

Geología de Melilla

Guía de Campo para la Enseñanza
Secundaria Obligatoria y Bachillerato

Juan Antonio González García
Pedro Paredes Ruiz
Carmen Enrique Mirón



CIUDAD AUTÓNOMA
DE
MELILLA



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Guía de campo de la **Geología** **de Melilla**



**Para Enseñanza
Secundaria
Obligatoria y
Bachillerato**

Juan Antonio González García (Doctor en Ciencias Biológicas)

Pedro Paredes Ruiz (Licenciado en Ciencias Ambientales)

Carmen Enrique Mirón (Doctora en Ciencias Químicas)

GUÍA DE CAMPO DE LA GEOLOGÍA DE MELILLA

Juan Antonio González García (Doctor en Ciencias Biológicas)

Pedro Paredes Ruiz (Licenciado en Ciencias Ambientales)

Carmen Enrique Mirón (Doctora en Ciencias Químicas)

1º edición – junio de 2021

© Sus autores

© GEEPP Ediciones (para esta edición)

EDITA

GEEPP Ediciones

Gestión y Edición de Publicaciones Profesionales, SL

www.tueditorial.es - informacion@tueditorial.es 214

MAQUETACIÓN Y DISEÑO DE CUBIERTA

Antonio García Tomé

agtomedesign@gmail.com

ISBN

978-84-18154-20-1

DEPÓSITO LEGAL

ML-31-2021

IMPRIME

Grupo Ulzama. Impreso en España.

Índice

Introducción.....	7
Geología de las cordilleras	
Bético-Rifeñas y La Guelaya	10
Geología de Melilla	15
Organización de la guía.....	20
Fichas geología	24
1. Rasa de abrasión	24
2. Cornisa biogénica	26
3. Cubetas (rock pools)	28
4. Calcita mineral	30
5. Fósiles en calizas arrecifales	32
6. Relieve cárstico.....	34
7. Asperón (areniscas amarillas)	36
8. Paleosismitas	38
9. Cineritas o tobas cineríticas	40
10. Espeleotemas secundarios	42
11. Calcreta.....	44
12. Terra rossa	46
13. Erosión eólica	48
14. Calcarenitas blancas	50
15. Playas fósiles	52
16. Encajamiento fluvial	54
17. Fósiles de estromatolitos.....	56
18. Calizas tableadas	58

19. Arcillas/Arcillitas	60
20. Obsidiana	62
21. Andesitas piroxénicas	64
22. Basaltos olivínicos	66
23. Tobas brechoides	68
24. Erosión por aguas superficiales	70
25. Sílex	72
26. Yacimientos-Talleres de sílex.....	74
27. Terrazas aluviales.....	76
28. Playas de arenas del sur	78
29. Calizas arrecifales	80
30. Clinoformas/Estratificación cruzada	82
31. Erosión diferencial	84
32. Playa de Horcas Coloradas.....	86
33. Serie estratigráfica/Zonas de contacto	88
34. Conos de derrubios.....	90
35. Valles colgados	92
36. Rubefacción	94
37. Costa de desprendimientos	96
38. Península de Tres Forcas	98
39. Micaesquistos	100
40. Oligisto	102
41. Macizo del Gurugú	104
42. Mar Chica	106
Glosario	108
Referencias bibliográficas.....	114
Anexos.....	116

Introducción

El estudio de la Geología en la Enseñanza Secundaria Obligatoria y en el Bachillerato es una labor trabajosa y árida para unos profesores y sobre todo unos alumnos que, en general, ven esta disciplina alejada de sus intereses no solo académicos sino también personales. Más si, como ocurre con asiduidad, la enseñanza se aborda en base al recurso didáctico habitual que se pone en manos de los profesores, el libro de texto más o menos oficial, y sin que medie una aproximación real y significativa a clasificaciones, fenómenos, conceptos y leyes que, sin un contacto directo con el objeto de estudio, resultan irrelevantes y, muchas veces, incomprensibles.

Ningún geólogo hubiera sido capaz de entender su carrera universitaria sin las múltiples salidas de campo que ilustraron el estudio de muchas de sus asignaturas y posteriormente fueron la base de sus investigaciones o de sus trabajos profesionales. Y es esto, pensamos, lo debe siempre impregnar la didáctica de las Ciencias, acercar a los estudiantes a la labor que cotidianamente lleva a cabo un investigador o un profesional.

Lo anterior nos llamó a trabajar en esta guía didáctica, tal vez pionera en los términos que se plantea, sobre la Geología melillense. A construir una obra visual, práctica y sencilla que ayude al enseñante o simplemente al naturalista interesado a trasladar a la Naturaleza su trabajo docente o sus inquietudes, a zonas y puntos seleccionados y diversos del territorio de nuestra Ciudad Autónoma donde se manifiestan los efectos geodinámicos, internos y externos, que han dado lugar a la diversidad litológica, edáfica y paisajística que caracteriza la parte aún no urbanizada de la ciudad.

La base científica la encontramos cimentada en los múltiples trabajos que, sobre una gran diversidad de estudios geológicos, con intereses científicos, mineros e incluso bélicos, se han desarrollado desde principios del siglo XX a la actualidad sobre la región de Melilla. Algunos de esos trabajos culminaron con interesantes análisis de la historia geológica regional, con elaboraciones de minuciosos transectos y diseños de columnas estratigráficas, y con ilustrativos mapas geológicos. Todo ello, en lo referente a los 12 km² del territorio melillense, acertadamente recogido por el Instituto Geológico y Minero de España en la elaboración del último Mapa Geológico de España (Hoja 1111-III: Melilla e Islas Chafarinas, 2013) y reproducido en el tomo IV de una obra faraónica que vio la luz hace ya 8 años que contó con la participación de lo más granado de la investigación local en los más diversos aspectos de las Ciencias de la Naturaleza (Historia de la Ciencia, Geografía, Sociología, Climatología, Geología, Botánica y Zoología Terrestres, Biología Marina...). Se trata de la Historia Natural de la Región de Melilla (Yus & Cabo, coords, 2013), que consta de 11 tomos: 3 introductorios y 9 dedicados a una serie de unidades biogeográficas que se incluyen en la comarca que rodea Melilla y que conocemos con el nombre genérico de Guelaya: Mar Chica, Gurugú, Tres Forcas, Beni Bu Ifrur, Llanura de Zeluán, Cuenca baja del río Ker, islas Chafarinas, isla de Alborán y el ya citado sobre la Ciudad de Melilla.

Así nos embarcamos en esta aventura, trabajando pormenorizadamente durante casi dos años a través de salidas de campo. Con ellas hemos actualizado la información y hemos vuelto a poner de manifiesto lo más interesante de lo recogido en la bibliografía previa a través de la recogida de materiales, la fotografía y el vídeo: litología, estratigrafía, paleontología, modelados paisajísticos, procesos geodinámicos..., en fin, lo que nos ha ido pareciendo más

ilustrativo de las manifestaciones de la Ciencia de la Tierra en nuestra Naturaleza visible. Ha sido un trabajo excitante, a veces agotador, a veces frustrante cuando íbamos comprobando lo alejado que han ido el desarrollo urbanístico y económico de Melilla del camino proteccionista deseable.

Organizada para que constituya una guía completa e itinerante, creemos que resulta interesante y novedosa como recurso pedagógico donde se parte de visualizar e interpretar la realidad geológica de Melilla a través de visitas guiadas a los lugares donde aparecen las estructuras geológicas y la diversidad petrológica que se recoge en ella. Pero, todos los docentes sabemos de la dificultad que supone organizar sesiones didácticas fuera de los muros del centro escolar, por ello hemos decidido que la guía material se vea acompañada de material informático anexo que permita a los profesores un tratamiento alternativo dentro del aula.

Por último y sin querer pecar de inmodestia, pensamos que la presente obra hace algunos nuevos aportes a la Ciencia: descubrimientos y originales visiones, junto a una finalidad didáctica preuniversitaria de la que carecen en gran medida las publicaciones anteriores.

Geología de las cordilleras Bético-Rifeñas y La Guelaya

La región de Melilla forma parte de una importante unidad orográfica y geológica: las cordilleras Bético-Rifeñas (Figura 1). Estas cordilleras describen geográficamente un arco que las llevan desde las Islas Baleares y el cabo La Nao en Alicante, recorriendo las provincias del sur de Andalucía, hasta las regiones litorales del norte de Marruecos y de Argelia. El vértice del cerrado arco constituye el relevante hito geográfico conocido como Arco de Gibraltar.

Melilla y su región circundante forman parte del Dominio de Alborán, una de **las zonas internas** de las cordilleras Bético-Rifeñas. Este dominio está formado por las estribaciones costeras de esas cordilleras y por el fondo del mar de Alborán, donde la delgada corteza terrestre se encuentra sometida a las presiones generadas por el choque de las placas Euroasiática y Africana.

Los zócalos hercínicos (Paleozoico) y Mesozoicos, compuestos por rocas metamórficas, constituyen al sur del mar de Alborán la cordillera del Rif, y en la península Ibérica los complejos de Sierra Nevada-Los Filabres (Nevado-Filábride), de las Alpujarras (Alpujárride) y de los Montes de Málaga (Maláguide), conocidos como cordillera Penibética. Estos dos últimos complejos también afloran en el Rif, donde reciben, respectivamente, las denominaciones de Sébtide y Ghomáride.

También es notable la presencia de vulcanismo Neógeno-Cuaternario localizado en la parte central y oriental de las cordilleras Bético-Rifeñas. Son representantes de dicho vulcanismo en la España peninsular, los afloramientos de cabo de Gata, Mazarrón-Cartagena y los islotes del Mar Menor, y en el litoral africano, los de cabo Quilates (Ras Tarf) en la bahía de Alhucemas, el macizo volcánico del Gurugú y sus volcanes satélites, la parte apical de cabo Tres Forcas, las islas Chafarinas, y el apéndice oriental de cabo Figalo en la costa argelina. Se trata del vulcanismo mediterráneo presente desde el inicio del Mioceno, hace unos 23 millones de años (Ma), hasta el Cuaternario, aún activo en diversas regiones de Italia y Grecia. En Marruecos estas emanaciones volcánicas dispersas fueron desplazándose en el tiempo desde el oeste hacia el este, comenzando en cabo Quilates (unos 14 Ma), siguiendo a cabo Tres Forcas (unos 9,8 Ma), Gurugú y zonas satélites próximas (9,0-2,6 Ma), hasta los campos volcánicos de Oujda y Guilliz (7,4-2,2 Ma), estando caracterizado progresivamente por la emisión de rocas de series calco-alcalinas (andesitas, riolitas, traquitas) cada vez más ricas en potasio, hasta las más modernas series basálticas, las más básicas, que terminaron hace aproximadamente 1,5 Ma.

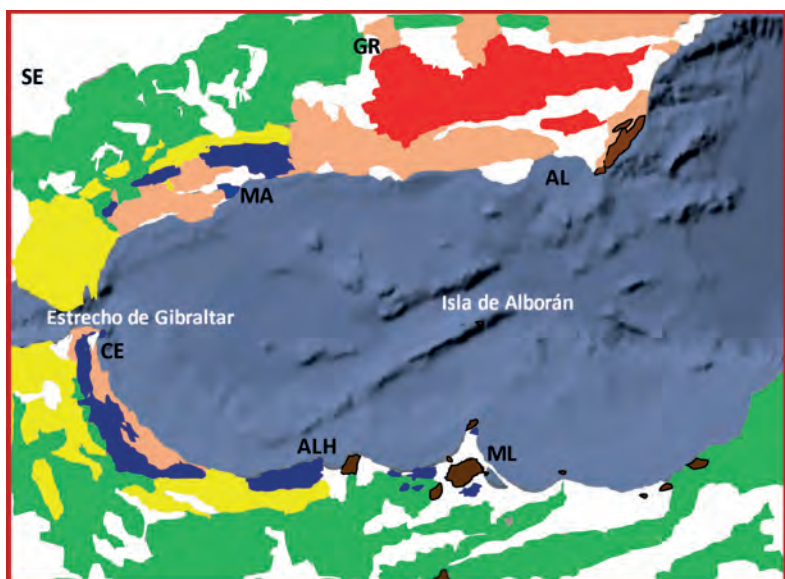


Figura 1. Cordilleras Bético-Rifeñas (Adaptado de Chalovan et al., 2008 y Martín-Rojas, 2006)

Las **zonas externas**, norte y sur de las cordilleras Bético-Rifeñas, están formadas por afloramientos Mesozoicos sedimentarios (areniscas, margas, calizas) conocidos como cordilleras Prebéticas y Subbéticas. En España: provincia de Cádiz (Alcornocales, Grazalema...), sur de las de Córdoba y Granada (Horcanera, Loja, Elvira, Huétor...), Jaén (Cazorla y Segura). Mención especial merecen las unidades del Campo de Gibraltar, eocénicas y miocénicas mayoritariamente, cuya característica más genuina es el carácter de *flysch* de sus series estratigráficas, consecuencia de una sedimentación oceánica de materiales de diversa naturaleza que se depositan de forma alternante.

Al norte de estas cordilleras Béticas encontramos el valle del Guadalquivir, lo mismo que al sur de las cadenas rifeñas aparecen depresiones terciarias postorogénicas: las cuencas de Taza y Fez. Estas cuencas son también frecuentes en las zonas nororientales de la unidad Bético-Rifeña, encontrándose entre ellas la cuenca sedimentaria de Melilla-Nador, con series sedimentarias cenozoicas sobre las que se observan depósitos aluviales más recientes que provienen de la acción de los agentes geodinámicos externos sobre las rocas preexistentes.

La región circundante de Melilla, **la Guelaya** (Figura 2), en la provincia marroquí de Nador, recoge buena parte de las manifestaciones rocosas comentadas para el arco de Alborán. Así se encuentran rocas metamórficas del Paleozoico en la zona media del cabo Tres Forcas (Taryat) o del Mesozoico en el macizo del Uixan (Beni Bu Ifrur); rocas volcánicas en el Gurugú y volcanes satélites, en punta Negri al oeste de la base de Tres Forcas, y en la parte apical del cabo; y calcretas superficiales y otras rocas de la serie sedimentaria messiniense en la meseta de Beni Chiker y al sur del macizo del Uixan.

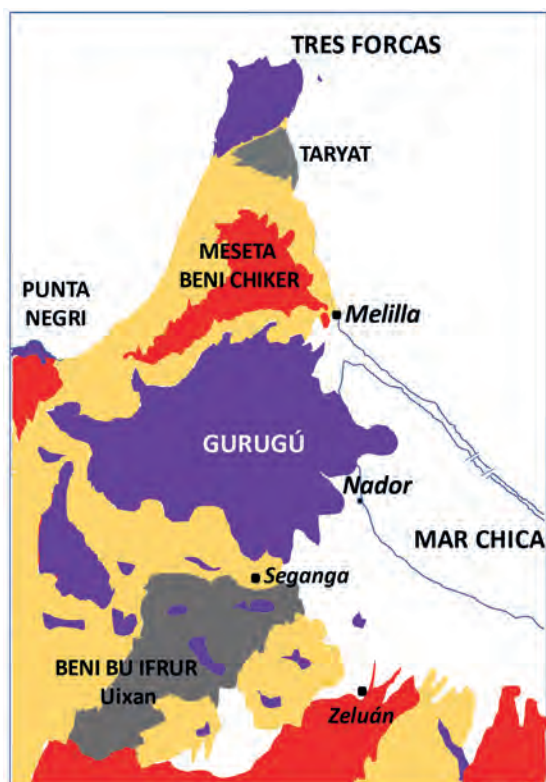


Figura 2. Geología de la Guelaya (Adaptado en Guillemin et al., 1983)

Geología de Melilla

En una superficie limitada de unos 12 km², más de la mitad urbanizada, la riqueza geológica de nuestra ciudad, sin embargo, es apreciable (Figura 3), tanto si se atiende a la variedad litológica como a la diversidad de paisajes y estructuras modeladas por agentes externos e internos. Como ya hemos visto, el territorio de Melilla se localiza cerca de los límites orientales del Rif, en la cuenca sedimentaria Melilla-Nador, en la que se vierten materiales volcánicos neógenos del macizo volcánico del Gurugú.

El libro de la historia geológica local (territorio de la Ciudad Autónoma) se abre visualmente en el período Messiniense (7,25-5,33 Ma), el último del Mioceno Terciario que da paso posterior al Plioceno (5,33-2,59 Ma), y después al Cuaternario (2,59-actualidad). Lo hace en sus dos direcciones, la sedimentaria y la volcánica que van alternando sus páginas, sus deposiciones marinas, que se tornarán terrestres al avanzar en el tiempo. Sin embargo, debido fundamentalmente al avance urbanístico, y también a las sedimentaciones más recientes, los afloramientos son escasos y muy localizados, lo que hace que esa alternancia sea bastante difícil de precisar sobre el terreno.

