asociados a estos materiales cerca del Hospital militar, en la barriada de Juan XXIII.

El tercer sector lo constituyen las zonas de afloramiento de calizas alabeadas que afloran en la carretera N-354, en su tramo entre la planta desalinizadora y la playa de Calamocarro, y en la rivera oriental del Embalse del Renegado. Ambas zonas presentan una pendiente media fuerte (20-30%) y, aunque algunas características locales no son las más adecuadas para favorecer fenómenos de deslizamientos, las características geológicas de esta formación y la orografía podrían posibilitar la existencia de desprendimientos. Este caso es especialmente posible en la banda de calizas y esquistos que aflora en la carretera de la costa, donde el diseño vertical de los taludes, la elevada frecuencia de barrancos que atraviesan esta formación hacia el mar, o incluso la acción del oleaje durante las tempestades, pueden desencadenar este tipo de procesos de inestabilidad.

La última y cuarta zona con este tipo de peligrosidad se localiza en el extremo occidental de Ceuta. El relieve presenta pendientes fuertes a muy fuertes (20-50%), localmente escarpadas (>50%), donde afloran mayoritariamente los materiales de la Unidad de Beni-Mesala (filitas, cuarcitas, calizas y dolomías). Esta zona también incluye materiales de las unidades de Beliunex (areniscas y lutitas) y del Fuerte de Isabel II (esquistos). Al igual que el sector descrito con anterioridad, estos materiales reúnen sólo algunas de las condiciones establecidas para que se produzcan inestabilidades de laderas. Se trata, en general, de materiales macizos, mal estratificados, aunque fallados y algo plegados, si bien las características del terreno y las propiedades geológicas de estas rocas hacen posible que estos fenómenos tengan lugar.

c) *Zonas de Peligrosidad Baja*. Se han descrito en cuatro sectores distribuidos a lo largo del territorio de Ceuta. El más importante en superficie lo conforman las laderas Norte y Sur del Monte Hacho, en sus zonas cercanas a la costa. En estas zonas, los gneiss están muy fracturados, alterados y expuestos a elevadas pendientes, lo que podría originar deslizamientos en la ladera Norte, más meteorizada y menos abrupta, y caída de rocas en la ladera Sur, algo más abrupta.

Otro sector de baja peligrosidad se localiza en la costa Sur del Istmo, en una estrecha franja del litoral muy escarpada (pendientes del 20-30%) que va desde la Cala del Sarchal hasta, aproximadamente, la Punta de Mala Pasada. Los materiales que afloran en esta zona son las peridotitas y serpentinitas junto con los gneiss bandeados del Istmo, en general bastante fracturado, lo que favorece la formación de grandes bloques que se desprenden de lo alto del talud y caen a la playa. En esta misma zona se han observado depósitos cuaternarios de ladera (coluviones y aluviones) que registran la inestabilidad de estas vertientes en tiempos geológicos recientes. Otras evidencias de la inestabilidad del sustrato de esta franja costera es el desplome de una de las paredes de la antigua cárcel de mujeres, aunque es probable que estas circunstancias se deban a la acción conjunta de procesos de erosión costera por el oleaje de tempestades y a movimientos de ladera.



Arriba izquierda, deslizamiento en la antigua cárcel de mujeres, en el Sarchal. Arriba derecha, caída de bloques y rocas en playa Sarchal. Abajo izquierda, coluviones y otros depósitos de ladera en la playa del Sarchal. Abajo derecha, acantilados próximos a la Punta de la Palmera, en el Monte Hacho.

En la zona de la Almadraba, los afloramientos cercanos a la costa de las problemáticas filitas carbonosas de las Puertas del Campo, pueden generar deslizamientos, a pesar de que el terreno posea pendientes moderadas (20-30%). Es en esta zona, cerca del contacto de las filitas con los esquistos y calizas de Hadu-Fnideq, se han producido problemas geotécnicos relacionados con corrimientos de tierra en las obras de construcción del nuevo hospital. Estos problemas han sido valorados en más de 7,5 millones de euros.

Finalmente, se han delimitado varias zonas de peligrosidad baja por deslizamientos y caída de rocas en la zona occidental de la Sierra de Bullones. En general, se trata de zonas con pendientes, fuertes o muy fuertes, que reúnen algunas características litológicas o fisiográficas que favorecen la existencia de movimientos de laderas. Destacan los posibles deslizamientos que pueden sufrir las filitas de Beni-Mesala en el sector noroeste.

d) *Zonas de Peligrosidad Muy Baja*. Comprenden el resto del territorio de Ceuta y se corresponden con zonas de pendientes suaves a moderadas (<20%), que por sus características geológicas no poseen una peligrosidad evidente por procesos de inestabilidad de laderas. Esto no significa que no se puedan producir deslizamientos o caída de rocas en dichos materiales, sino que la probabilidad de que esto suceda es muy baja y que la magnitud de estos procesos gravitacionales debería ser pequeña.

3.3. Tormentas, Tsunamis y Ascenso del Nivel Mar

3.3.1. Introducción. Estos procesos conllevan una elevación del nivel de mar directamente sobre la línea de costa alcanzando, en ocasiones, infraestructuras o núcleos urbanos. Las fluctuaciones en los niveles del agua y las tormentas producen procesos de erosión acelerada, que ocasionan elevados costes económicos. En Ceuta existe un gran número de carreteras, construcciones y viviendas que se ubican en las proximidades de litoral, a pocos metros sobre el nivel del mar. Esta circunstancia se une a la configuración de su costa, situación geográfica, localización geológica -en la proximidad de la falla Azores-Gibraltar- y a la amplia longitud de su litoral, de unos 30 km. Los fenómenos de este tipo cobran especial incidencia en las costas de tipo micromareal, como la de Ceuta, debido a que las variaciones que se producen son mayores que las generadas por los procesos costeros habituales, como las mareas de tipo astronómico o el oleaje de mal tiempo. Esto último, unido a la característica de baja frecuencia de dichos procesos, da una falsa sensación de seguridad a las poblaciones que viven en las inmediaciones de la franja litoral, lo que a su vez favorece el desarrollo urbanístico de tales zonas. Por tanto, aunque este tipo de riesgo no suele estar presente en la mentalidad po-

pular y política, su amenaza es real y puede producir daños muy importantes en poblaciones costeras.

a) Las tempestades o mareas meteorológicas producen una sobre elevación repentina del nivel del mar que puede durar varias horas o incluso días. Las circunstancias meteorológicas en las que se producen en el Norte de África y en el Levante español, ya han sido descritas en el punto 3.1. Las mareas meteorológicas se generan por una oscilación del nivel del mar como consecuencia de la acción conjunta de la presión atmosférica y el arrastre del viento hacia la costa. Las bajas presiones asociadas a borrascas y tempestades generan un ascenso del nivel del mar, de hasta 30 y 40 cm, asociado a la depresión barométrica. El viento, por su capacidad de arrastrar el agua superficial marina, es otro factor que puede dar lugar a una elevación del mar en la costa. Los efectos de las mareas meteorológicas, combinados con un oleaje de alta energía y la pleamar, pueden llegar a ser devastadores en función de la magnitud de las borrascas y de la configuración geométrica de la costa (morfología, pendiente y calado). Las condiciones son aún más extremas si las precipitaciones se mantienen durante más de un día, ya que el aumento de la escorrentía superficial coincide con la llegada del caudal fluvial correspondiente a las precipitaciones del día anterior en la cuenca de drenaje. Bajo estas condiciones se pueden producir avenidas e inundaciones en las zonas de desembocadura, ya sometidas al daño ocasionado por las tempestades.

La elevada pendiente de las costas de Ceuta, en su mayoría acantiladas o de gran inclinación, hace que sólo una pequeña superficie de su territorio sea susceptible de sufrir daños por tormentas meteorológicas. Sólo los terrenos portuarios y recreativos de la ciudad ganados al mar, así como las zonas de desembocadura de los arroyos más grandes o las pequeñas ensenadas, pueden llegar a experimentar este tipo acumulación de masas de agua sobre la costa y la entrada y desbordamiento, del mar y los ríos, en las zonas bajas del litoral.

b) Los tsunamis son maremotos, llegadas de grandes olas a zonas costeras, ocasionados por eventos geológicos, ya sea a consecuencia de terremotos, erupciones volcánicas, o derrumbes submarinos, por mencionar algunos posibles mecanismos para su generación. Un tsunami es muy difícil de pronosticar con suficiente antelación, ya que no necesariamente todo terremoto o erupción o derrumbe submarino dan lugar a una ola con la suficiente energía como para producir un gran impacto en las infraestructuras o incluso llegar a ocasionar pérdidas humanas. También juegan un papel fundamental la morfología de las costas, las dimensiones y topografía de los cuerpos de agua donde ocurre el evento generador, y las dimensiones de los mares por donde se propagan las olas.

A pesar del elevado número de terremotos que se producen en el área de Azores y Gibraltar, la probabilidad de que Ceuta sea afectada por un tsunami es baja ya que todo el Estrecho de Gibraltar y el Golfo de Cádiz son consideradas zonas tsunamigénicas de baja intensidad (Campo et al., 1992). Por otro lado, el registro regional de paleosismicidad de la costa suroeste de España y del noroeste de Maruecos sugiere la existencia de un gran terremoto cada 300-1.500 años (Ribeiro, 1994) o 1.000-2.000 años (Gutscher et al., 2005). Histórica y geológicamente se tiene constancia de decenas de tsunamis con efectos catastróficos en la costa atlántica suroccidental ibérica en los últimos 5000 años (Campos, 1992), entre el que destaca el tsunami de noviembre de 1755 asociado al terremoto de Lisboa, de consecuencias catastróficas en todo el litoral del suroeste de la Península Ibérica y noroeste de África. Existe un gran volumen de literatura científica dedicada a describir el impacto de tsunamis en el Golfo de Cádiz, así como diferentes modelos predictivos de la distribución de las olas de un tsunami en las aguas del Estrecho. Dada la configuración geográfica del Estrecho de Gibraltar, así como el posible punto de origen del maremoto, estos modelos especulan con que las olas llegarían muy atenuadas a las costas ceutíes (refractadas y detenidas en las costas de Cádiz y Tánger y frenadas por el choque de masas de agua en el Estrecho), lo que tan sólo ocasionaría una sobre elevación de las aguas muy similar a las experimentadas durante las mareas meteorológicas. Dicha elevación probablemente vendría acompañada por varias olas de altura algo superior a la media, que no tendrían un impacto tan catastrófico como el esperado en estos eventos en otras zonas atlánticas de España, Portugal y Marruecos. Estas previsiones pueden contrastarse mediante las crónicas que narran los efectos de tsunamis en las costas del norte de África y en el Sur de la Península Ibérica en 1755 y, más recientemente, las perturbaciones generadas por los terremotos oceánicos en el Golfo de Cádiz en 1969 y 1975. En el primer caso se estima que la ola principal, generada tras un sismo oceánico de magnitud 8,5-9 alcanzó entre 6 y 20 metros de altura en las costas de Huelva y Cádiz, perdiendo rápidamente altura y capacidad destructiva hacia el Campo de Gibraltar. Por desgracia, las crónicas de lo sucedido en Ceuta son mucho más pobres. Únicamente se dispone de una referencia de la «Gazzete de Cologne» en la que se mencionan olas de alturas de 2,5 m sobre su altura normal (de unos 3-3,5 m) que provocaron más pánico en la población que daños directos en la ciudad o pérdidas de vidas humanas.