La **serie sedimentaria**, con facies arrecifales, de plataforma y deltaicas, está bien representada y expuesta en la mitad septentrional del territorio, sobre todo en su litoral acantilado. Los sedimentos más antiguos nos hablan de un mar somero y de un clima subtropical, con arrecifes de coral dominados por especies del género *Porites*, que hoy encontramos petrificados (calizas arrecifales) en los niveles bajos de la Ciudad Vieja, en La Alcazaba y en los acantilados de la punta de Rostrogordo. Le sigue la facies superpuesta de talud arrecifal con abundancia de fosilizaciones de moluscos (calizas conchíferas). Más arriba, en el saliente costero de Rostrogordo y en sus proximidades hacia el norte y hacia el sur (Aguadú, Horcas Coloradas), son apreciables los estratos superiores carbonatados que nos llevan, con el lapsus sedimentario del Plioceno que no aflora en Melilla, a las intercalaciones de cineritas volcánicas a casi 100 m de altitud, y, por último, a las calcretas cuaternarias ya de precipitación terrestre que forman la costra (caliche) de la meseta de la zona norte de la ciudad. Una costa acantilada de rápida elevación epigénica que nos muestra la secuencia estratigráfica de los últimos 6,5 Ma.

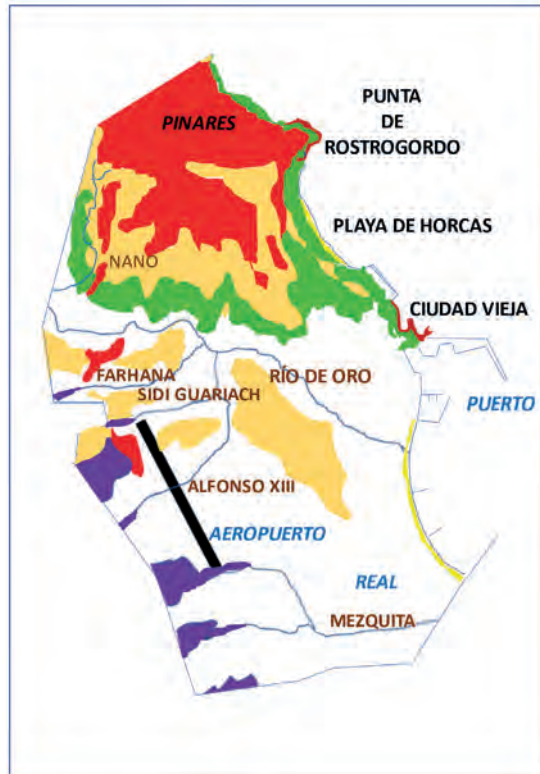


Figura 3. Geología de la Ciudad de Melilla (Adaptado de Pineda et al., 2013)

El **Gurugú** es un macizo volcánico cuya actividad se prolongó desde hace 9,5 Ma (Tortonense miocénico) hasta 2,6 Ma (Plioceno superior). Aunque los sondeos para la captación de aguas freáticas, realizados por el Instituto Geológico y Minero de España en 1962, por el Instituto Nacional de Colonización en 1964 y por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, del Ministerio de Medio Ambiente, en 1996, demostraron una más amplia extensión e importancia de los materiales volcánicos, estos solo afloran superficialmente en la zona suroeste del territorio melillense: en las faldas del macizo y en los arroyos que de él bajan y que han arrastrado y arrastran cantos rodados, con mucha frecuencia de gran tamaño, que podemos ver atrapados en las terrazas de sedimentos más finos, o bien depositados sobre sus mismos cauces. Los cantos más antiguos, de andesitas piroxénicas emitidas en el Messiniense, y los más modernos, pliocénicos y cuaternarios, de basaltos olivínicos de lavas más fluidas, a menudo vacuolares por su rápida solidificación. Todo ello acompañado de otras manifestaciones que dan lugar a tobas, cineritas y silicificaciones (sílex, jaspe, calcedonia...), estas últimas asociadas al efecto de fumarolas sobre las andesitas preexistentes.

Atendiendo a la **Geomorfología**, destaca lo ya en parte expuesto, los altos acantilados de la mitad norte del litoral melillense, "los Cortaos", donde encontramos cantiles completamente verticales con bellas formaciones producidas por los efectos erosivos del mar (rasas litorales, cubetas supralitorales, cornisas biogénicas); otras zonas donde el modelado cárstico se expresa de forma ilustrativa; entrantes donde se pierde la fuerte coraza arrecifal, dándose acúmulos de sedimentos arrastrados por el mar en pequeñas playas de arena o guijarros, la más extensa la de Horcas Coloradas; o lugares donde se acumulan conos de derrubios o grandes bloques desprendidos desde las zonas altas.

Las playas de finas arenas blancas de la zona sur (San Lorenzo, Cárabos, Hípica), regalo de los antiguos aportes del cercano

Muluya, donde aún y a pesar del avance urbanístico se pueden intuir, cuando el viento de poniente se impone durante días, incipientes manifestaciones sedimentarias (dunas, marcas rizadas). Vientos de poniente y levante que producen en toda nuestra costa acantilada, en los valles fluviales y en taludes artificiales, formas erosivas marinas o típicamente eólicas, laminares o alveolares, bien visibles en las rocas más deleznales.

Y también, las formaciones geodinámicas de tipo fluvial, aunque estas se encuentran en la actualidad más enmascaradas por el avance urbanístico y por el encajonamiento de cemento que se impuso y sigue imponiéndose, sin mentalidad ambiental, a la mayor parte de los cauces de los arroyos melillenses. Aun así, son interesantes los valles colgados sobre los acantilados producidos por la elevación costera y el basculamiento del terreno hacia el sur (barranco del Quemadero), el encajamiento del río Nano que forma una bella hoz en su parte baja cercana a Mariguari, o las terrazas horadadas por la torrencialidad de las lluvias que aparecen en los arroyos que bajan del macizo del Gurugú.

Todo lo anterior constituye nuestro patrimonio geológico desde el punto de vista paisajístico y didáctico. Así se recoge en la ya citada Hoja de Melilla del Mapa Geológico de España de 2013, donde se localizan varios centros de interés: a) Las coladas basálticas con intercalación de silicificaciones de los taludes de la carretera perimetral en sus tres primeros kilómetros, b) Los arrecifes messinienses de Melilla La Vieja, con su manifestación más ilustrativa en los acantilados situados bajo el faro, c) Los mismos arrecifes y la serie calcarenítica superior con bellas clinoformas de la Ensenada de los Galápagos, d) La serie sedimentaria de los acantilados de la Punta de Rostrogordo, observable en la carretera de bajada, desde las plataformas arrecifales del litoral a las calcretas de la meseta, con una buena diversidad de manifestaciones. A estos puntos de interés paisajístico, nosotros añadimos otros que el lector irá descubriendo al ir trabajando esta obra.

Organización de la guía

La guía hemos intentado que siga una propuesta de itinerario que nos va llevando de forma sinuosa y discontinua desde la parte baja de los acantilados de Aguadú y Rostrogordo hasta el final septentrional de la playa de Horcas Coloradas. Entre medio: diversas zonas del norte elevado de la ciudad, la bajada hacia el sur por todo el barranco del río Nano y la carretera perimetral hasta la frontera de Mariguari, la zona volcánica del suroeste del territorio y los cauces de los arroyos que descienden del Gurugú, y un recorrido litoral que se inicia en la playa de la Hípica y pasa por los acantilados que soportan la ciudadela de Melilla la Vieja y la Alcazaba (Figura 4).

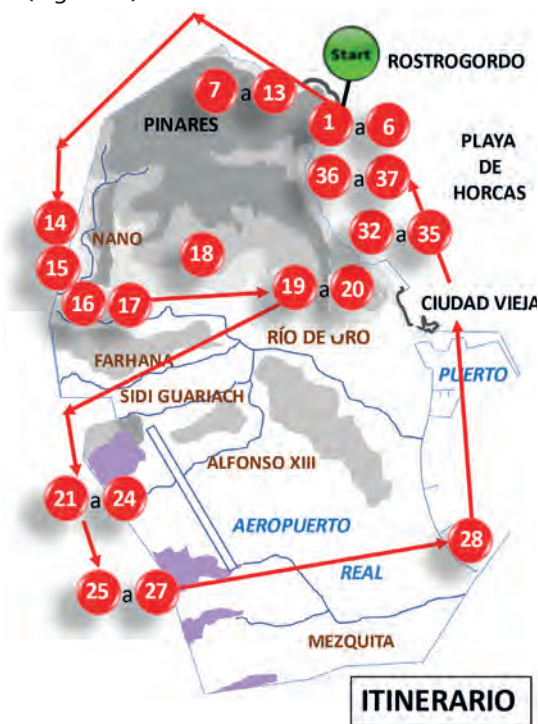


Figura 4. Itinerario y número de fichas

Está organizada en forma de fichas que recogen una amplia tipología de rocas, junto a una diversidad de aspectos geomorfológicos y formas de modelado que los agentes y procesos externos o internos han dado a esas rocas o al paisaje general. Son 42 que, ordenadas intentando seguir el comentado itinerario, conservan una individualidad que permite el uso de la guía de una forma específica y puntual o bien zonalmente. Hemos recogido aquello que pensamos pueda ser interesante para un conocimiento global de la Geología de Melilla y la región natural en la que se encuentra geológicamente incluida, la zona de contacto, inestable, entre las placas africana y euroasiática (Figura 4).

Las fichas han sido estructuradas en diversos puntos que recogen en el caso de las rocas: tipo en el que se incluyen según su origen, proceso de formación, composición química, sus usos industriales o cotidianos y, por último, su presencia en Melilla reflejada en el texto y en planos esquemáticos. En las que ilustran estructuras y diferentes formas de modelado se omiten lógicamente algunos de los puntos citados, pero aparecen otras explicaciones que dan luz a sus procesos de formación.

Solo en cinco ocasiones nos hemos permitido la licencia de salirnos de los límites territoriales de la Ciudad Autónoma de Melilla, en la idea de completar el espectro petrológico con algunos tipos de rocas que no se encuentran en la ciudad, pero sí en la región próxima de la Guelaya, siempre a menos de 25 km de la línea fronteriza. Concretamente hemos viajado a la península de Tres Forcas, a la manga arenosa de la Mar Chica y a los cercanos macizos montañosos del Gurugú y del Uixan. En los mapas de las fichas, ahora de la región guelayense, aparecen los lugares de su localización.

Todas las fotos, excepto la que muestra el yacimiento a cielo abierto del Uixan (ficha 40. Oligisto), han sido realizadas por los autores en los dos últimos años durante las más de 50 salidas de campo en las que se fue tomando notas *in situ* y recogiendo materiales. Estos materiales, en un futuro próximo, pasarán a constituir la ampliación del Museo de Fósiles y Minerales de la Granja Escuela Rey Felipe VI, que irá en la misma línea que el lector está descubriendo al leer esta parte inicial de la obra.



Nuestra **Geología**



Rasa de abrasión

Modelado litoral

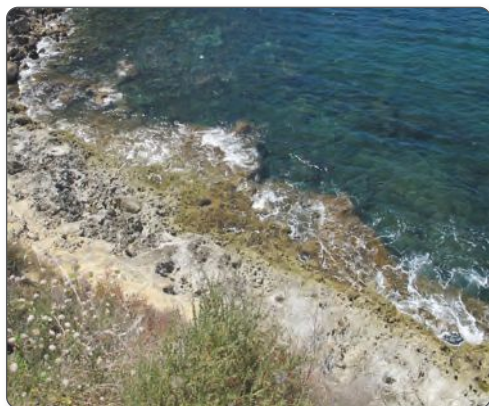
Origen: Las rasas o plataformas de abrasión son formaciones litorales que aparecen en el nivel de las mareas bajas, allí donde existen acantilados marinos en retroceso por la erosión producida por el oleaje y por el efecto abrasivo de los fragmentos arrancados al acantilado. Las olas rompen en el estrato intermareal, socavando la base del acantilado, produciendo derrumbes y dejando por debajo extensiones planas o de poca pendiente menos afectadas por la acción marina.

Estas plataformas semisumergidas terminan por proteger los cantiles traseros ralentizando o deteniendo su retroceso. En mares como el Mediterráneo, con mareas de poca amplitud vertical, las rasas tienen anchuras bastante limitadas, sin embargo en regiones oceánicas, con mareas de mayor oscilación, pueden alcanzar centenares de metros.

Tiene importancia en la génesis de estas formaciones el tipo de roca y la presencia de estratos con materiales de distinta compactación y dureza que sufren erosiones diferenciales que pueden coadyuvar e ilustrar el proceso. Y también la presencia en las ricas comunidades que las recubren, de organismos formadores de arrecifes que con sus secreciones y caparazones participan de forma activa en su desarrollo y fisionomía.



Trápana en la Ciudad Vieja



Zona de Especial Conservación de Aguadú

Melilla: En nuestro litoral tenemos la presencia de un tipo de roca propicio para que se desarrollen rasas de abrasión. Son las calizas arrecifales que encontramos en la Ciudad Vieja, la Alcazaba, y la Punta de Rostrogordo. De hecho, por su alto grado de compactación y resistencia a la erosión, estas zonas costeras forman salientes sobre el resto del litoral donde aparecen otras rocas, tipo areniscas, más disgregables. Son pequeñas plataformas dispersas que se presentan en la forma típica de planicies intermareales o bien formando escollos y pequeños islotes por delante del acantilado.



Rasa en marea baja



La Alcazaba



Punta de Rostrogordo

Cornisa biogénica

Modelado litoral

Origen: En el mar Mediterráneo, con mareas de poca amplitud, se forma en el mediolitoral de los litorales calcáreos un modelado típico que se manifiesta a través de una pequeña cornisa horizontal, generalmente de una anchura inferior a 1 m, que se conoce como cornisa biogénica u organógena. Por encima y por debajo de esta cornisa el embate de las olas ha provocado una mayor erosión, multiplicada por el principio físico de cavitación: las burbujas de las olas, debido a la presión y descompresión que experimentan al entrar en esas oquedades, terminan por implosionar y producir un proceso erosivo exponencial.

Junto a este origen geodinámico externo, las mencionadas cornisas constituyen un hábitat ideal para numerosos organismos marinos incrustantes que con el acúmulo de sus exoesqueletos, igualmente calcáreos, colaboran en la expansión y en el modelado de estas estructuras.

Importancia biológica: En el mediolitoral, periódicamente emergido o sumergido en función de mareas y oleaje, rompen las olas. Esto implica el enriquecimiento en oxígeno de las aguas y el incremento importante de la biodiversidad. De hecho la Unión Europea protege estos hábitats con la denominación "1170 Arrecifes" en el anexo I de la Directiva Hábitat.

Uso didáctico: Estas formaciones geológicas y las ricas comunidades que acogen son importantes en diversas asignaturas de Ciencias de la Naturaleza.

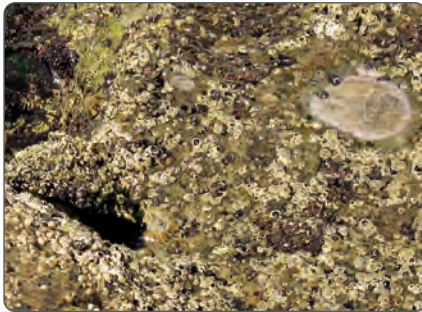


Ciudad Vieja

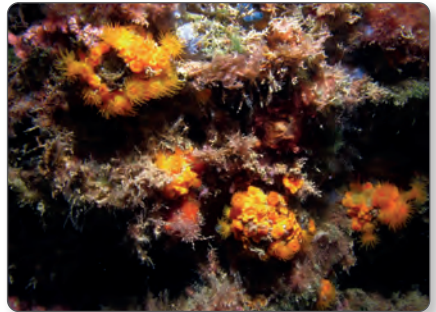


Cornisa bien formada

Melilla: El litoral rocoso de Melilla resulta propicio para la formación de cornisas biogénicas solo cuando aparece roca calcárea compacta, o sea las calizas *arrecifales de la Ciudad Vieja, la Alcazaba y la Punta de Rostrogordo* y sus alrededores. En la facies fotófila (zona superior iluminada) se encuentran en el litoral de Melilla dos especies con altos estatus de protección, los moluscos gasterópodos *Patella ferruginea* y *Dendropoma petraeum*, y en la facies esciáfila (zona de poca luz en la oquedad inferior), otra especie protegida, el coral anaranjado *Astroides calycularis*. Además diversas especies incrustantes o sésiles de líquenes, algas coralináceas, gusanos tubícolas, briozoos coloniales, balánidos..., y otras de vida libre.



Patella y Dendropoma



Astroides

Cubetas (rock pools)

Modelado marino

Origen: Son formaciones litorales asociadas a rasas de abrasión que han experimentado procesos isostáticos ascensionales que las han dejado en disposición supralitoral, evidenciando niveles del mar en tiempos pasados. El hecho es que a estas rasas elevadas sigue llegando la acción del mar a través del oleaje. Los depósitos de agua salada sobre sus superficies propician procesos cársticos de disolución de la roca caliza, produciéndose oquedades donde esa agua queda retenida en mayor o menor medida en función de la cercanía o lejanía de la línea del mar. Esta retención retroalimenta el proceso de disolución dando lugar a pequeñas piscinas de contorno más o menos circular donde la evaporación del agua en periodos largos de calma produce cristalizaciones de sal y donde se instalan interesantes comunidades de algas e invertebrados resistentes a temperaturas y salinidades altas. A veces, el proceso erosivo horada la roca de tal forma que aparecen grietas e incluso sifones que conectan con el mar inferior, sifones por los que se expulsa el agua a grandes alturas los días de temporal.