Una posible debilitación de la onda de tsunami en el Estrecho se ha podido verificar en el caso de los dos sismos más pequeños y recientes que se produjeron en los años 1969 y 1975. Ambos fueron registrados mediante mareógrafos en Ceuta y Cádiz, lo que ha permitido establecer una comparativa entre la magnitud de las olas en las dos zonas. El tsunami no alcanzó más que a variar ligeramente

la onda de marea en unos pocos centímetros. En ambos maremotos la amplitud de las sucesivas ondas generadas fue entre 3 y 6 veces mayor en Cádiz que en Ceuta (Campos, 1992).

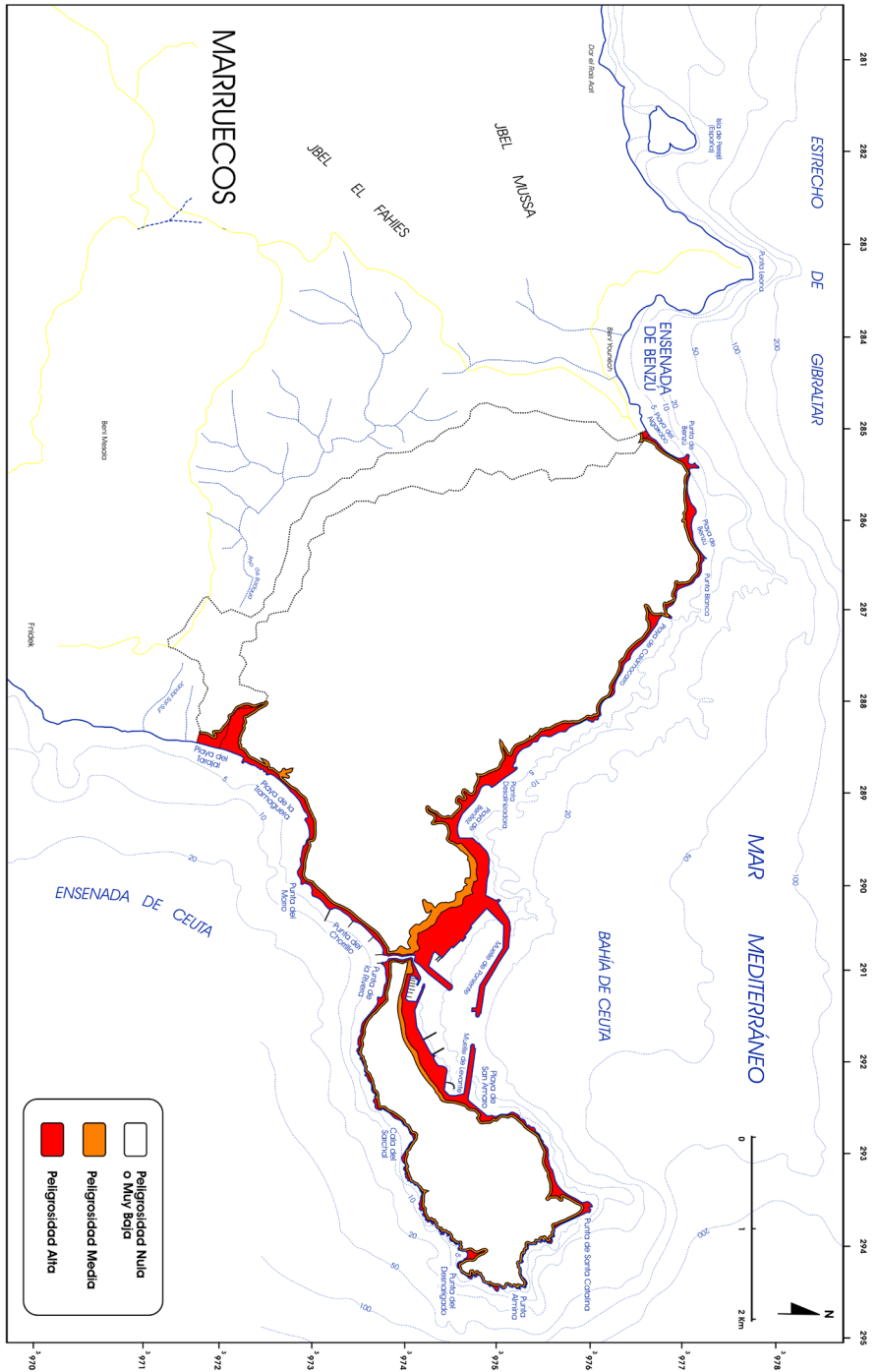
c) La elevación del nivel del mar es un importante indicador de cambios climáticos. Una subida en el nivel del mar puede dar como resultado inundaciones en el litoral, la salinización de aguas dulces y erosiones costeras. El ascenso del nivel del mar, como consecuencia del calentamiento global, es una realidad que podría ocasionar una elevación más rápida de lo que se había predicho en el curso de este mismo siglo. De aquí a 2.100, el aumento de la temperatura global del planeta podría dar lugar a un ascenso del nivel del mar entre 50 centímetros y 1,40 metros, en menos de 100 años (McCarthy et al., 2001). Los océanos cambian como respuesta a la variación climática sobre los glaciares que contribuyen, adicionalmente, a las fluctuaciones del nivel del mar. Las investigaciones por observación y modelización de los glaciares y pináculos de hielo, indican un incremento promedio del nivel del mar de 0,2 a 0,4 mm/año durante el siglo XX. Desde el último máximo glacial, 20.000 años atrás, el nivel del mar ha subido más de 120 m en lugares alejados de las capas de hielo, como resultado de la pérdida de masa de dichos hielos. Incluso si las emisiones de gas invernadero se estabilizan, los niveles del mar continuarán elevándose debido a factores tales como la expansión térmica y la retirada de glaciares.

La elevación del nivel del mar en el litoral supone el peligro a más largo plazo y de velocidad más baja que se ha contemplado en este trabajo. Su posible efecto sobre la población e infraestructura es muy pequeño y se limita a una estrecha banda del litoral, ya contemplada en el resto procesos descritos en este punto.

3.3.2. Mapa de Peligrosidad. Se han diferenciado sólo tres tipos de peligrosidad relacionadas con los procesos de tempestades, tsunamis y ascenso del nivel del mar.

a) *Zonas de Peligrosidad Alta.* Estas zonas se concentran en una banda de anchura variable, en función de la pendiente, que parte del nivel del mar actual y alcanza una cota cercana a los 6,5 m. Existen numerosas noticias en la prensa local de los últimos cuatro años en las que se describen tempestades y tormentas que generaron olas de más de 6 y 7 metros de altura, y vientos de levante de fuerza 9-10 en la escala de Beaufort, con rachas superiores a 100 Km/h. Las áreas más expuestas son los terrenos de uso comercial y recreativo ganados al mar, en la costa norte del istmo (club náutico, pueblo marinero o parque marítimo del Mediterráneo), y los terrenos portuarios y muelles de la ciudad. Como ejemplo podemos citar el temporal de marzo del año 2005, que causó daños valorados en 14 millones de euros en las instalaciones portuarias de la ciudad. También consti-

7. Mapa de peligrosidad por tormentas, tsunamis y ascenso del nivel del mar de la ciudad de Ceuta.





Ejemplos del litoral Ceutí. Arriba izquierda, temporal sobre Ceuta. Arriba derecha, playa de la ribera. Centro izquierda, Punta de Santa Catalina. Centro derecha, Vista del muelle de levante desde el Hacho. Abajo izquierda, Punta del Morro. Abajo derecha, playa de Benzú.

tuyen áreas de peligrosidad elevada las zonas deprimidas, cercanas al litoral, que coinciden con las desembocaduras del Arroyo de Calamocarro, Arroyo y playa Benítez, y el Arroyo de las Bombas, así como la Cala del Desnarigado. Todas estas áreas poseen la característica común de ser terrenos planos, o de pendientes muy

bajas, donde el oleaje y pequeños ascensos del nivel marino pueden avanzar con facilidad hacia el interior del continente.

Una zona de características diferentes, que posee también una peligrosidad alta, es la carretera N-354 en el transepto comprendido entre la planta desalinizadora y el barrio de Benzú. Esta carretera, que circula paralela a la costa acantilada a alturas siempre inferiores a 7 metros, se encuentra expuesta a la acción del oleaje en momentos de tempestades o de grandes olas.

b) *Zonas de Peligrosidad Media*. Se localizan en una estrecha franja de terreno comprendida entre 6 y 10 metros de cota sobre el nivel del mar. Esta banda coincide, en la mayor parte de su extensión, con el ascenso brusco de la topografía que experimentan las costas escarpadas de Ceuta. Constituyen las zonas más significativas de peligrosidad media en Ceuta, los terrenos más elevados del puerto de Ceuta y las partes de las Avenidas de España y Madrid más próximas al mar.

c) *Zonas de Peligrosidad Muy Baja o Nula*. Se consideran zonas con este tipo de peligrosidad todas aquellas localizadas por encima de los 10 metros, y que sólo pueden resultar afectadas por este tipo de fenómenos en condiciones extraordinarias, no consideradas en este trabajo.

4. MAPA DE PELIGROSIDAD TOTAL Y RIESGOS GEOLÓGICOS

4.1. Mapa de Peligrosidad Total

El análisis conjunto de los mapas de peligrosidad de los diferentes procesos considerados en esta memoria, ha permitido construir un mapa de peligrosidad total, también denominada de exposición a amenazas. A partir del análisis de este mapa podemos distinguir sólo tres sectores, de pequeña extensión, donde se concentran varios tipos de procesos que actúan con un grado de peligrosidad alta a muy alta. A la vez, podemos afirmar que existen otras cuatro zonas, de superficie algo mayor, de peligrosidad media a alta y, finalmente, dos sectores de mayor superficie, donde son frecuentes los procesos de peligrosidad media a baja, pero sólo en algunas partes de su conjunto. El resto del territorio de Ceuta está expuesto en menor grado a dichos fenómenos naturales.