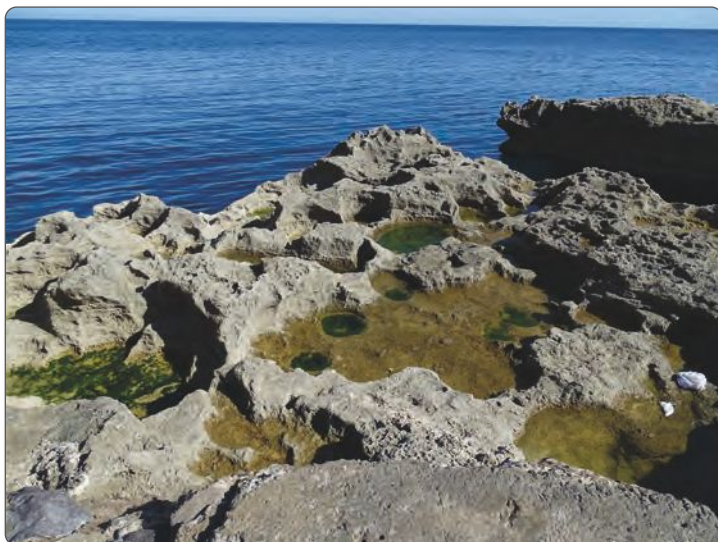


Cubetas circulares

Usos: Estas bellas formaciones litorales que tienen su origen en la acción combinada de la tectónica y el modelado marino concentran un indudable valor paisajístico y constituyen un importante recurso didáctico para la enseñanza globalizada de las Ciencias de la Naturaleza (Biología y Geología) desarrollada "in situ".



Trápana



Cubetas supralitorales en Rostrogordo

Melilla: Al igual que ocurre con las rasas de abrasión del litoral rocoso melillense, las piscinas de roca pueden ser observadas en las calizas arrecifales que constituyen la costa de la Ciudad Vieja, La Alcazaba y sobre todo, por su gran belleza y perfección circular en la Punta de Rostrogordo y su prolongación hacia el sur, donde también se han formado estrechas grietas y sifones.



Grietas y sifones

Calcita mineral

Proceso de cristalización

Origen: La calcita tiene una génesis sedimentaria en dos tipos de procesos: el químico, mediante la evaporación de soluciones ricas en bicarbonato cálcico, o a través de procesos biológicos que dan lugar a conchas y caparazones de organismos acuáticos (calcita organógena).

También aparece en procesos de metamorfismo de contacto, dando lugar a mármoles, o metamorfismo regional que da origen a rocas esquistosas y pizarrosas.

Composición y características: La calcita es un mineral compuesto fundamentalmente de carbonato cálcico (CO_3Ca), del que existen numerosas variedades en cristalización y colorido, en función de las condiciones físico-químicas de su génesis y de las impurezas o sustituciones iónicas del calcio por otros iones divalentes, generalmente hierro, manganeso, pero también bario, zinc, cobalto, estroncio o plomo.

Se trata de un mineral frágil, relativamente blando (3 en la escala de Mohs), de densidad $2,7 \text{ gr/cm}^3$, transparente, de raya blanca y brillo vítreo. El sistema de cristalización es el trigonal, con cristales muchas veces romboédricos que presentan doble refracción, pero otras veces piramidales, trapezoédricos o escalenoédricos.



Cristales romboédricos

Usos: Cuando la pureza en calcita de las rocas calizas supera el 95% y cuando los yacimientos alcanzan dimensiones explotables, se emplea en la elaboración de materiales de construcción (cal, cementos, soleras...). Además, es materia prima para la industria, donde se utiliza como coadyuvante en la fundición de metales, en la producción de plásticos a los que da mayor resistencia y flexibilidad, o en la fabricación de lentes en óptica. También tiene uso agrícola como regulador del pH de los suelos. Y cuando aparece como mármol (metamorfismo de contacto) el valor se multiplica en todo tipo de usos industriales y artísticos.



Trápana



Oquedades en Rostrogordo

Melilla: Cristalizaciones macroscópicas solo se pueden observar en la ciudad asociadas a las calizas arrecifales messinienses de la Ciudad Vieja, La Alcazaba y la Punta de Rostrogordo. Rebuscando en las oquedades que propicia este tipo de roca, junto a fosilizaciones de conchas de moluscos, encontramos bellas mineralizaciones de calcita en forma de agrupaciones de escalenoedros y romboedros, con cristales que pueden llegar el centímetro de tamaño.



Agrupación de escalenoedros

Fósiles en calizas arrecifales

Proceso de fosilización

Origen: Los procesos químicos que de forma más habitual dan lugar a fósiles son las carbonataciones, silicificaciones, piritizaciones, fosfataciones y carbonificaciones que se producen en las partes duras de animales y plantas que, químicamente quedan transformadas: caparazones, conchas, dientes, huesos, troncos, etc, porque las partes blandas son rápidamente consumidas o descompuestas por otros organismos. Pero hay veces en que, raramente, se pueden conservar las partes blandas de los organismos al quedar aislados en medios herméticos como el ámbar o el hielo. También se consideran fósiles los vestigios de su presencia, como los moldes e impresiones de sus esqueletos y de sus actividades biológicas, como las huellas, las heces fecales o los túneles horadados por determinadas especies animales.

Es importante en el proceso de fosilización un enterramiento rápido de los restos que los pongan a salvo de la interacción con agentes físicos y biológicos. Posteriormente, la compactación de los sedimentos, la existencia de procesos orogénicos que los saquen a la luz y la intervención erosiva, harán visibles los fósiles.

Melilla: Aunque en los diversos estratos que forman la serie sedimentaria Messiniense que se puede apreciar en el territorio melillense, se han producido procesos de fosilización, la mayoría de las veces esos fósiles son poco o nada visibles dado el tamaño microscópico de los organismos de los que proceden: foraminíferos, diatomeas...



Huecos cilíndricos de *Porites*



Diversas fosilizaciones: *Balanus*, *Lithophaga*, erizos, bivalvos...

En las calizas arrecifales de la Ciudad Vieja, La Alcazaba y Rostrogordo, y en menor medida en calcarenitas amarillas (asperón), estos fósiles son macroscópicos. Corresponden a impresiones y moldes de conchas de moluscos gasterópodos y bivalvos; más raros los de equinodermos, serpúlidos, balánidos, braquiópodos e, incluso, de vegetales terrestres. Todo ello sobre la matriz de algas coralínáceas y corales, fundamentalmente de la especie *Porites lobatosepta*, cuyos esqueletos desaparecidos han dejado su huella en forma de huecos cilíndricos en la roca.



Dátil de palmera en Rostrogordo



Chlamys sp.

Relieve cárstico

Modelado del paisaje

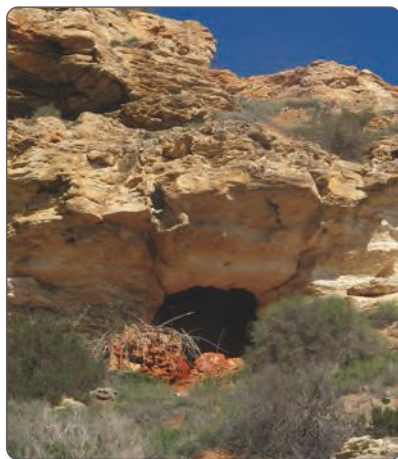
Origen: El relieve cárstico tiene su origen en la disolución del carbonato cálcico (CO_3Ca) de las rocas calizas o dolomíticas, producida por la acción de aguas superficiales y freáticas ligeramente ácidas, enriquecidas en dióxido de carbono. Estas aguas reaccionan con el carbonato, dando bicarbonato soluble. Es el efecto contrario al que se produce en la precipitación iónica que da lugar a espeleotemas (estalactitas, estalagmitas y otras bellas estructuras). En otro tipo de rocas, las evaporíticas como el yeso (SO_4Ca), también se dan relieves cársticos, aunque en este caso no se precisa de aguas ácidas.

El hecho, en ambos casos, es que las aguas al disolver la roca van dando lugar a galerías, cuevas y otra serie de estructuras conocidas con sugerentes nombres: dolinas, sumideros, galerías, chimeneas, cañones, lapiazes, poljés...

Usos: Es indudable el uso didáctico que encierran estas ilustrativas formaciones cársticas, y no solo en las disciplinas geológicas, también en las dirigidas al estudio de la Prehistoria, no en vano en cuevas y abrigos cársticos encontraba el hombre habitación, refugio y agua. Por otro lado, el atractivo turístico de muchas de estas formaciones es innegable. Pensemos, sin salir de Andalucía, en la Cueva de Nerja (Málaga), la gruta de las Maravillas en Aracena (Huelva), los karts de yeso de Sorbas (Almería), o en el impresionante modelado paisajístico de El Torcal de Antequera (Málaga).



Rostrogordo



Surgencias de galerías cársticas

Melilla: La mejor expresión la encontramos en la carretera de bajada a la Punta de Rostrogordo, donde aparece una especie de abrigo protegido por la cornisa superior y la entrada a una cueva que en su techo comunica con la dolina abierta en la calcreta de la llanura superior (campo de tiro). Además encontramos otras formaciones, a modo de silos, rellenos de *terra rossa*, como se aprecia en la ficha 12, dedicada a este tipo de arcilla.

En el encajamiento del Nano próximo a Mariguari también se aprecia el relieve cárstico en la marcada zona de contacto entre las calcretas superiores y las calcarenitas inferiores, dando lugar a cornisas, abrigos y surgencias de aguas subterráneas.



Zona sur del barranco del Nano

Asperón (areniscas amarillas)

Sedimentaria detrítica

Origen: Las areniscas son rocas detríticas de grano fino o medianamente grueso (más del 50% de arenas con tamaño de grano entre 0,063 y 2 mm) provenientes de rocas preexistentes de diversa naturaleza que han experimentado procesos externos: erosión, transporte, sedimentación y compactación.

Composición: A pesar de un predominio arenisco, cohabitan en el asperón componentes calizos, arcillitas y limolitas donde la sílice abunda como material cementante. A veces se observan otros materiales de grano más grueso, lo cual le proporciona aspecto de conglomerado: brechas o pudingas, e impresiones fósiles, especialmente de bivalvos.

Usos: Aunque de una textura claramente deleznable, ante la escasez de otros materiales más compactos y con menos capacidad de hidratación, en Melilla se usó de forma abundante en la construcción de las murallas de los recintos de la Ciudad Vieja y en el caserío de la Melilla moderna.

Cuando alcanza mayores compactaciones se ha empleado como piedra de amolar o afilar. Y por su carácter áspero también se usó, en épocas de escasez, como material de limpieza doméstica (lavavajillas).



Amplio estrato con erosión laminar



ZEC de Aguadú



Punta de Rostrogordo

Melilla: En la serie sedimentaria miocénica (Messiniense) entre las dos fases de calcarenitas blanquecinas aparece el estrato detrítico intermedio de gran potencia (30–40 m en los acantilados del norte y cada vez menos hacia el sur). Fueron unos 150.000 años de sedimentación del denominado localmente asperón (arenisca o calcarenita amarillenta). En la carretera de bajada a la punta de Rostrogordo es donde alcanza más potencia y bellas manifestaciones estratigráficas: convulsiones sísmicas (paleosismitas) y erosiones laminares. Dentro del Cementerio de la Purísima nos muestran bonitas estratificaciones cruzadas. Y en el encajamiento del Nano cerca de Mariguari, expresiones del relieve cárstico superior con cuevas y oquedades por las que fluyen las aguas de lluvia.

También es visible el estrato de asperón en puntos donde el avance urbanístico lo permite de las laderas de los cegados arroyos de la vertiente izquierda del valle del Oro, como ocurre en la Cañada del Carmen entre la zona alta de Ataque Seco y el monte M^a Cristina, donde existieron las denominadas canteras del Carmen. O en los barrancos que escoltan la barriada de Cabrerizas.



Barranco de Cabrerizas



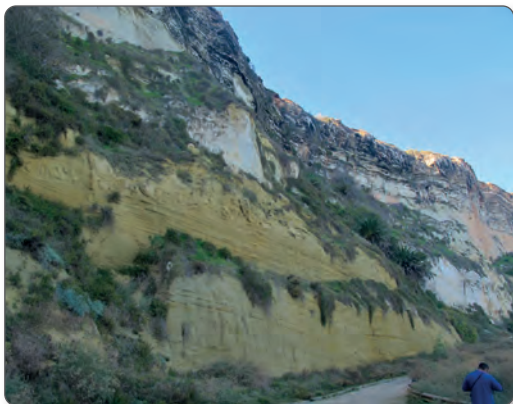
Erosión eólica en el Nano

Origen: La orogenia alpina se asocia al Cenozoico, así que toda la historia geológica que se puede descubrir a través de las rocas en el territorio melillense, del Mioceno a la actualidad, transcurre en una fase turbulenta desde el punto de vista orogénico, fase que aún continúa y que se manifiesta en el vulcanismo y la actividad sísmica propiciados por el choque de las placas tectónicas africana y euroasiática.

Las paleosismitas constituyen una prueba de terremotos que produjeron deformaciones, micropliegues y microfallas en los estratos sedimentarios marinos, frágiles y dúctiles durante el proceso de compactación. Alteraciones que hoy en día podemos observar especialmente en la serie sedimentaria de los acantilados de Melilla.

Usos: Además del incuestionable uso didáctico, con el estudio de las paleosismitas se pueden sacar datos sobre la edad de los sedimentos, así como de sus grados de maleabilidad, e incluso pueden servir como medidores de la intensidad de los movimientos sísmicos.

Melilla: Parece estar claro que las deformaciones, convulsiones onduladas y circulares, que se pueden observar en las calcarenitas amarillas (asperón) hacia la mitad de la carretera de bajada a la Punta de Rostrogordo, responden al concepto de paleosismitas. También las encontramos en el mismo estrato de asperón de la ZEC de Aguadú, siendo bien visibles desde la carretera de vigilancia migratoria, que lleva desde la desalinizadora hasta la valla fronteriza.



En el asperón de los acantilados



Carretera de bajada a la punta de Rostrogordo



ZEC de Aguadú

Otras posibles paleosismitas aparecen en las calcarenitas blancas de la parte baja de los acantilados en la playa de Horcas Coloradas afectadas por el proceso de rubefacción por la *terra rossa* (Ficha 36). Y quizás también respondan a la influencia de movimientos sísmicos los micropliegues que aparecen en la parte alta de los acantilados en las capas de calizas desestructuradas por debajo del estrato de calcretas.



Playa de Horcas Coloradas



Ondulaciones en calizas

Cineritas o tobas cineríticas

Ígnea volcánica

Origen: Roca extrusiva formada por las cenizas de una erupción volcánica terrestre o submarina. En función del tamaño de grano y de su peso, se elevan a mayor o menos altura, sedimentando y compactando posteriormente, a veces lejos del punto de emisión. Influyen en ese último proceso de litificación diversos parámetros físico-químicos, especialmente la presión ejercida por la superposición de sucesivos depósitos sedimentarios.

Composición: Básica, con una gran variedad mineralógica, predominando la plagioclasa cálcica, el piroxeno (augita) y el olivino.

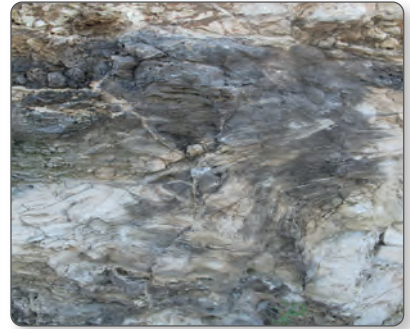
Usos: Por el carácter abrasivo y friccionante que le proporciona una fractura irregular y cortante, las tobas cineríticas y también los basaltos vacuolares, han sido utilizados tradicionalmente para la construcción de molinos rotatorios manuales en geografías volcánicas y economías cerealistas. Y cuando el nivel de compactación es adecuado se ha utilizado como material de construcción.



Tobas soldadas



Junto al Centro Penitenciario



Estructura laminadas con volutas

Melilla: De finales del Mioceno, las cineritas de la zona norte, de origen submarino, forman estratos por debajo de la costra de calcreta cuaternaria, a veces alternantes con otros de materiales detríticos calcáreos. Son observables en los acantilados marinos de Aguadú, y allí donde la erosión fluvial ha originado taludes naturales (barrancos como los del Nano y del Quemadero). Pero donde resultan espectaculares y más accesibles visualmente es donde el hombre ha abierto carreteras (talud de la bajada a la punta de Rostrogordo o también en los alrededores del Centro Penitenciario y el Helipuerto, junto a la entrada al Cuartel del Polvorín.

A veces las encontramos con alta compactación y estructuras laminadas o convulsionadas con color negro-grisáceo (tobas soldadas), y otras meteorizadas y erosionadas, con colores más claros y fácilmente disgregables.