a) *Zonas de Peligrosidad Total Alta a Muy Alta*. La primera zona de peligrosidad muy elevada se localiza en el suroeste de Ceuta y su punto de mayor interés se centra en el Polígono del Tarajal, situado en la desembocadura del Arroyo de las Bombas. En esta área industrial, de poco más de 400 m², pueden confluir procesos de avenidas e inundaciones, movimientos de laderas y tempestades, que actúan

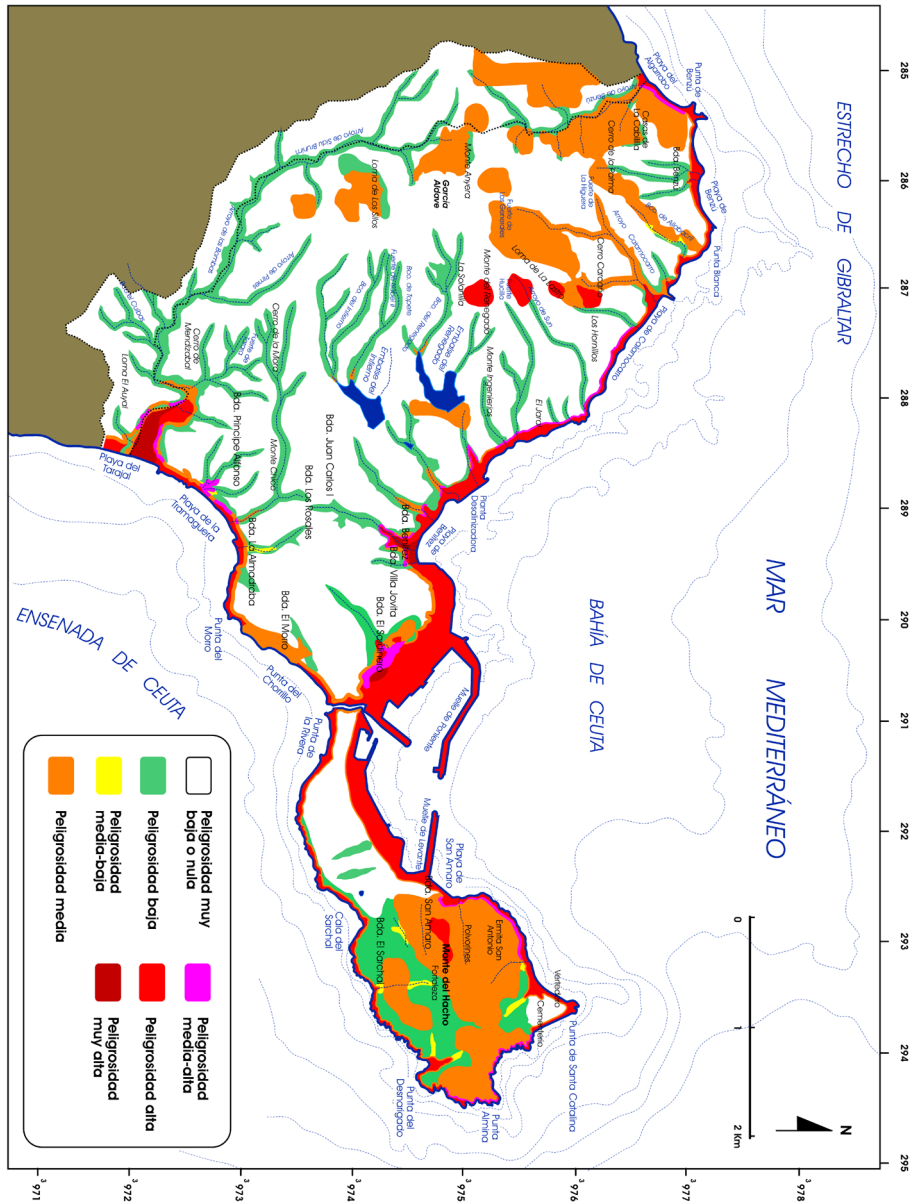
con un grado de peligrosidad considerable. Dentro de esta zona puede incluirse el tramo de la carretera N-352 que llega hasta la frontera y parte la Almadraba, expuesto, por tramos, a los deslizamientos de las filitas de las Puertas del Campo, a las avenidas e inundaciones de las aguas de escorrentía procedentes del Arroyo de las Colmenas o de los Barrancos del Moral y Arcos Quebrados, y al oleaje en época de tempestades.

La segunda zona de peligrosidad alta o muy alta se localiza en la desembocadura del arroyo del Sardinero, donde existe una alta probabilidad de que se produzcan inundaciones y se encuentra afectada, al mismo tiempo, por los procesos derivados de tempestades y tsunamis. Hay que destacar que la superficie donde coinciden ambos procesos es extremadamente pequeña pero, en su conjunto, posee valores medios de peligrosidad muy elevados.