Estratos de cineritas en los acantilados



Intercaladas entre calizas

Espeleotemas secundarios

Sedimentaria química

Origen y Composición: Cuando el agua se filtra a través de grietas del suelo puede disolver ciertas sales como la calcita y el aragonito (CO_3Ca), y el yeso (SO_4Ca). Al llegar la disolución a una oquedad llena de aire disminuye la capacidad del agua para mantener estos minerales en disolución, los cuales van precipitando lentamente al ir liberándose anhídrido carbónico (CO). Así se forman los espeleotemas secundarios a través de cientos y miles de años. Estas formaciones no solo pueden formarse en regiones con relieve cárstico sino también en zonas volcánicas como ocurre en este ejemplo melillense, e incluso en otras cavidades artificiales creadas por el hombre.

Tipos: Las estalactitas se forman en los techos de pequeñas cavidades o cuevas por la precipitaciones de iones disueltos que son transportados por las aguas mineralizadas que se filtran a través de las rocas, generalmente calizas. Las estalagmitas, por su parte, se forman por la caliza disuelta en las gotas de agua que caen al suelo. La unión, tras el crecimiento de ambos depósitos puede dar lugar a formaciones columnares y otras con morfologías variadas y caprichosas.

Usos. Turístico: Ejemplos impresionantes de estas formaciones las encontramos en la Cueva de Nerja (Málaga) y en la Gruta de las Maravillas en Aracena (Huelva). Científico: Son formaciones ideales para el estudio de evoluciones climáticas a través del tiempo, especialmente el cuaternario, utilizando técnicas de datación con elementos radiactivos.



Carretera de bajada a la punta de Rostrogordo

Melilla: Los únicos ejemplos los encontramos en el corte de la carretera de bajada a la punta de Rostrogordo, donde se localizan pequeñas oquedades en el estrato de cineritas volcánicas situado bajo la calcreta cuaternaria. En estas pequeñas oquedades de no más de 15-20 cm de amplitud se pueden observar una buena diversidad de formaciones tipo estalactitas-estalagmitas, columnas, coraloides, coladas, pisolitas...



Diversas morfologías de espeleotemas

Origen: Precipitación química, por evaporación, de iones disueltos procedentes de rocas calizas continentales preexistentes. Cuando las aguas subterráneas fluyen hacia la superficie debido al aumento de temperatura y la disminución de la presión, las rocas y sedimentos actúan como filtro convirtiendo el bicarbonato cálcico en carbonato. El resultado es la formación de una costra o "caliche" superficial de tonos blanquecinos o beige, frecuentemente con oquedades, formada verticalmente por sucesivas capas de depósitos. Esta roca se asocia al clima mediterráneo semiárido.

Composición: Carbonato cálcico (CO_3Ca), a veces con otros iones metálicos que le dan aspecto de bandas coloreadas.

Usos: Meteorizada y erosionada da lugar a suelos (calcisoles pétricos) con excelentes cualidades agrícolas, de los que hay que eliminar las costras rocosas. Muy utilizada en construcción, en nuestra ciudad se empleó a principios del siglo XX en los muros de edificios, destacando el Panteón de los Héroes de las Campañas del cementerio de la Purísima Concepción.



Bajada a Rostrogordo



Estructura interna

Melilla: La calcreta melillense que por su alta compactación se asocia al concepto de travertino, constituye el estrato más superficial, cuaternario, de la serie sedimentaria de la zona norte de la Ciudad Autónoma (Rostrogordo, zonas altas de la vertiente izquierda del barranco del Nano, Cabrerizas, Ataque Seco, Purísima Concepción...

Donde mejor se observa es en los cortes del inicio de la carretera de bajada a la punta de Rostrogordo, donde el estrato alcanza espesores de varios metros, o formando placas erosionadas sobre el suelo de los pinares de Rostrogordo y alrededores. En el corte de la carretera se observa su estructura interna formada por hileras blancas calcáreas alternadas con zonas rojizas detríticas.

Se sitúa sobre un estrato inferior de calcarenitas blancas o bien sobre los depósitos de cineritas marinas del terciario melillense.



Placa superficial



Erosionada

Terra rossa

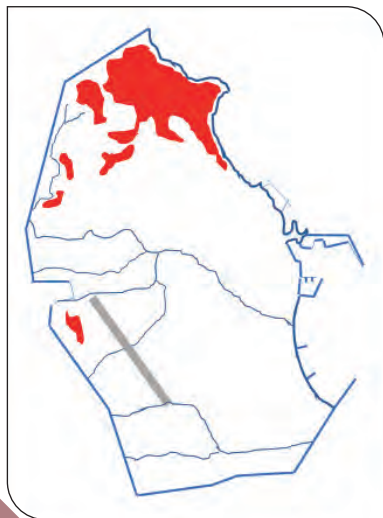
Sedimentaria química

Origen: Arcilla rojiza que queda como depósito residual al producirse la descalcificación de las rocas calizas y margosas (lavado o lixiviación). Estas rocas son atacadas por las aguas de lluvia ligeramente aciduladas y por las aguas freáticas. Se encuentra especialmente en los paisajes cársticos, típicamente en regiones de clima mediterráneo donde forma suelos denominados rendzinas rojas.

Otra hipótesis ve los orígenes de estos suelos rojos mediterráneos en las aportaciones eólicas alóctonas, concretamente de los desiertos africanos (Sahara y Sahel).

Composición: Sílice y óxidos de aluminio, hierro, magnesio... que le dan el atrayente color rojizo.

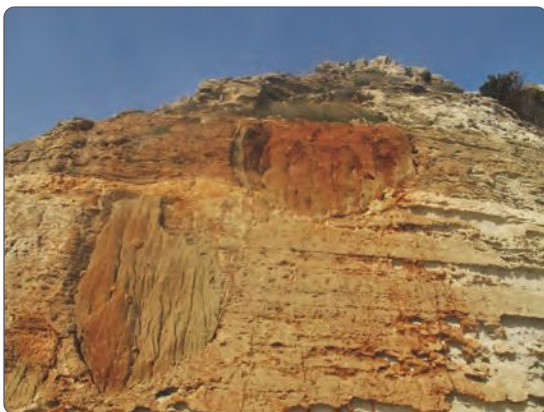
Usos: Explotada en minería por su alto contenido en hierro y magnesio. Y por unas características de drenaje sorprendentemente buenas, aunque de reducida fertilidad, es un tipo de suelo excelente para el cultivo de la vid y otras especies agrícolas.



Suelo rojo



Rellenando grietas



Simas rellenas de *terra rossa*



Rubefacción

Melilla: La encontramos en la zona norte de la ciudad: meseta de Rostrogordo, donde superficialmente aparece el caliche de calcretas, formación cuaternaria, que ha experimentado procesos cársticos. En superficie ocupa las discontinuidades y hondonadas que se presentan en las placas de calcreta, donde se acumula el agua de lluvia, pero los depósitos más espectaculares nos lo proporciona el corte de la carretera de bajada a la punta de Rostrogordo, con bellas dolinas y simas rellenas de estos depósitos arcillosos. En otros lugares, la *terra rossa* se filtra por los resquicios de las calcarenitas inferiores dando lugar al proceso de rubefacción (Ficha 36), como se muestra bellamente en los acantilados de la playa de Horcas Coloradas.



Corte de una chimenea cárstica

Erosión eólica

Modelado del paisaje

Origen: La erosión eólica es la producida por la fuerza del viento mediante tres procesos consecutivos: a) la deflación o levantamiento del suelo de los granos de limo, arena e, incluso de gravas, b) el transporte aéreo de esas partículas y c) la abrasión producida por estos elementos cortantes que provoca desgastes en rocas compactas.

Los factores que fundamentalmente influyen en la velocidad de la erosión eólica son: a) meteorológicos y climáticos: lluvias, temperaturas, fuerza de los vientos y humedad relativa del aire, b) la textura, estructura y estabilidad de la roca a erosionar, c) la rugosidad de las superficies, que es inversamente proporcional a la erosión, d) la exposición del paisaje a la dirección y reforzamiento de los vientos y e) la presencia o no de vegetación, la cual actúa como protección al absorber gran parte de la energía eólica.



Erosiones laminares en areniscas



Cineritas en Rostrogordo



Grandes oquedades en el valle del Nano

Melilla: En los acantilados marinos el viento de levante se refuerza al encontrar la pantalla adecuada. En la base actúa fuertemente la erosión marina, pero en los estratos medios y superiores se manifiestan formas típicas de la eólica, entre las que destacan erosiones alveolares y laminares en las calcarenitas y más enrevesadas, en "nidos de abejas", en las cineritas.

En los barrancos como el Nano, donde se canaliza el viento, los estratos de las calcarenitas blancas más blandas muestran grandes oquedades y abrigos que resaltan diferencialmente. En la carretera de circunvalación, en las empinadas zonas del norte, vemos bonitas formas laminares, y en el sur de esa misma carretera, formaciones laberínticas en las tobas volcánicas.



"Nidos de abejas" en diversas rocas

Calcarenitas blancas

Sedimentaria detrítica

Origen: Estratos miocénicos (Messiniense) originados por meteorización y erosión de rocas preexistentes de la península de Tres Forcas, cuyas partículas son transportadas a la cuenca sedimentaria marina Melilla-Nador, con facies marinas someras (plataforma) de alta hidrodinamia.

Composición: Roca detrítica consolidada formada por arenas (arenisca) cuyo tamaño de grano oscila entre 0,062 y 2 mm. En Melilla, las areniscas responden al concepto de calcarenitas porque tanto sus granos como el cemento que los une tienen una composición carbonatada, al proceder de la erosión de rocas calizas.

Usos: Cuando se encuentran bien compactadas, las calcarenitas carbonatadas se han explotado desde tiempos antiguos como material de construcción. En las murallas de los recintos exteriores de Melilla la Vieja es fácil observar sillares de calcarenitas, tanto blancas como amarillas, junto a los más resistentes de calizas arrecifales.



Playa de Horcas Coloradas



Bajo la Muralla Real

Melilla: Las calcarenitas blanquecinas responden en Melilla a dos fases discontinuas del Messiniense. La primera de 6,1 a 6 Ma y la segunda de 5,85 a 5,77 Ma.

Las más antiguas se sitúan por encima de las calizas arrecifales y las podemos ver con toda claridad y potencia en la Ciudad Vieja (en la ensenada de los Galápagos con espectaculares estratificaciones cruzadas), la Alcazaba, o en la playa de Horcas Coloradas (con el bello fenómeno de rubefacción producido por la lixiviación de la *terra rossa* de la meseta superior).

Las más modernas, enmarcadas por el amplio estrato de asperón en su parte baja y por la calcreta superior, siendo visibles tanto en los acantilados de la costa norte como en diversas zonas del interior donde muestran distintas manifestaciones: playas fósiles donde se aprecian marcas rizadas (*ripple marks*), calizas estromatolíticas, pudingas en el encajamiento del Nano y loma de Palma Santa, o estratificaciones cruzadas y espectaculares erosiones laminares en la zona norte de la carretera de circunvalación.



Pudinga



Circunvalación norte



Rubefacción



Con cantos rodados y rizaduras

Playas fósiles

Sedimentaria detrítica

Origen: Las playas fósiles o paleoplayas tienen su origen en depósitos sedimentarios costeros que por reajustes isostáticos han experimentado levantamientos o hundimientos tectónicos. Estas formaciones pueden aparecer colgadas o sumergidas sobre la línea de costa actual o en regiones interiores más o menos alejadas del mar y a distintas altitudes. Junto a los levantamientos tectónicos también influyen en su génesis, a veces de forma simultánea, los descensos y ascensos del nivel del mar que se producen en épocas de glaciaciones y períodos interglaciares.

Características: La matriz suele estar formada por areniscas o calizas, dando lugar a veces a conglomerados tipo puddinga con clastos rodados. Las playas fósiles son fáciles de reconocer en los afloramientos por la presencia de fósiles de organismos marinos (estromatolitos, tubícolas, moluscos, algas coralináceas...) o por algunas manifestaciones sedimentarias que quedan reflejadas, tras el proceso de litificación, como las típicas rizaduras (*ripple-marks*), de interés paleogeográfico para descubrir la dirección las corrientes en el momento de su formación.



Cerro de Palma Santa con rizaduras y clastos rodados

Melilla: En la serie sedimentaria Messiniense que aparece en la cuenca sedimentaria Melilla-Nador, exceptuando el estrato más bajo, arrecifal (calizas arrecifales), y el más alto evaporítico (calcretas), los estratos intermedios representan facies deltaicas o de plataforma somera. Así aparecen paleoplayas con las ya comentadas fosilizaciones, generalmente moldes de conchas de bivalvos, rizaduras y acúmulos de gravas y cantos de sedimentación marina. Estas playas fósiles son observables, sobre todo, en las areniscas blancas de buena parte del barranco y la hoz del Nano, y también en el cerro de la Palma Santa, al otro lado de la carretera de circunvalación entre los ríos Farhana y Oro.



Marcas rizadas en el Nano y en Palma Santa



Clastos aplanados



Pudinga en la hoz del Nano

Origen: Al elevarse un relieve por reajustes isostáticos o por sufrir procesos de basculamiento, las redes fluviales de la región sufren cambios progresivos y adaptativos a la nueva situación. Esto se manifiesta, sobre todo, en cambios direccionales en los flujos de las aguas y en manifestaciones erosivas más drásticas, como se puede apreciar en los encajamientos fluviales, que intentan compensar los efectos geodinámicos internos.

Melilla: Esto ocurre con el levantamiento que se ha ido produciendo de forma relativamente rápida en la zona norte y en los acantilados de Melilla, lo cual sumado al basculamiento general hacia el sur de ese relieve, provocó que los ríos tributarios del río de Oro en su vertiente izquierda, que discurrían por la meseta de la parte sur de Tres Forcas se vieran obligados, por muy cerca del litoral que tuvieran su nacimiento, a discurrir hacia el sur horadando el relieve en profundidad.

Lo descrito dio lugar en la región de Melilla a profundos y estrechos valles y a meandros encajados, como los que muestra el arroyo Tigorfaten en territorio marroquí y el Nano, este último ya en territorio melillense. En este último caso destaca la bella hoz que forma este arroyo antes de desembocar en el río de Oro. Aquí, en la pared vertical de la hoz el Instituto Geológico y Minero de España (2013), describe la probable única falla visible dentro de los límites de la ciudad, de unos 15 m de salto que se observa en el estrato de calcarenitas blancas.



La Hoz del Nano



La cresta de la hoz: salto de falla

Usos: Estos paisajes, con origen geodinámico interno, modelados posteriormente por los agentes externos, suelen estar protegidos y son atractivos para un turismo enraizado en la Naturaleza y para seres vivos, como ocurre con las especies de grandes aves, que encuentran en sus paredes verticales hábitats-refugio que los hace menos vulnerables ante el influjo humano. Pensemos, dentro de España, en los Parques Naturales de las Hoces del Cabriel (Cuenca) y del Duratón (Segovia) o en los Arribes del Duero, entre Salamanca-Zamora y Portugal.

La Unión Europea declaró Zona de Especial Conservación (ZEC ES6320002) el Barranco del Nano en el año 2013 y actualmente hay una ruta senderista que lleva desde la parte baja hasta los Pinares de Rostrogordo a través de todo el valle, donde se pueden observar especies mediterráneas autóctonas y endemismos norteafricanos que la hacen especialmente interesante.



El profundo valle del Nano

Fósiles de estromatolitos

Sedimentaria biogénica

Origen: Los estromatolitos son estructuras rocosas carbonatadas que tienen su origen en primitivos organismos procariotas (cianobacterias fotosintéticas). En el proceso de fotosíntesis estas bacterias captan dióxido de carbono atmosférico que da lugar a carbonatos, mayoritariamente cálcicos, y liberan oxígeno.

Estas bioconstrucciones, columnares o doliformes, han ido creciendo en altura formando estructuras laminares muy finas que atrapan los lodos por su alta porosidad, permaneciendo viva solo la capa más superficial en un proceso semejante al del crecimiento de los arrecifes coralinos.

Los procariotas (Reino Monera) al estar en el origen de los seres vivos nos proporcionan formas fósiles de todas las eras geológicas, desde tiempos precámbricos. Los más antiguos proceden de Groenlandia (3700 Ma).

Actualmente siguen formándose estromatolitos en mares someros cálidos de diversas partes del mundo (México, Brasil, Chile, Bahamas, mar Rojo...), con una morfología muy semejante a la de los más primitivos (evolución conservadora).



Calizas estromatolítica en finas capas



Talud del camino de carros



Estromatolitos doliformes

Melilla: En las etapas finales del Messiniense, por encima de los estratos de areniscas blancas y por debajo de la costra cuaternaria superficial, encontramos de forma dispersa en Melilla capas irregulares de poca potencia de calizas laminadas o tableadas. En las de láminas más finas suelen aparecer clinoformas ondulantes de origen marino y, en una zona muy concreta fosilizaciones de estromatolitos. Se trata del talud vertical creado en la construcción de la denominada "pista de carros", en la cresta de la hoz que el Nano forma cerca de Mariguari.

Son formaciones doliformes (forma de tonel o ánfora panzuda), donde se puede apreciar, en las mejor conservadas, una fina corteza calcárea que envuelve un interior donde se descubre la textura porosa granulada de las capas bacterianas.



Interior poroso



Corteza lisa

Calizas tableadas

Sedimentaria detrítica

Origen: Las calizas son rocas detríticas o evaporíticas compuestas por altos porcentajes de carbonato cálcico, siempre por encima del 50%. Se les aplica el calificativo de tableadas cuando en el proceso de diagénesis forma estratos a modo de tabloncillos más o menos gruesos superpuestos paralelamente. Muchas veces presentan un alto contenido procedente de conchas y caparazones de organismos marinos, denominándose las calizas conchíferas o fosilíferas.