La última zona de peligrosidad alta diferenciada en Ceuta es la desembocadura del Arroyo Benítez, en la playa del mismo nombre. Al igual que ocurre en el Arroyo de las Bombas, en este punto confluyen los tres tipos de procesos naturales considerados y, en los tres casos, con grados de peligrosidad muy altos.

b) *Zonas de Peligrosidad Total Media a Alta*. Al margen de las cuatro zonas de peligrosidad media a alta que se describen a continuación, constituyen también zonas con este grado de peligrosidad las adyacentes a las de peligrosidad alta y muy alta descritas arriba. Las cuatro zonas diferenciadas son las siguientes:

- La carretera a Pino Gordo, en la falda Norte del Hacho, donde confluyen procesos de inestabilidad de ladera y problemas derivados de los temporales de levante en los sectores más cercanos al mar.
- Los terrenos ganados al mar e instalaciones portuarias del Istmo y del Campo exterior, que son zonas planas localizadas a cotas muy bajas, próximas al mar y susceptibles de ser dañadas por temporales de levante.
- El segmento de la carretera N-354 que va, prácticamente, desde la Playa Benítez a las casas de la Cabililla, afectado potencialmente en diferentes tramos por desprendimientos, avenidas y las olas asociadas a grandes temporales.
- La estrecha banda de terreno localizada en la costa Sur del Istmo, de naturaleza muy escarpada, donde se han identificado procesos activos de desprendimientos de grandes bloques y que está sometida a la erosión litoral durante las tormentas de invierno.



8. Mapa de peligrosidad total o de exposición de la ciudad de Ceuta.

c) *Zonas de Peligrosidad Total Media a Baja*. Se diferencian dos sectores con este grado de peligrosidad. En ambas zonas los procesos que conllevan una peligrosidad pueden tener lugar con cierta frecuencia pero, en general, con una magnitud pequeña. Dada la gran superficie que abarcan, la ocurrencia de este tipo de fenómenos en dichos sectores no implica una gran peligrosidad. Se trata de la península de Almina y del sector noroccidental de la Sierra de Bullones que se encuentran dentro del territorio de Ceuta.

- En la mayor parte de la superficie del Monte Hacho existe un cierto grado de peligrosidad de diferentes tipos de fenómenos naturales. Los procesos de deslizamientos y caída de bloques tienen lugar en sus zonas interiores y costeras, como consecuencia de la fracturación de sus rocas y las elevadas pendientes. Por otro lado, todo su litoral está sometido a la acción de procesos erosivos asociados a tempestades y posibles maremotos (oleaje, mareas, vientos, etc.).
- El área comprendida dentro del triángulo definido por el Cerro de La Palma, el Monte del Renegado y la Loma de los Silos. En este sector, de orografía irregular y geología compleja, existen pequeñas porciones de terreno dispersas donde existe una peligrosidad media y baja por movimientos de ladera y avenidas.

d) *Zonas de Peligrosidad Total Baja*. Constituidas por el resto de la superficie de Ceuta y que, generalmente, coincide con zonas interiores afectadas por peligrosidad de bajo grado por avenidas e inundaciones.

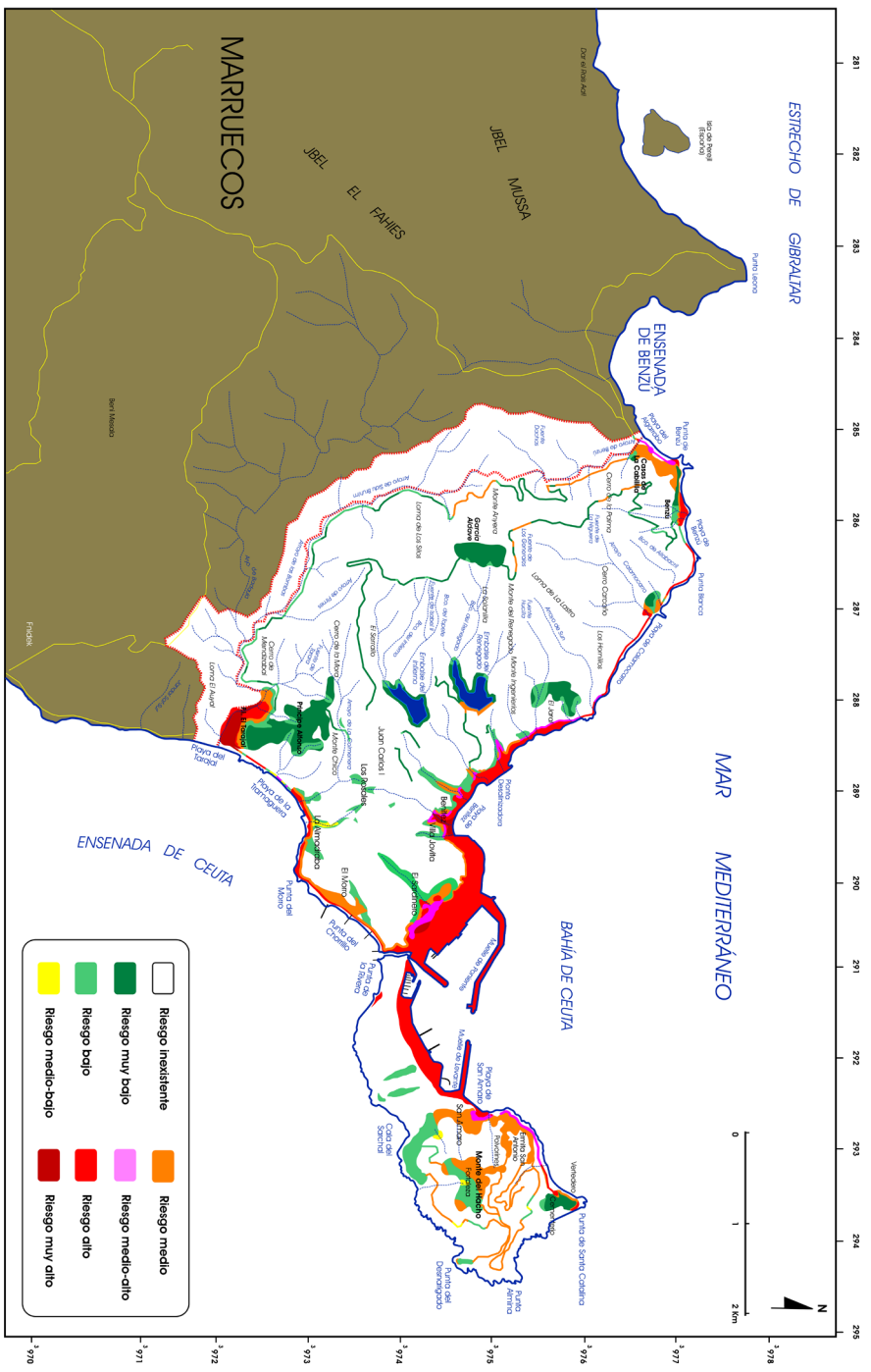
e) *Zonas de Peligrosidad Total Muy Baja a Nula*. Son aquellas donde no se han descrito ningún tipo de proceso de cierta peligrosidad.