De color más blanquecino cuanto mayor es su pureza en carbonato cálcico, generalmente presenta coloridos diversos (rojizos, pardos, grisáceos...) en función de las oxidaciones metálicas (hierro, manganeso...) y de los componentes arcillosos que presente. Del mismo modo aparece una gran diversidad de calizas caracterizadas por el tamaño de grano y el grado de compactación.

Usos: Ampliamente utilizada en la construcción, siempre en función de sus propiedades físicas, para el levantamiento de muros, revestimientos y solerías. Además constituye la materia prima para la obtención de cal. También se usa en la industria metalúrgica como coadyuvante de la fundición de metales y cuando es de grano muy fino en la fabricación de vidrio.



Carretera de la Legión a Reina Regente



Parte alta carretera de bajada a la punta de Rostrogordo

Melilla: Todas las calizas tableadas que se pueden encontrar en nuestra ciudad responden a un mismo período cronológico: fines del Messiniense, que en la serie sedimentaria se sitúa entre las calcarenitas blancas y la calcreta cuaternaria de la superficie. Se trata de una fase de inestabilidad sedimentaria donde se da una alta heterogeneidad en los depósitos, apareciendo junto a este tipo de calizas otras: estromatolíticas por la presencia de esqueletos de estos organismos marinos, y oolíticas, formado por pequeños núcleos detríticos alrededor de los que se van formando capas concéntricas de carbonato cálcico.

Otras veces en calizas tableadas de estratos más finos se aprecian clinoformas ondulantes originadas por movimientos marinos.

En la carretera de bajada a la punta de Rostrogordo y en otros taludes de la zona norte, se pueden observar este tipo morfológico de calizas.



En la pista de carros



Con pliegues ondulados

Arcillas/Arcillitas

Sedimentaria detrítica

Origen: Roca sedimentaria procedente de rocas preexistentes que han sufrido procesos de meteorización física y química y que están constituidas por un tamaño de grano inferior a 3,9 micras. Si el grano permanece suelto se emplea el término arcillas y si se ha experimentado un cierto grado de compactación el de arcillitas. Se consideran los productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio externo se alteran.

Cuando se localizan en el mismo lugar donde se originaron se habla de arcillas primarias y si han sido transportadas y sedimentadas por agentes externos más o menos alejadas de su lugar de origen, estamos ante las arcillas secundarias.

En función de la roca primigenia así serán sus composiciones mineralógicas, pero con una característica que las unifica al tratarse de silicatos aluminicos hidratados, mayoritariamente caolín, que le confieren sus genuinas plasticidad y untuosidad.

Usos: Uno de los avances que caracterizaron a la revolución neolítica, en el octavo milenio a. C., fue el empleo de las arcillas endurecidas por el fuego para fabricar las primeras piezas de cerámica: todo tipo de instrumentos, vasijas, ladrillos, adornos. En la actualidad las utilidades industriales y agrícolas de las arcillas se han diversificado hacia la fabricación de productos cosméticos, farmacéuticos, cementos, pesticidas, abonos, alimentos para el ganado, vidrios, etc.



Reina Regente (Cañada)



Caolín en Palma Santa



Paleosuelo de arcillas rojas

Melilla: En la ficha 12 de esta obra se recogen las arcillas rojas (*terra rossa* mediterránea) que forman los suelos de la parte norte del territorio melillense y que derivan de la descomposición de las calcretas cuaternarias que cierran la serie sedimentaria. Estas arcillas, además, las encontramos en forma de paleosuelos intercaladas en los estratos finales de esa serie, siendo bien observables en la carretera de la Vía Láctea, bajada desde la Legión al barrio de Reina Regente (Cañada).

También hay lugares donde se presentan arcillas blancas, tipo caolín, que proceden en algunos casos de la meteorización de las calcarenitas blancas basales a las calcretas (taludes de la carretera de circunvalación en su parte norte, alrededores de la entrada al Cuartel del Polvorín, barrio Reina Regente) y en otros casos de las andesitas piroxénicas del sur y del este, que podemos ver, entre otros lugares, en el cerro de Palma Santa, cerca de la frontera de Farhana.



Erosión eólica alveolar



Arcilla cuarteada

Obsidiana

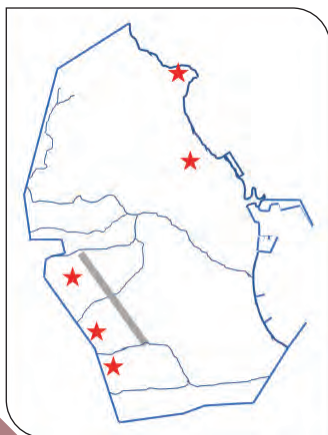
Ígnea volcánica

Origen: Las obsidianas se originan en los márgenes de las lavas expelidas por los volcanes, cuando estas se enfrían de manera brusca. El resultado es una mezcla de materia amorfa sin estructuras cristalinas organizadas, dura, frágil y con fractura denominada concoidea que le proporciona aristas con bordes agudos.

Aunque se las asocia mayoritariamente a magmas ácidos que dan lugar a granitos y riolitas, también se pueden formar en emisiones intermedias y básicas (basaltos).

Usos: Por el tipo de fractura y su dureza, cercana a 7 en la escala de Mohs, la obsidiana desde la prehistoria ha sido usada, como el sílex, para la fabricación de instrumentos como puntas de flechas, cuchillos, raspadores, raederas, etc. Incluso en la actualidad se sigue usando la obsidiana en bisturís quirúrgicos.

Por la belleza de su brillo vítreo, en la creación de obras artísticas desde las civilizaciones antiguas (Egipto, México, Islas de Pascua...) hasta la actualidad donde es muy apreciada como materia prima para la fabricación de joyas.



Fragmentos entre sedimentos

Melilla: Encontramos obsidianas en algunas de las zonas donde se encuentran rocas volcánicas, basaltos y andesitas, pero sobre todo tobas cineríticas o brechoides. También entre las rocas sedimentarias intercaladas entre ellas, es posible localizar incrustaciones de vidrios volcánicos tipo obsidianas, en general mal formadas, de color negro brillante o más raras de color verdoso o dorado.

Su localización es complicada pero si la búsqueda es minuciosa da sus frutos en las cineritas del inicio de la carretera de bajada a la punta de Rostrogordo, en los alrededores del cerro donde se localiza el Fuerte de la Purísima (cantera y carretera de circunvalación), en los taludes de los primeros kilómetros de esa misma carretera y en la que rodean el Centro Penitenciario.

Más abundantes y mejor formadas son las obsidianas que se encuentran entre las riolitas de la zona apical volcánica del cabo de Tres Forcas.



Junto al muro del Centro Penitenciario



De color dorado



Brechoides en tobas

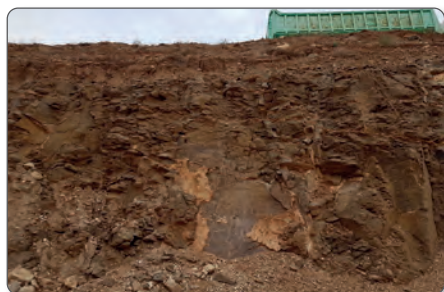
Andesitas piroxénicas

Ígnea Volcánica

Origen: Roca ígnea extrusiva de la fase central miocénica del vulcanismo del macizo del Gurugú (finales del Tortonienense y Messiniense, 8-6 Ma), con textura porfídica, gran homogeneidad y dureza, y color grisáceo salpicado de abundantes pequeños cristales blancos de piroxeno.

Composición: Roca intermedia de la serie calcoalcalina rica en K, con piroxenos (augita), otros minerales ferromagnesianos (biotita, hornblenda, magnetita), y feldespatos de plagioclasas (labradorita, andesina).

Usos: Se utiliza en construcción por su alta dureza y resistencia a la meteorización (carreteras, vías férreas, diques y escolleras portuarias, adoquines, baldosas, gravas...). Muchas veces se presenta en forma de placas horizontales lisas lo que la hace idónea para su uso en solerías urbanas. También como material artístico desde la Antigüedad (esculturas).



Cerro Purísima Concepción



Escollera del Dique Sur



Textura porfídica



Bloques y caolín en Palma Santa



Circunvalación km 3

Melilla: Se localiza en los Altos del Real; en taludes de la carretera de circunvalación en su parte sureste (kilómetros 2 y 3) formando estructuras aplanadas que a veces coexisten con núcleos de sílex; en las antiguas canteras de la parte alta del cerro de la Purísima; y en el Barrio Chino. Más al norte entre los ríos Farhana y Oro, en el cerro de Palma Santa, aquí en forma de gruesos bloques redondeados y en distintas fases de degradación que dan lugar a arcillas blanquecinas (caolín). Y finalmente en forma de grandes cantos arrastrados en los cauces de los arroyos que bajan del cercano Gurugú.

En buena parte la Melilla moderna se construyó y sigue construyéndose con andesitas y basaltos del macizo del Gurugú, como es el caso del antiguo cargadero de Mineral, diques portuarios (Dique Sur), muros, solería de parques, bordillos y adoquines de calles, etc.



Circunvalación (km 2)

Basaltos olivínicos

Ígnea volcánica

Origen: Roca extrusiva de color negro o gris oscuro mate, rojiza tras alteraciones que sacan a la luz la abundancia de ferromagnesianos. Sin apenas mineralizaciones observables a simple vista y muchas veces con presencia de vacuolas originadas por el escape de gases en el momento de la erupción. En estas oquedades pueden encontrarse depósitos secundarios de calcita producidos por filtraciones acuosas

Composición: Básica, alrededor del 50% sílice, con plagioclasas ricas en calcio, anfíboles, piroxenos y olivino.

Usos: Desde la Antigüedad se ha empleado en construcción, por su alta dureza (5 a 6,5 en la escala de Mohs) y resistencia a la meteorización (carreteras, vías férreas, muros, baldosas, gravas...). También como material artístico (esculturas).

En Melilla su uso ha sido, junto con la otra roca mayoritariamente constitutiva del Macizo del Gurugú, la andesita, habitual para muros, bordillos y adoquines de calles, escolleras y diques portuarios...



Antigua cantera del cerro de la Purísima



Basaltos vacuolares

Melilla: Por toda la zona suroeste del territorio melillense (estribaciones del macizo del Gurugú), superpuesto a franjas de andesitas, tobas, brechas y por debajo de sedimentos cuaternarios (arcillas volcánicas rojas): altos del Real, Purísima, barrio Chino, circunvalación. En algunas de esas zonas se encuentran, a veces, basaltos vítreos próximos a obsidianas, con cierto brillo metálico, siempre sin fenocristales macroscópicos. En los cauces de los arroyos que bajan del cercano Macizo del Gurugú, así como en los taludes de las terrazas fluviales que los enmarcan, se pueden observar grandes cantos rodados de hasta 1 m de diámetro, junto a otros materiales, como andesitas y sílex.



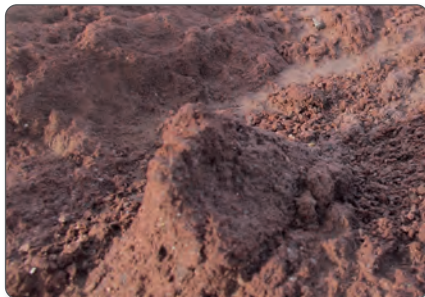
Carretera de circunvalación



Bloques en terraza fluvial



Entre arcillas rojas



Color rojizo por meteorización

Tobas brechoides

Ígnea volcánica

Origen: Roca ígnea extrusiva formada por el depósito, acumulación y compactación de cenizas y pequeños piroclastos volcánicos de hasta 6 cm (lapilli), expulsados durante una erupción volcánica más o menos violenta. Se diferencia de las tobas cineríticas en que da lugar a una roca granulosa más deleznable y porosa que toma aspecto de brecha, nunca laminada ni tan compacta.

Composición: El cemento, los granos y los pequeños piroclastos que conforman este tipo de tobas pueden ser cristales, vídrios o cenizas de una gran variedad de silicatos: plagioclasas, piroxenos, micas (biotita y moscovita), cuarzo, obsidiana, leucita...

Usos: Descompuesta en sus unidades piroclásticas este tipo de toba se ha empleado tradicionalmente en construcción. Por su porosidad y riqueza mineral se usa en agricultura, disgregada, como aporte que mejora los suelos en permeabilidad y en nutrientes. Y también se utiliza, por su original aspecto y textura, como elemento ornamental en el diseño de parterres en jardines urbanos.



Con clastos de obsidiana



Carretera de circunvalación

Melilla: Son las rocas volcánicas de más importante presencia en el territorio de la Ciudad Autónoma, mayoritariamente en la zona sur y suroeste. A veces en la superficie, donde se pueden observar claramente en los taludes de la carretera de circunvalación entre los kilómetros 2 y 4, con estratos de varios metros de potencia, siempre asociadas a otros tipos de rocas volcánicas (andesitas y basaltos) a las que se superponen. Otras veces intercaladas con materiales sedimentarios anteriores y posteriores arrastrados desde las laderas del Gurugú, o con finas costras calcáreas. También se localizan en la carretera que va desde el Centro Penitenciario y el Helipuerto hacia la entrada del cuartel del Polvorín.



Tobas bajo calcretas junto al Centro Penitenciario

Erosión por aguas superficiales

Modelado del paisaje

Origen: Las aguas que corren superficialmente por la corteza terrestre, que proceden fundamentalmente de las precipitaciones en forma de lluvia o nieve, modelan el paisaje y erosionan las rocas según patrones específicos según se trate de aguas de escorrentía que fluyen por el terreno sin cauces fijos ni visibles, o de las que se presentan formando torrentes, arroyos, riachuelos o verdaderos ríos. En ambos casos erosionan el terreno en función del caudal (volumen/tiempo), la inclinación del terreno (velocidad), y de la composición mineralógica, la textura y la estructura de la roca. Otro factor a tener en cuenta, con base en la climatología, es la presencia o ausencia de una vegetación que ralentice o coadyuve el proceso erosivo.

Formas de modelado: Las aguas de escorrentía, poco a poco y en función de la pendiente, generan **surcos** que con el tiempo y sobre todo en climas secos, pueden dar lugar a verdaderas **cárcavas** en rocas blandas como las arcillas. En este caso se va produciendo una desaparición progresiva de la capa vegetal.

Cuando existen desniveles bruscos del terreno de origen tectónico, pueden formarse gargantas y barrancos estrechos con laderas de fuerte pendiente originados por corrientes de agua que ven reforzada su acción erosiva. Si a lo anterior se añade una diversidad rocosa que provoca erosiones diferenciales, aparecen saltos de agua y cascadas que irán aumentando progresivamente los desniveles.



Surcos paralelos en areniscas



Erosión laminar



Erosión reticulada

Melilla: El clima de la región de Melilla es mediterráneo con tendencias subáridas. Las lluvias no demasiado escasas pero mal repartidas, se presentan a veces de forma torrencial. Esto, junto al largo periodo de sequía en los meses más cálidos y la fuerza de los vientos de poniente y levante, va a estar en el origen de nuestro paisaje geológico y biológico: saltos de agua en los relieves cársticos (erosión diferencial entre las calcretas y las areniscas inferiores), barrancos con altas pendientes como en el Nano y en los acantilados del norte, y espectaculares surcos paralelos en los taludes con tobas volcánicas y en las areniscas blancas de la carretera de circunvalación.

Y si nos fijamos de una forma precisa en las superficies de las rocas vamos a observar distintas formaciones: laminares, alveolares, reticulares..., semejantes a las producidas por erosión eólica.



Cárcavas en arcillitas blancas



Rostrógordo

Características físicas: Roca microcristalina, amorfa o mineraloide, de dureza 7 en la escala de Mohs, bastante frágil con fractura concoidea que da lugar a agudas aristas, tacto muy liso y suave, brillo céreo y colores diversos en función de los componentes que acompañen a la sílice (SiO_2).

Origen: Se forma mayoritariamente por reemplazo (diagénesis) de rocas calcáreas o volcánicas preexistentes, sometidas a temperaturas y presiones altas. Así forma nódulos o bandas intercalados en la roca de la que procede.

Composición: Se trata de un tectosilicato, anhídrido silícico (SiO_2). El sílex es una roca heterogénea por lo que junto a la sílice, con una estructura muy parecida al cuarzo, se presentan otros materiales y minerales que aportan color, como materia orgánica o sulfuros de metales (negro), óxidos e hidróxidos (amarillo, naranja, marrón, rojizo), etc.

Usos: En sus variedades, calcedonia, ópalo, jaspe, ágata, ónix..., es utilizado en joyería como piedras semipreciosas o gemas.

Desde el Paleolítico es utilizado por el hombre, el sílex o pedernal es utilizado por el hombre fabricar instrumentos cortantes.



Junto a la valla en la carretera de circunvalación



Cristalizaciones en oquedades



Meteorizado externamente



Fracturado en las cercanías del barrio Chino

Melilla: El sílex melillense se formó por la acción calorífica de fumarolas sobre las andesitas de las faldas del Gurugú, lo que produjo residuos fundidos silíceos poco profundos que volvieron a microcristalizar.