4.2. Mapa de Riesgos Geológicos

Los riesgos geológicos pueden ser entendidos como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño, social y económico, debida a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de un proceso geológico, inducido o no (Augusto Filho et al., 1990). De esta forma, las únicas zonas de verdadero riesgo geológico reconocidas en el territorio de Ceuta son las de alta peligrosidad que, a su vez, han sido descritas como vulnerables.

Esto significa que las únicas zonas de riesgo alto y muy alto dentro del territorio ceutí son el Polígono del Tarajal y las zonas del barrio del Sardinero y de Benítez descritas en los puntos anteriores. También constituyen un punto de

9. Mapa de riesgos geológicos de la ciudad de Ceuta.



riesgo geológico alto las instalaciones portuarias, los muelles y el parque marítimo de Ceuta.

Por otro lado, hemos considerado que están sometidos a un riesgo medio a alto algunos tramos de la carretera N-352, a su paso por las playas de la Tramaguera y el Chorrillo, y de la carretera N-354 desde la altura de la planta desalinizadora hasta prácticamente la frontera, en la Cabililla. Finalmente, constituyen zonas sometidas a riesgos de grado medio y medio-bajo los puntos más cercanos al litoral de los barrios de la Almadraba y El Morro, el tramo inicial de la carretera del Hacho que lleva al cementerio y al vertedero municipal, y las carreteras secundarias y urbanizaciones situadas cerca de la Ermita de San Antonio. Otros puntos sometidos a un riesgo medio y que deben ser mencionados, son algunos tramos de las carreteras que conducen a García Aldave desde Benzú, y las zonas de la carretera de acceso al Pantano del Renegado desde Postigo, junto con la mayor parte de las carreteras que circulan por el Monte Hacho

5. CONCLUSIONES

Aproximadamente el 15% de la superficie del territorio de Ceuta se encuentra bajo algún tipo de riesgo geológico. De este 15%, sólo un 9% puede considerarse de tipo alto, muy alto y medio-alto. El resto de la superficie está sometida a riesgos de grado medio a bajo. Las zonas consideradas de mayor riesgo son el polígono del Tarajal, las desembocaduras de los arroyos de Benítez y del Sardinero, el tramo de carretera comprendido entre la planta desalinizadora y la frontera de la Cabililla con Marruecos, y los terrenos portuarios y recreativos ganados al mar del Istmo y Campo Exterior oriental. Comparando los diferentes tipos de riesgos analizados en este trabajo, el riesgo por tempestades y maremotos sería el que más daño potencial podría causar, seguido por los deslizamientos y desprendimientos, y las avenidas e inundaciones. A partir de todo lo anterior podemos concluir que, a excepción de las zonas costeras y las localizadas en las proximidades de algunas desembocaduras de arroyos, el territorio de Ceuta, a gran escala, no presenta un grado de exposición alto a los riesgos geológicos. A menor escala, la confluencia de diferentes procesos en zonas vulnerables de la ciudad (por ejemplo, una crecida de un arroyo cerca de su desembocadura, durante un temporal de levante) puede originar un gran riesgo geológico, con resultados catastróficos en áreas muy localizadas.