Donde mejor se muestran sus bandas intercaladas con materiales volcánicos y sedimentarios es en los pequeños taludes de la carretera de circunvalación entre los kilómetros 1 y 3 (cerca del barrio Chino). También en una cresta que se adentra en Melilla paralelamente al arroyo Sidi Guariach y cerca del extremo suroriental de la pista del aeropuerto: yacimientos paleolíticos (ficha 26).



En las proximidades del antiguo Jardín Valenciano

Yacimientos-Talleres de sílex

Paleolítico

La región de Melilla es rica en yacimientos prehistóricos en los que el sílex local constituyó la materia prima para la fabricación de una amplia gama de instrumentos útiles para la vida cotidiana. Aún no se trabajaban los metales, pero la dureza y la fractura del sílex resultaban propicias para cortar, despellejar, raspar, perforar, hendir, lijar, tejer, matar..., en la cocina, el taller o en la caza.

Dentro de los límites de la Ciudad Autónoma, Carlos Posac ya localizó a mediados del siglo XX dos lugares donde abundaban las piezas líticas trabajadas por el hombre paleolítico: una junto al cementerio musulmán de Sidi Guariach y otro en las proximidades del arroyo Mezquita, en la Huerta de Reyes (Posac, 1956).

El de **Sidi Guariach**, constituido por un afloramiento lineal de varios metros de espesor que era patente junto a la carretera de circunvalación y que sirvió de cantera-taller para grupos humanos del Paleolítico, fue enterrado hace una década con la construcción del campo de golf. La cresta continúa hacia el arroyo Alfonso XIII y la zona del nuevo instituto en construcción, pero el avance urbanístico está acabando por hacerla desaparecer. De la importancia del yacimiento da fe el minucioso trabajo de Tomassetti (1996), para el cual se recogieron y estudiaron cientos de fragmentos, la mayoría desgraciadamente no conservados, y se pusieron en evidencia los grandes cortes ortogonales de la cantera.



Bloques residuales del yacimiento de Sidi Guariach y fragmento cuarteado

El de la **Huerta de Reyes** se localiza al sur del Aeropuerto, estando delimitado por el cauce del arroyo Mezquita, que bordea el yacimiento por el sureste, y la carretera del aeropuerto por el norte. Aunque citado por los autores mencionados, no será hasta el año 2000 cuando se realicen los primeros trabajos propiciados como medidas correctoras por la ampliación de la pista del aeropuerto y que produjo la desaparición de gran parte del yacimiento, si bien con la conservación de las piezas (perforadores, raspadores, raederas, escotaduras, puntas...). El estudio sistemático fue realizado por el Gabinete Arqueológico Strato en colaboración con el Instituto de Cultura Mediterránea: sondeos (6 con un total de 8 m²), delimitación (15000 m²), y adscripción cronológica (\pm 25000 B.P.) y cultural (periodo Ateriense del Paleolítico Superior).



Restos del yacimiento de la Huerta Reyes



Materiales de Sidi Guariach y Huerta Reyes

Terrazas aluviales

Sedimentaria detrítica

Origen: Las terrazas aluviales son pequeñas mesetas que aparecen en valles fluviales y que son producidas por los sedimentos que el río va depositando a ambos lados de la corriente, ya en zonas de poca pendiente de su curso. En realidad constituyen los vestigios de antiguos cauces ya abandonados debido a que la corriente sigue erosionando en profundidad sus propios sedimentos.

Esto hace que las aguas discurren con el paso del tiempo por un lecho cada vez más profundo. En muchos casos, sobre todo en regiones de lluvias torrenciales esporádicas, como es el caso de la región de Melilla, el río excava un terreno que ya estaba constituido por aluviones anteriores, apareciendo paredes casi verticales que muestran esas sedimentaciones previas: son las llamadas terrazas encajonadas. Estas paredes y las de terrazas superpuestas nos van mostrando cambios climáticos a través de las características de los sedimentos que contienen.

En las terrazas aluviales se pierde el principio de estratificación sedimentaria, apareciendo los estratos superficiales con sedimentos más antiguos que los que muestran los estratos más hondos, que son los que han sido arrastrados en los aluviones más recientes.



Cantos basálticos y sílex



Afloramiento en el talud del antiguo Jardín Valenciano

Melilla: La mayor parte de las terrazas aluviales de los arroyos de Melilla (Mezquita, Alfonso XIII, Sidi Guariach, Farhana, Oro), hoy en día, han quedado ocultas por el encajonamiento en paredes de cemento que han sufrido los cauces. Pero aún en las zonas más próximas al vallado fronterizo es posible encontrarnos con terrazas encajonadas de paredes prácticamente verticales que muestran sedimentos volcánicos de alta granulometría (andesitas, basaltos e incluso sílex) entremezclados con otros más finos de tonalidad rojiza. También se pueden intuir terrazas incipientes en el curso del Nano, estas formadas por sedimentos calcáreos. Pero quizás donde mejor se muestren dos terrazas sucesivas, aunque producto artificial del corte de la carretera que lleva al supermercado Lidl, o sea en el antiguo Jardín Valenciano. Aquí se ven depósitos de gruesos cantos rodados a una distancia de 80 m y una altura cercana a los 10 m sobre el actual cauce del arroyo Alfonso XIII.



Estratos bien diferenciados



Cauce del Alfonso XIII

Playas de arenas del sur

Sedimentaria detrítica

Origen y características: La arena de las playas se define geológicamente como una roca de grano suelto, sin compactar, formada por pequeñas partículas de minerales, rocas, restos de organismos marinos (corales, conchas, caparazones...) e, incluso de materiales artificiales, cuyo diámetro de grano se sitúa entre 0,062 y 2 mm. En las playas de gravas las partículas tienen unos tamaños por encima de dicho rango, concretamente entre 2 y 64 mm, y en las de cantos, superiores a este último valor. Tras la meteorización y la erosión de rocas preexistentes continentales, debidas a la acción de los agentes geológicos externos (lluvia, hielo, viento...), se produce el transporte de materiales (aguas superficiales y subterráneas, vientos...) hacia las aguas marinas, donde las corrientes, las mareas y, fundamentalmente, el oleaje los deposita en zonas litorales de baja energía (bahías, ensenadas...), dando lugar a las playas.

Usos: El valor turístico de las playas es incuestionable y la importancia de estas en una ciudad-isla como Melilla, decisiva para el ocio de su población.

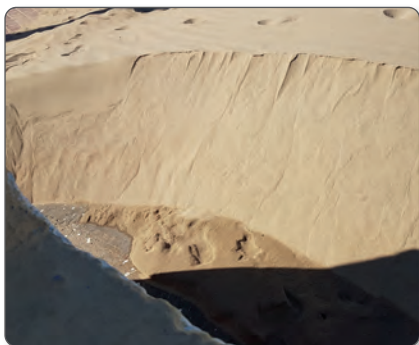
Antiguamente, en nuestra ciudad fueron usadas estas arenas en la construcción, actividad hoy en día totalmente prohibida.



Playa de la Hípica con arenas finas

Melilla: Las playas de Melilla llevan tiempo sufriendo, debido a la urbanización litoral (construcción de puertos y diques) y a la influencia antrópica exponencial en forma de vertidos incontrolados, una transformación y una degradación progresivas. Los antiguos depósitos ricos en magnetita, de las arenas blancas y finas de las playas de la región, desde Saidía a Melilla, procedentes fundamentalmente de los aportes del río Muluya se fueron reduciendo y posteriormente anulando. De cualquier forma, esas arenas limpias de grano fino, todavía son reconocibles, sobre todo en la playa de la Hípica, donde los vientos dominantes del noroeste dan lugar a vestigios de modelados que hace décadas eran mucho más vistosos y evidentes: marcas rizadas (*ripple-marks*) y dunas.

La playa de San Lorenzo, sin embargo, a la que desemboca el río de Oro, hoy en día cargado de todo tipo de residuos, presenta una arena limosa con alto contenido en materia orgánica. Y la playa de Horcas Coloradas, en los acantilados del norte, de arena y grava, materiales que, en buena medida, aún provienen de la cercana zona donde se vertían directamente al mar los residuos urbanos de la ciudad.



Vestigios dunares



Marcas rizadas fruto del viento de poniente

Calizas arrecifales

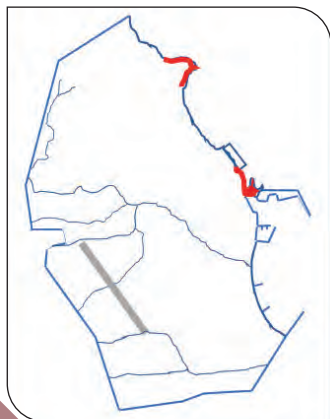
Sedimentaria detrítica

Origen y composición: Depósitos marinos constituidos por los esqueletos triturados de corales, que en el Mediterráneo son mayoritariamente del género *Porites*, y de algas coralíneas, conchas de moluscos, púas de erizos, foraminíferos..., que forman una matriz de grano muy fino de alta porosidad (micrita).

Usos: Por su cercanía y su resistencia, desde la llegada a Melilla a fines del siglo XV, se empleó esta roca para los sillares de las murallas y otras magnas construcciones de la Ciudad Vieja (Aljibes, Puerta de Santiago...), estableciéndose una bella continuidad entre lo natural y lo artificial. Las últimas restauraciones se han hecho con roca caliza compacta, pero ya provenientes de canteras marroquíes de la región de Taza.



La Boca del León en la Ciudad Vieja



Ensenada de los Galápagos



Textura con orificios de Porites

Melilla: Calizas miocénicas del Messiniense (6,5 a 6 Ma), los sedimentos más antiguos del litoral melillense, observables actualmente con una potencia que oscila entre los 15 y 20 m, en dos zonas del litoral rocoso de Melilla, la Ciudad Vieja (Boca del León, Trápana, Galápagos, Alcazaba) y la punta de Rostrogordo, ambas sobresalientes sobre el resto de la costa debido a su mayor resistencia a la erosión marina. También aparecen fósiles de diversos grupos marinos y, raramente, terrestres, lo que nos habla de facies deltaicas y de plataforma en un mar somero. Además de fósiles, no es extraño observar, sobre todo, en la punta de Rostrogordo, bonitas cristalizaciones secundarias de calcita (ficha 4) en los recovecos y oquedades que caracterizan estas construcciones bioclásticas.

Los antiguos vertidos de residuos directamente al mar ocultaron ya hace tiempo la punta del Morrillo, bajo el cementerio de la Purísima. Más recientemente, algo más de una década, la construcción del nuevo vertedero controlado hizo desaparecer el islote de Peña Aislá y más de 700 m de litoral arrecifal melillense. En ese tramo del nuevo Paseo Marítimo se ven restos, retrasados sobre la línea costera, en la zona de bajada próxima a la Alcazaba.



Coraza en la Punta de Rostrogordo



Erosionada en La Alcazaba

Clinoformas/ Estratificación cruzada

Modelado del paisaje

Conceptos: La Real Academia de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales define **clinoforma**, en su vocabulario científico y técnico, como un conjunto de capas con una geometría singular, como las que se disponen en la parte sumergida de un delta o en un talud continental progradante, o sea cuando el continente gana terreno al mar por deposición de materiales en la región costera. Y **estratificación cruzada** como conjuntos de estratos secundarios que se disponen inclinados con respecto a la estratificación principal, separados entre sí por superficies originadas por cambios bruscos en las condiciones sedimentarias, incluidas las de erosión y de interrupción.

Melilla: En la serie estratigráfica messiniense encontramos clinoformas en los estratos calcareníticos de facies deltaicas y de plataforma. Bajo la Muralla Real de la Ciudad Vieja, en la Ensenada de los Galápagos, bien visible desde la carretera de La Alcazaba, aparece el amplio estrato de calcarenitas blancas, por encima del de calizas arrecifales, como una bella clinoforma del tipo sigmoidal-oblicuo. En otros puntos del territorio pueden observarse otras clinoformas oblicuas más modestas en el estrato de calcarenitas amarillentas (asperón), como ocurre en el interior del cementerio de la Purísima Concepción, en la ladera del monte Artillero en la margen izquierda de la Cañada del Carmen (final de la calle Castellón de la Plana), y en taludes del barrio Reina Regente.



Ensenada de los Galápagos

En los patios altos del cementerio, igualmente, se pueden observar vistosas estratificaciones cruzadas en los estratos de asperón, concordantes pero cruzadas en ángulos cercanos a 45°.

En las elevaciones areniscosas (dunas fósiles) de la manga arenosa de la Mar Chica (Altos del Galán y de la Restinga) se presentan estratos cruzados más complejos, en diversas direcciones y angulaciones.



Cementerio de la Purísima



Ondulaciones



Dunas fósiles de la Mar Chica

Erosión diferencial

Modelado del paisaje

Origen: La meteorización de las rocas concentra el conjunto de procesos físicos (abrasión e impactos por agentes externos; cambios bruscos de temperatura y presión), químicos (disoluciones, hidrataciones, oxidaciones, carbonataciones, hidrólisis...) y biológicos (raíces, excavaciones, túneles...) que las alteran, descomponen y desintegran.

La erosión incluye todos esos procesos a los que suma el transporte de los materiales resultantes hasta lugares de sedimentación.

Resulta evidente que la acción erosiva va a actuar de forma específica sobre cada tipo de roca, en función de su génesis (compactación y cementación), composición mineralógica, tamaño de grano y, por supuesto, de su exposición a la influencia del sol, el viento, el mar, las corrientes fluviales y glaciales, etc. Así se diferencian rocas más blandas y rocas más duras donde el desgaste erosivo va a progresar a mayor o menor velocidad.

Paisajísticamente, cuando se presentan esas diferencias en los distintos estratos que forman una serie sedimentaria o en zonas de contacto con otros tipos de rocas, hablamos del concepto de erosión diferencial. Así pueden aparecer estructuras que conocemos como páramos, cerros testigos, chimeneas de hadas, cornisas de acantilados, cataratas... y otras bellas formas de las que son ejemplos en España el Torcal de Antequera, la Ciudad Encantada de Cuenca o el Flysch de la costa vasca.



Cornisa de calcretas sobre areniscas

Melilla: Los más destacados ejemplos de erosión diferencial en nuestra ciudad los vamos a encontrar en el corte de los acantilados de la zona norte, donde destacan las discontinuidades que se establecen entre los materiales duros de la base (calizas arrecifales) o las calcretas superiores, con respecto a los materiales intermedios más blandos de calizas, calcarenitas y cineritas.

En otras zonas los ejemplos son menos espectaculares pero igualmente ilustrativos. Hablamos de los barrancos fluviales del Nano y otros arroyos, y de taludes artificiales de la circunvalación y de otras carreteras.



Calizas arrecifales y areniscas



En los sillares de las antiguas murallas



Calizas estromatolíticas sobre areniscas



Entre calizas y areniscas



Estratos basálticos sobresalientes



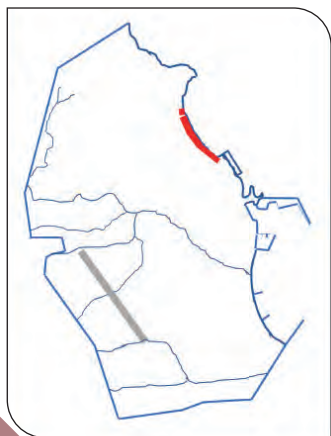
Cornisa de travertino en Rostrogordo

Playa de Horcas Coloradas

Sedimentaria detrítica

Geografía: En el litoral acantilado de Melilla, desde la Ciudad Vieja a la frontera norte en la Zona de Especial Conservación Marítimo-Terrestre (ZEC) de Aguadú, destaca la larga playa de Horcas Coloradas, de unos 700 m de longitud y 40 m de anchura máxima, protegida de los vientos de poniente por los altos acantilados verticales de casi 100 m que en nuestra ciudad se conocen popularmente como "los Cortaos", pero abierta a los temporales de levante que arrojan sobre ella toda clase de residuos.

Composición: La base sedimentaria corresponde a arenas claras de grano menor a 1 mm provenientes de los estratos de los acantilados contiguos, mayoritariamente calcáreos y calcareníticos, junto a restos orgánicos: algas, conchas de moluscos... Pero, sobre esta base natural se encuentran en la playa grandes zonas con otros materiales detríticos rodados: gravas, guijarros y hasta cantos, cuyo origen, en alto porcentaje, hay que buscarlo en los vertidos provenientes de obras públicas y domésticas que durante décadas fueron arrojados directamente al mar desde la zona alta de la incineradora, antes de la construcción del vertedero controlado. El hecho es la presencia de trozos de rocas como granitos, mármoles, conglomerados... usados en la fabricación de encimeras, soleras, losetas, paredes, ladrillos...; también de basaltos, andesitas, calizas marmóreas... producto de obras urbanas. Junto a ellos: cristales, restos metálicos, envases de plástico y otros materiales polucionantes.



Vista actual desde el nuevo Paseo Marítimo

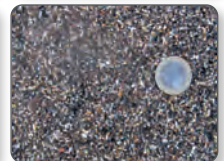


Vertidos directos al mar antes de la construcción del vertedero controlado

Usos: Desde la construcción del vertedero de inertes y el nuevo Paseo Marítimo, hace ya más de una década, se hizo público el acceso y disfrute de esta playa por parte de la población. Hay que destacar la belleza paisajística del lugar, importante recurso didáctico para la enseñanza de las ciencias al poner en evidencia la serie estratigráfica messiniense, además de otros conceptos y aspectos geomorfológicos. Hablamos, por ejemplo, de zonas de contacto entre estratos, erosiones diferenciales, paleosismitas, rubefacciones, relieve cárstico, desprendimientos, valles colgados, conos de derrubios..., formas geológicas que quedan recogidas en otras fichas de esta obra.



Cantos sobre la arena originaria



Otros depósitos

Serie estratigráfica/ Zonas de contacto

Proceso de sedimentación

Estratigrafía: Ciencia geológica que estudia la disposición de las rocas en capas o estratos de diverso grosor o potencia. El principio o concepto de estratificación nos aclara que los estratos se suceden en el tiempo y, por lo tanto, los dispuestos en zonas inferiores se corresponden con los más antiguos y los de las zonas superiores con los más modernos de forma sucesiva. Esto afecta, en general, a las rocas sedimentarias detríticas generadas por la erosión y el transporte de materiales hacia cuencas sedimentarias, aunque también a otras de origen químico como las evaporitas e, incluso, a rocas volcánicas que puedan intercalarse en las series de depósitos sedimentarios.

Zonas de contacto: Líneas de cambios de rocas en una serie estratigráfica, que pueden ser concordantes o discordantes en función del paralelismo o del ángulo que formen los estratos (estratificación cruzada), y de que la secuencia se halla producido de forma continua o con hiatos temporales acompañados de períodos erosivos.

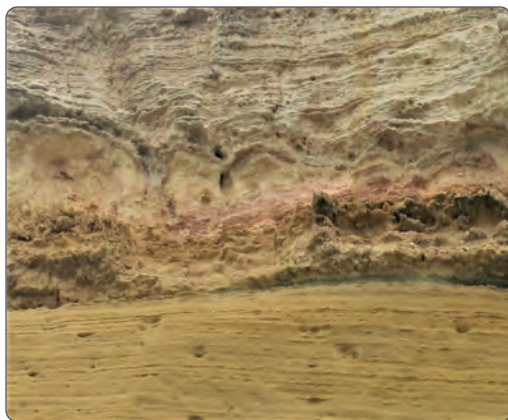
Usos: Aparte de los usos tradicionales o industriales que puedan tener las diferentes rocas de una serie estratigráfica, es indudable que constituyen, a veces, paisajes de gran belleza (acantilados marinos, valles fluviales...), útiles recursos didácticos para las Ciencias de la Naturaleza, buenos refugios para la biodiversidad y lugares de alto atractivo turístico.



Serie estratigráfica en la ZEC de Aguadú

Melilla: Los acantilados marinos de la zona norte, desde la playa de Horcas Coloradas a la frontera con Marruecos, con unos 100 m de altura, es donde mejor se puede apreciar una serie sedimentaria en el territorio de Melilla. Del Messiniense miocénico (6,5 Ma) hasta la actualidad Cuaternaria se suceden un buen número de estratos en disposición concordante.

Otras muestras, mucho más humildes, las vemos en los acantilados de la Ciudad Vieja y la Alcazaba, en el valle del Nano o en distintos taludes de la carretera de circunvalación o de la carretera que baja desde la Legión al barrio de Reina Regente (Cañada).



Contacto entre el asperón y estratos superiores



Tobas brechoideas y el 4río



Ciudad Vieja: calizas arrecifales bajo areniscas



Areniscas blancas intercaladas

Conos de derrubios

Modelado del paisaje

Origen: En laderas de montañas, valles fluviales o acantilados marinos de alta pendiente, formados por rocas inestables, suelen aparecer estas estructuras geomorfológicas que pueden tener su origen en la acción de agentes externos (vientos, aguas superficiales, embates del mar...) o internos (terremotos). La meteorización y erosión de las rocas dan lugar a su fragmentación y deslizamiento por gravedad, formándose acúmulos y depósitos que toman formas pseudocónicas al pie de la vertiente.

Melilla: La serie sedimentaria messiniense que forma los acantilados de la costa norte de Melilla desde la Ciudad Vieja a la frontera de Aguadú es propicia a las fracturas y disgregación de sus materiales y a la formación de conos de derrubios. Tres son las causas que lo provocan: a) la alta verticalidad que en muchas de las zonas llega al 100% de pendiente, b) El tipo de rocas que forman sus distintos estratos, la mayor parte con un grado bajo de cementación, como ocurre con las calcarenitas, las cineritas o las mismas calcretas superiores, y c) El carácter sísmico de la región, con microsismos constantes que originan deslizamientos y terremotos violentos que, con cierta periodicidad, alcanzan intensidades altas y provocan fuertes derrumbes.



Derrumbe violento reciente



Conos en la playa de Horcas Coloradas

La Playa de Horcas Coloradas es el mejor lugar para la observación de estas estructuras geomorfológicas. Los acantilados traseros, mayoritariamente de asperón y calcarenitas blanquecinas de poca compactación han dado lugar a un conjunto de conos bien apreciables desde la parte final del nuevo Paseo Marítimo.

En el litoral de la ZEC de Aguadú, sin playas que realcen estas formaciones, los desprendimientos han tomado forma amesetada donde una vegetación de tipo halófilo realiza una función de estabilización, en determinados puntos insuficiente.



Meseta inclinada en la ZEC de Aguadú



Cono de derrubio

Valles colgados

Modelado del paisaje

Origen: Aunque más propios del modelado glacial, también se presentan asociados a corrientes fluviales. En el litoral marino, su origen hay que buscarlo en procesos tectónicos de elevación y en la fuerza erosiva marina que hacen, respectivamente elevarse y retroceder los acantilados. La suma de ambos agentes se desarrolla a mayor velocidad que los propiamente erosivos y de socavamiento de las corrientes fluviales. El valle queda colgado y las aguas tienen que saltar al mar en forma de pequeñas cascadas.

También pueden observarse valles colgados en paisajes terrestres, dando igualmente lugar a saltos de agua, cascadas y cataratas que vierten el agua de arroyos y riachuelos al río principal, aunque estas formaciones pueden tener un origen distinto: la erosión diferencial.

Melilla: La costa acantilada de Melilla sufre un proceso de elevación desde tiempos messinienses, hará unos 6 Ma. Esto queda en evidencia por la presencia de fósiles marinos hasta alturas que en la ciudad se aproximan a los 100 m y que en Tres Forcas superan los 200 m.

Este proceso de reajuste isostático se vio acompañado en el Plioceno del basculamiento de la meseta hacia el sur. Por ello las corrientes fluviales, por muy cerca del norte que nacieran, se vieron obligadas a tomar esa dirección hacia las zonas bajas de la cuenca de sedimentación Melilla-Nador por donde circula el río de Oro. Esto se ve claro en los barrancos del Nano, Reina Regente, Cabrerizas y en otros que han quedado ocultos por el avance urbanístico, como en el cuartel del Polvorín, en el Tiro Nacional y en la Cañada del Carmen, hoy calle Castelar.



Nacimiento del Nano

Pero en nuestra ciudad hay ejemplos de valles colgados vestigiales que, hoy en día casi completamente secos, se recortan en perfil superior de los acantilados. Un ejemplo es el arroyo del Quemadero que nace en los pinares de Rostrogordo, cerca del punto más elevado de la geografía melillense (130 m), próximo a la antigua frontera hacia Tres Forcas y a la valla fronteriza. Desde allí corre en paralelo a la valla formando un pequeño barranco de unos 400 m longitud, que acaba colgado de los acantilados a unos 110 m de altitud sobre el espigón marino fronterizo. Otros ejemplos los vemos sobre la parte más septentrional de la playa de Horcas Coloradas, en la bajada de la carretera a la punta de Rostrogordo, en la hoz de Mariguari, en el barranco de Cabrerizas, o en el nacimiento del Nano en la Cueva del Legionario, si bien en estos últimos casos su origen hay que buscarlo más en surgimientos cársticos que en procesos tectónicos.



Playa de Horcas Coloradas



Quemadero



Punta de Rostrogordo

Rubefacción

Meteorización química

Origen: La meteorización consiste en la transformación a través de los distintos agentes geológicos externos (viento, lluvias, aguas corrientes y marinas, seres vivos...) de los minerales que componen el suelo o la roca madre. Estos agentes externos actúan de forma física, presionando, fragmentando, disgregando y, simultáneamente, de forma química al originar reacciones que van a ir transformando químicamente los minerales que componen suelos y rocas. Estos últimos cambios son debidos a la presencia de sustancias detonadoras (oxígeno, hidrógeno, ácidos y bases..) que aportan la energía necesaria para el inicio de reacciones de oxidación, hidratación, hidrólisis, disolución, carbonatación, sulfatación...

La rubefacción es una muestra vistosa e ilustrativa de meteorización química, debido al poder colorante del hierro. Es típica de climas con alternancia de estaciones secas y húmedas, como es el caso del clima mediterráneo. Aquí, por la acción fundamental de las aguas de lluvia que al filtrarse en terrenos calcáreos provocan procesos de descalcificación, se forman óxidos e hidróxidos de hierro (hematites, ferrihidrita, limonitas, ocre...) que tiñen los suelos (*terra rossa* mediterránea) y las superficies de rocas compactas.



En la playa de Horcas Coloradas

Melilla: En la meseta norte del territorio de Melilla, coronada por la costra calcárea evaporítica que se conoce como calcreta, caliche o costra travertínica se produce este tipo de manifestación química. Los mejores lugares de observación están allí donde existen cortes artificiales de la serie estratigráfica terciaria (Messiniense), como en la carretera de bajada a la Punta de Rostrogordo, o donde la tectónica y el embate del mar han propiciado la formación de nuestros acantilados de la costa norte. Así encontramos en sus paredes verticales verdaderos silos rellenos de arcillas rojas o como ocurre al final de la playa de Horcas Coloradas, bellísimos chorreones que discurren desde la parte alta hasta el mismo nivel del mar sobre al amplio estrato de calcarenitas blanquecinas.



Silo en la zona alta de los acantilados



Carretera a la punta de Rostrogordo



Dibujos en areniscas blancas

Origen: En acantilados marinos la acción combinada de los agentes geológicos externos (vientos, acción del mar, aguas superficiales y subterráneas, e incluso la acción de seres vivos) e internos (movimientos sísmicos) se manifiesta de una manera clara a través de deslizamientos y desprendimientos que tienen una repercusión evidente en la línea costera. Esto se ve reforzado si el acantilado es de alta pendiente o completamente vertical, y si además está constituido por rocas de textura y estructura inestables, tendentes a la deleznableidad y a las fracturas. El resultado, más claro en rocas sedimentarias, puede ser una línea litoral heterogénea formada por grandes bloques desprendidos de los diversos estratos que forman el acantilado.

Melilla: En zonas concretas de los acantilados de la zona norte de nuestra ciudad se puede observar claramente este tipo de modelado litoral: a) Desde la zona media de la Playa de Horcas Coloradas hasta la parte sur de la Punta de Rostrogordo, y b) En la Zona de Especial Conservación (ZEC) de Aguadú, cerca del dique fronterizo. En estos lugares los acantilados que acogen la serie sedimentaria messiniense son completamente verticales y no se presenta la fuerte coraza arrecifal que hace de escudo en la Ciudad Vieja o la punta de Rostrogordo, sino que las calcarenitas forman la línea costera. Por otro lado, los terremotos que sacuden periódicamente la región tienen una influencia decisiva en los desprendimientos.

Como resultado de lo anterior encontramos grandes bloques de las rocas más compactas, algunos de varios metros de diámetro, que caen desde las zonas más altas del acantilado, incluidos los de color rojizo que forman la calcreta travertínica cuaternaria.



Sur de Rostrogordo



ZEC de Agudú



Bloque de calcreta



Bloques de areniscas



Playa de Horcas Coloradas

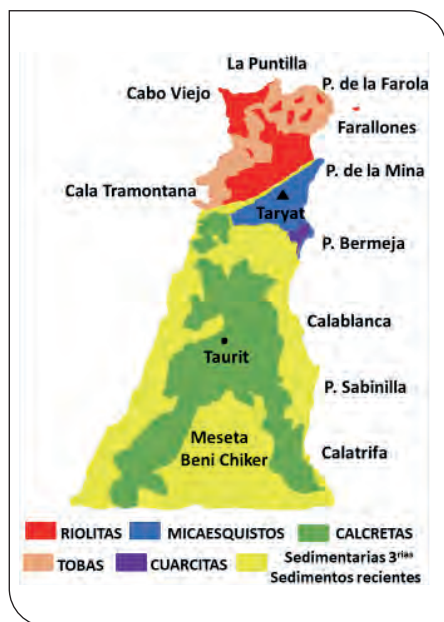
Península de Tres Forcas

Geografía: La península o cabo de Tres Forcas, al norte de Melilla, tiene forma de subtriángulo isósceles cuyo vértice septentrional presenta los 3 salientes que le dan nombre, de oeste a este: cabo Viejo, la Puntilla y la punta de la Farola. La superficie total, tomando como referencia el centro de Melilla hacia el norte, es de aproximadamente 90 km² y la máxima altitud el monte Taryat de 433 m.

La mayor parte de la península es de paisaje abrupto y escarpado dando lugar a un litoral recortado con presencia de acantilados y pequeñas calas, algunas inaccesibles desde tierra. Destaca en su costa oriental Calablanca, los salientes de punta Bermeja y de la Mina Rosita, y los islotes de los Farallones; y en la occidental, menos accidentada conforme se avanza hacia el sur, la cerrada y bella cala Tramontana.



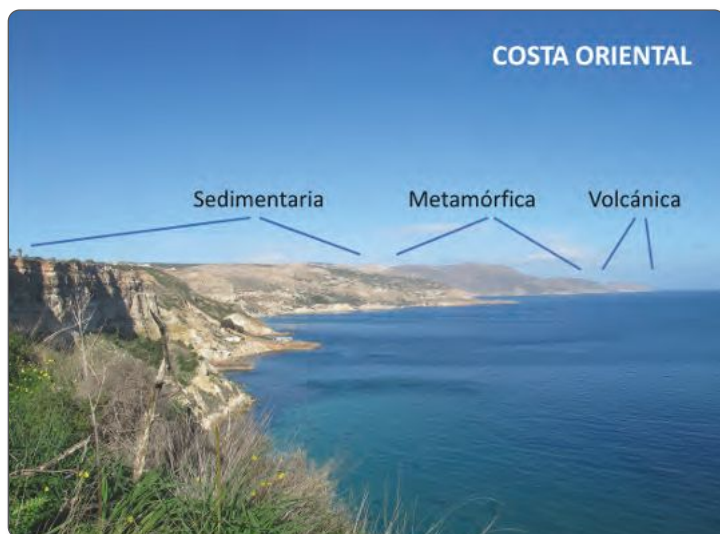
Ápice volcánico de Tres Forcas



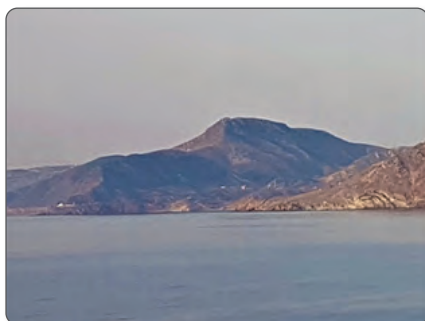
Mapa geológico esquemático



Farallón grande



Geología: La geología de Tres Forcas es singular, pues en ella se suceden de norte a sur 3 franjas bien delimitadas de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias. La zona volcánica neogénica de la parte apical del cabo (9,8 Ma) está formada por roca masiva de riolita y por productos de su meteorización: escorias, cineritas y tobas brechoides con piroclastos y núcleos de obsidiana. La parte metamórfica, paleozoica, que ocupa un pequeño triángulo que en la costa oriental está limitado por punta de la Mina y punta Bermeja, está constituida por micaesquistos con vetas de cuarcita y por pequeñas franjas de serpentinas descompuestas y oligisto. En la más amplia zona meridional aparece la serie sedimentaria cenozoica que encontramos representada en Melilla: calizas arrecifales, calcarenitas, margas, areniscas..., y la calcreta cuaternaria superior.