REFERENCIAS

- Augusto Filho, O., 1991. Riscos geológicos: um modelo de abordagem e exemplos de aplicação no sudeste. En: Atas. Simposio de Geologia do Sudeste, 2. São Paulo.
- Augusto Filho, O., Cerri, L.E.S., Amenomori, C.J., 1990. Riscos geológicos: aspectos conceituais. En: Anais. Simposio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, 334-341. São Paulo.
- Ayala Carcedo, F.J., 1987. Introducción a los riesgos geológicos, 1, 3-21. En: Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Ayala Carcedo, F.J., Olcina Cantos, J. (Eds.), 2002. Riesgos Naturales, 1512 pp.
- Bell, F.G., 1999. Geological Hazards (their assessment, avoidance and mitigation). E & FN Spon.
- Benavente, J., Bello, E., Anfuso, G., Nachite, D., Macias, A., 2007. Sobreelevación debida a temporales y cambios producidos en las playas del litoral NE Marroquí. Rev. C. & G., 21 (1-1), 13-25.
- Bluestein, H.B., 1993. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Observations and Theory of Weather Systems, 2. Oxford University Press, 594 pp.
- Bolt, B.A., 1975. Geological hazards. Springer-Verlag. Berlin.
- Bordas, M.P., et al., 1987. Diagnóstico preliminar dos riscos de assoreamento no Brasil. En: Anais, Simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, 7. Salvador.
- Bosque Sendra, J., Díaz Muñoz, M.A., Gómez Delgado, M., Rodríguez Durán, A.E., Rodríguez Espinosa, V., 2000. Sistemas de información geográfica y Cartografía de riesgos tecnológicos. El caso de las instalaciones para la gestión de residuos en Madrid. En: Industria y medio ambiente, 315-326. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante.
- Cariacedo, J.C., Guillou, H., Paterné, M., Scaillet, S., Rodríguez Badiola, E., Paris, R., Pérez Torrado, F.J., Hansen, A., 2004. Avance de un mapa de peligrosidad volcánica de Tenerife (escenarios previsibles para una futura erupción en la isla). Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias, 46 pp.
- Chacón, J., Irrigarría, C., 1999. Prevención espacial de movimientos de laderas y riesgos asociados mediante SIG. En: Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente. Ed. L. Laín. IGME.
- Chamorro, S., Nieto, M., 1989. Síntesis geológica de Ceuta. Ayuntamiento de Ceuta, 223 pp.
- Cruden, D.M., 1990. Suggested nomenclature for a landslide summary. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 41, 1316.

- Davies, J.L., 1964. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeits fur Geomorphology* 8, 27-42.
- Felpeto, A., 1996. Modelización física y simulación numérica de procesos eruptivos para la generación de mapas de peligrosidad volcánica. Tesis Doctoral, Universidad de Madrid, 250 pp.
- Frater, H., 1998. Natural disasters. Cause, Course, effect, Simulation. Springer Verlag.
- González de Vallejo, L., 2002. Ingeniería Geológica. Prentice Hall, 744 pp.
- Gutscher, M.A., Baptista, M.A., Miranda, J.M., 2005. The Gibraltar Arc seismogenetic zone (part 2). Constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by tsunami modelling and seismic intensity. *Tectonophysics* 426, 152-166.
- Happ, S.C., Rittenhouse, G., Dobson, G.C., 1940. Some Principles of accelerated stream and valley sedimentation. Washington, United States Department of Agriculture. USDA Technical Bulletin, 695 pp.
- Hayes, M.O., 1979. Barrier island morphology as a function of wave and tide regime, in Leatherman, S. P. ed., Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico: Academic Press, New York, NY, 1-29.
- Huschke, R.E. (Ed.), 1959. Glossary of Meteorology, American Meteorological Society, Boston, Mass. USA, 638 pp.
- Hutchinson, J.N., 1968. Mass movement. En: *Encyclopedia of Geomorphology*. Ed. International Association of Engineering Geology, 41, 1316.
- IGME, 1987. Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. Madrid.
- IGME, 1988. Riesgos Geológicos. Madrid. 333 pp.
- Jaaidi, E.B., Ahmamou, M., Zougary, R., Chatre, B., El Moutchou, B., Malek, F., Naïm, K., 1992. Le littoral méditerranéen entre Tétouan et Ceuta et atlantique entre Tanger et Asilah. Pub, Comité, National Géographic Marocco, 21-33.
- Jiménez Moreno, J., Laín Huerta, L., 2000. Gestión de riesgos naturales mediante Sistemas de información geográfica en Centroamérica. En: *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica*. Madrid, ITGE y Ediciones AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional).
- Laín Huerta, L. (Ed.), 2000. *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica*. Madrid, ITGE y Ediciones AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional).
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Willer, J.P., 1964. *Fluvial process in Geomorphology*. Ed. W.H. Freenian and Company. San Francisco.
- López Mariñas, J.M., 2002. *Geología Aplicada a La Ingeniería Civil*. Ed. Dossat, 584 pp.

- Maund, J.G., Eddleston, M., 1998. Geohazards in engineering Geology. Geological Society Engineering Geology, Special Publication nº 15.
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (Eds.), 2001. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Millán, M., Estrela, M.J., Caselles, V., 1995. Torrential precipitations on the Spanish East coast: The role of the Mediterranean sea surface temperature. Atmospheric Research, 36, 1-16.
- Morisawa, M., 1994. Geomorphology and natural Hazards. Elsevier.
- Murk, B.W., Skinner, B.J., Porter, S.C., 1996. Environmental geology. John Willey and Sons.
- Ribeiro, A., 1994, Deformable plate tectonics of the Azores-Gibraltar boundary: where the next 1755 earthquake will strike again?. En: 1er Simposio sobre a margem continental Ibérica Atlántica, Lisboa, Gaia, 9.
- Smith, K., 2001. Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster. Ed. Routledge, London.
- Stochalak, J., 1974. The classification of slope deposit from engineering geological stream and valley sedimentation. Washington, United States Department of Agriculture.
- Suarez, L., Regueiro, M., 1997. Guía ciudadana de los riesgos geológicos. Colegio Oficial de geólogos de España. 196 pp.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. Landslides analysis and control, 11-33. National Academy of Sciences. Washington D.C.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on landslides of the IAEG, UNESCO. Natural Hazards 3, 61 pp.
- Wallinc, D.E., 1983. The sediment delivery problem. Journal of Hydrology, 65.
- Willard, E., Ruby, M., 2000. Natural Disasters: Floods Contemporary World Issues.