Taryat (433 m) en la zona metamórfica



Meseta sedimentaria de Beni Chiker

Micaesquistos

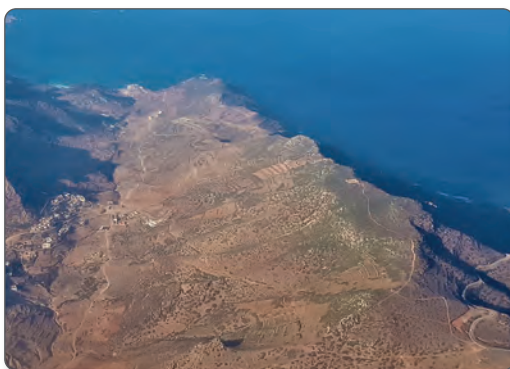
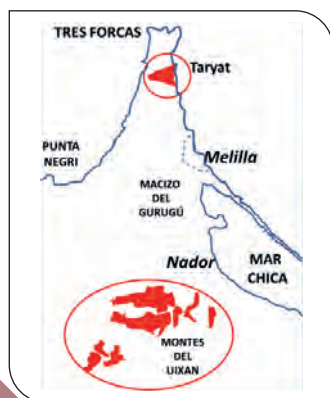
Metamórfica regional

Origen: Roca metamórfica muy laminada, compuesta fundamentalmente por micas, blanca (moscovita) y negra (biotita), y por cuarzo y feldespatos, acompañados de otros minerales accesorios como granate, talco, clorita, hornblenda, grafito... Su origen hay que buscarlo en rocas preexistentes de grano fino, sedimentarias (limos, arcillas) o volcánicas (tobas, basaltos) que han sufrido un nuevo proceso de cristalización (metamorfismo) en el interior de la corteza a presiones y temperaturas suficientemente altas. El calor y la actividad química consecuente transforman los minerales originarios en otros laminares. Y la presión dirige esa laminación en dirección perpendicular a la de las fuerzas compresivas.

En los micaesquistos es común la presencia de vetas y filones de cuarcita que secundariamente rellenan grietas y fracturas.

Melilla: En el territorio melillense no hay presencia de rocas metamórficas pero hemos decidido incluir aquí los micaesquistos por su presencia en dos zonas muy cercanas a la ciudad y por su alta correspondencia genética con el metamorfismo regional del sur de Andalucía (Penibética).

En la región de Melilla se localizan en el Macizo del Uixan (Beni Bu Ifrut) y en la zona media de la Península de Tres Forcas, entre la parte volcánica apical y la más meridional sedimentaria. En el primer caso se encuentra una variedad de esquistos de colores claros, verdosos y plateados, de tacto sedoso y alta presencia de talco, provenientes de rocas sedimentarias preexistentes, y también otros grisáceos con origen en rocas volcánicas. En Tres Forcas se trata de micaesquistos grises fuertemente esquistosos con frecuentes vetas de cuarcita.

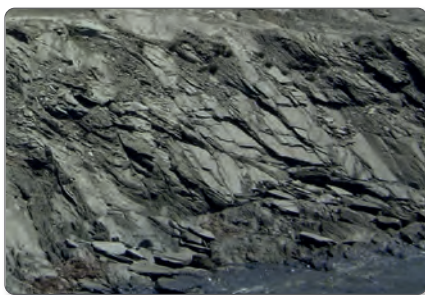


El Taryat (433 m) desde el aire

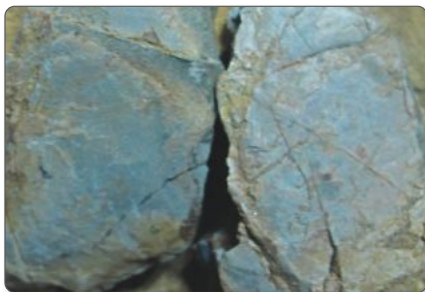
Usos: Han sido ampliamente utilizados en las regiones donde abundan como material de construcción: muros, balates, solerías, techumbres..., aunque por la facilidad con que se fractura por exfoliación, con ciertas limitaciones. Triturados son materia prima para elaborar cerámicas y cemento.

También desde la antigüedad se han usado para fabricar adornos y obras de arte.

Los esquistos tienen cierto interés para el coleccionismo mineral debido a que puede presentar incrustaciones de cristales de cierta rareza como la estauroлита, el granate, la andalucita...



Estructura laminada de los micaesquistos



Esquistos talcosos (Uixan)



Micacita con granates



Vetas de cuarcita

Mineral de origen metasomático

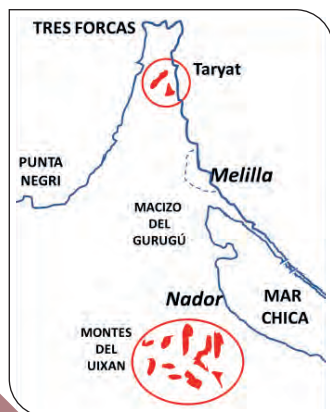
Origen: La RAE define el oligisto o hematites como un mineral opaco, de color gris negruzco o pardo rojizo, muy duro y pesado, de textura compacta, granujienta o terrosa.

Aunque puede tener orígenes diversos, mayoritariamente lo vamos a encontrar asociado a procesos metasomáticos en regiones metamórficas. En estas zonas se generan depósitos minerales producidos por la influencia de fluidos a altas temperaturas que alteran, sin que se fundan, rocas preexistentes.

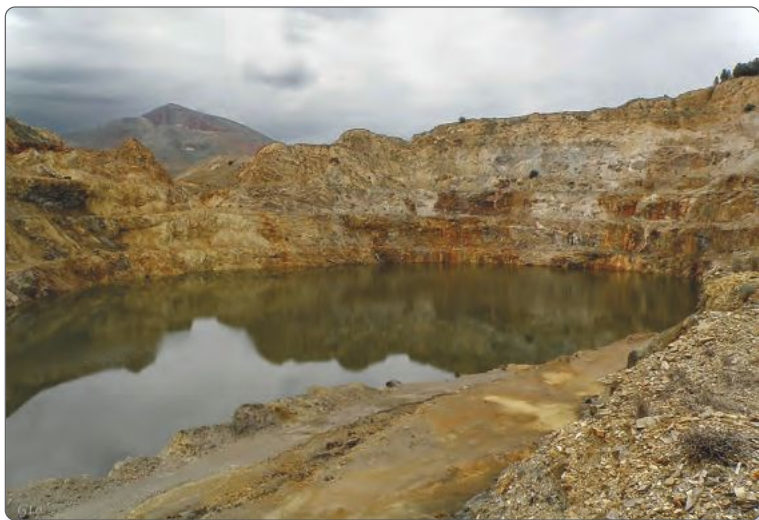
Composición: Óxido férrico (Fe_2O_3) que cuando superficialmente va sufriendo cierto grado de alteración química (oxidación, hidratación) adquiere tonalidades rojizas y amarillentas típicas de los hidróxidos: ocre rojos y limonita.

La densidad supera 5 gr/cm^3 y la dureza está entre 5 y 6 en la escala de Mohs.

Usos: Es la mena más importante del hierro que constituye el principal componente de los aceros industriales usados en infinidad de materiales cotidianos y de construcción. Los ocre, usados desde la Prehistoria, constituyen la materia prima para elaborar pigmentos de pinturas y esmaltes, para la fabricación de cementos y vidrio; también se usan en agricultura como fertilizantes.



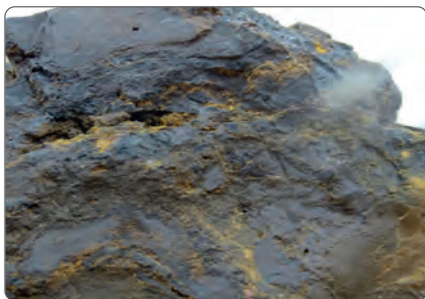
Oquedades con cristalizaciones



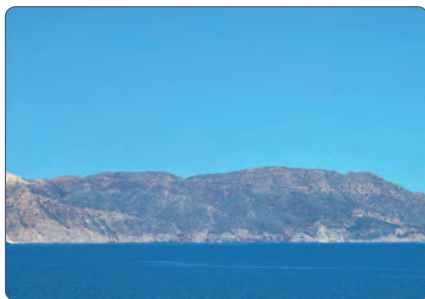
Mina a cielo abierto en el Uixan (en: <https://www.venpormelilla.com>)

Melilla: El oligisto no se encuentra en los 12 km² de nuestra ciudad, pero hemos decidido incluirlo en esta ficha por la gran importancia que históricamente tuvo en el desarrollo económico de Melilla en el primer tercio del siglo XX, cuando de las cercanas Minas del Uixan (Beni Bu Ifrur) y en menor medida de Mina Rosita (Tres Forcas) fue extraído de forma masiva con fines, fundamentalmente, bélicos. En el Uixan se obtenía a cielo abierto, en el pueblo de Seganga se separaba la ganga (quizás aquí esté el origen de su toponimia) de la mena, y, desde allí era transportado al cargadero de Melilla en trenes con vagonetas.

En las dos zonas citadas se asocian a las rocas más antiguas de la región, paleozoicas (Tres Forcas) y mesozoicas (Uixan), rocas metamórficas de estructura esquistosa o laminar.



Con vetas ocreas



Macizo del Taryat

Macizo del Gurugú

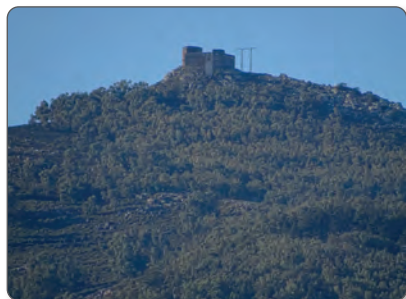
Rocas ígneas volcánicas

Geografía: Macizo volcánico de abrupta orografía situado al suroeste y lindante con Melilla, desde donde se observan la cumbre del Basbel (800 m) coronada por el castillo construido por los españoles hace ya un siglo, a la izquierda la más redondeada del Kol-la (780 m), pero no la de más altitud, la del Taquigriat (885 m), situada por detrás de estas. En conjunto el Gurugú tiene un aspecto uniforme y un colorido externo pardo-rojizo producto de la meteorización química de los silicatos ricos en magnesio y hierro de las rocas que lo forman.

Cronología: Se trata de un volcán estratificado, con emisiones alternantes de lavas más o menos viscosas y de explosiones piroclásticas, que permaneció activo entre los 9 y los 2,6 Ma, o sea desde el Mioceno superior (final del Tortonense y todo el Messiniense), hasta el Plioceno inferior.

Petrología: En el edificio eruptivo del Gurugú se manifiestan tres etapas. La más antigua, quizás submarina, coetánea con la zona apical de Tres Forcas, hoy casi completamente oculta por las emisiones posteriores, dio lugar a las rocas más ácidas: dacitas y riolitas. La intermedia, ya terrestre, fue la más determinante para el aspecto actual del macizo, con emisiones violentas iniciales (traquitas y andesitas formando pitones, crestas y diques) que fueron dando paso a otras de lavas cada vez más fluidas y menos ácidas, intercaladas con salidas de cenizas y pequeños piroclastos responsables de los abundantes estratos de cineritas y tobas, muchas veces brechificadas. Y la etapa final, con lavas más básicas y fluidas (basaltos), que se corresponde con volcanes periféricos al edificio principal situados en zonas cercanas a Beni Enzar, en el istmo que une el Gurugú al Atalayón en la Mar Chica, y también en una amplia zona de la falda norte del macizo, cerca de Melilla.

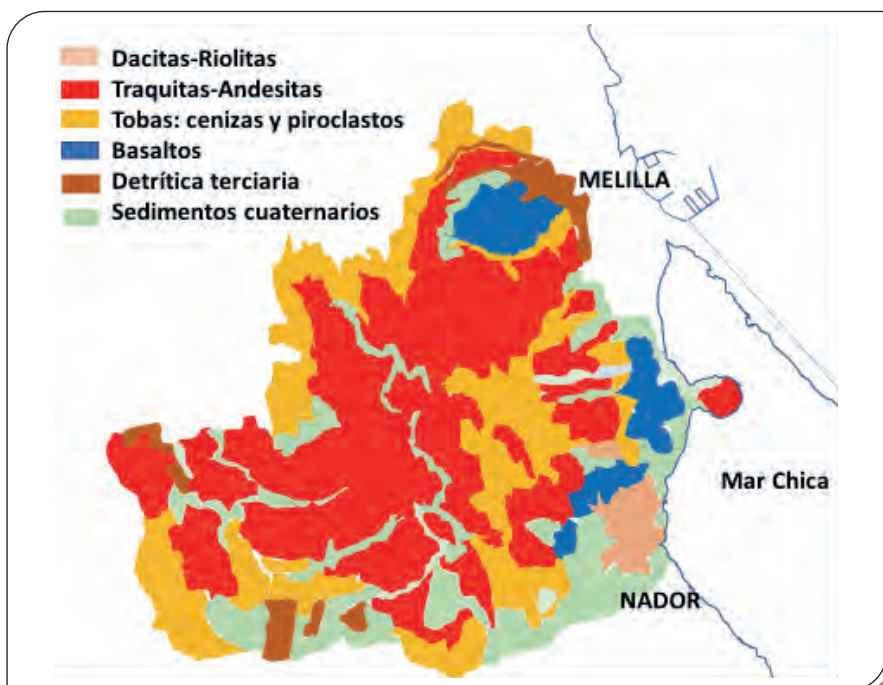
Hay que añadir a esta relativamente extensa variedad litológica, la presencia de núcleos de vidrios volcánicos (obsidianas de diverso colorido) y rocas cristalinas (sílex, calcedonia, jaspe...).



El castillo en la cumbre del Basbel



Andesitas con pátina rojiza



Mar Chica

Laguna litoral

Geografía: Situada al sureste de Melilla y a los pies del macizo volcánico del Gurugú, la Mar Chica de Melilla o Sebkhha Bouareg de Nador es una laguna litoral de algo más de 150 km², separada del mar exterior por una estrecha flecha arenosa de unos 24 km de longitud y comunicada actualmente con este por dos estrechas bocanas. Por su especial configuración constituye un rico humedal protegido fundamentalmente por su fauna avícola: Sitio de Interés Biológico y Ecológico de Marruecos (SIBE), Área Importante para la Conservación de las Aves (IBA) por el programa BirdLife International y Sitio Ramsar por la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional.

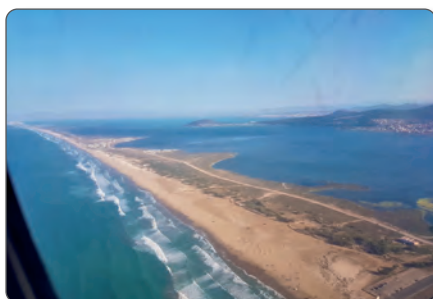
Origen: El origen de la depresión en que se asienta la Mar Chica hay que buscarlo en dos procesos pliocénicos (5,33 a 2,59 Ma) más o menos coetáneos: a) Sistema de fallas que produjeron el hundimiento oriental de Gurugú en la zona noroccidental de la laguna, y b) Subsistencia del piedemonte del macizo de Kebdana y la llanura de Zeluán en las zonas central y suroriental. La barra arenosa se fue formando por sedimentos marinos acumulados en los sobresalientes labios de las mencionadas fallas a partir del finales del Plioceno y durante el Pleistoceno superior, proceso favorecido por los vientos dominantes del noroeste.



Foto de satélite modificada de Google Maps

Petrología: Además de las rocas volcánicas messinienses (Mioceno) de El Atalayón, volcán tardío del macizo del Gurugú, y de sus alrededores (traquitas, andesitas, basaltos y tobas), en el resto de las zonas litorales internas de la Mar Chica afloran aluviones recientes de limos rosáceos.

En el cordón litoral de la manga predominan sedimentos de arena fina y clara, con abundancia de conchas de bivalvos, mayoritariamente de la especie *Glycimeris violascens*. Y en algunas zonas centrales, Altos del Galán, Fuerte de la Restinga, aparecen elevaciones de poca altura formadas por arenas consolidadas (calcarenitas) de origen eólico, en determinados puntos coronadas por pequeñas costras calcáreas (caliches) formadas por evaporación de aguas subterráneas.



Visión aérea de la manga arenosa



El volcánico Atalayón



Arenas consolidadas en los Altos del Galán



Pesca con la tradicional red moruna

Usos: En los extremos de la laguna, sobre todo en el sureste, se forman marismas donde se producen altas evaporaciones y con ello cristalizaciones evaporíticas de sal gema, producida comercialmente en tiempos pasados. Además siempre ha sido fuente de riqueza pesquera y de cultivos marinos.

En la actualidad se están produciendo cambios importantes en la mar Chica que pretenden transformarla en centro turístico integral: 7 cités de la Mar Chica (Monographie economique de Nador, 2009).

Glosario

Afloramiento. Zona geográfica de mayores o menores dimensiones donde se manifiesta y puede ser observada una determinada masa rocosa.

Aluvial. Término que alude a los sedimentos depositados originariamente por las aguas superficiales en llanuras, depresiones, valles y otras formaciones de las zonas bajas de cursos fluviales, como deltas, marismas, rías..., aunque tras cambios tectónicos y geomorfológicos estos sedimentos pueden aflorar en zonas terrestres desligadas de corrientes fluviales.

Basculamiento. Desplazamiento del terreno según un eje horizontal, dando al paisaje y a las estructuras rocosas que lo forman una determinada inclinación respecto a la de su génesis originaria.

Bioclástica. Estructura compacta que procede de las partes duras de algún ser vivo y que puede presentarse en algunas rocas sedimentarias.

Brecha. Roca del tipo conglomerado de origen volcánico o sedimentario formada por fragmentos angulosos que han quedado incluidos en una matriz de grano más fino.

Buzamiento. Inclinación de una formación geológica sobre el plano horizontal. Puede aplicarse a un estrato sedimentario o a planos de fractura, pliegues y fallas.

Cárcavas. Hondonadas o concavidades profundas del terreno, muchas veces en disposición subparalela, debidas a la erosión por aguas superficiales. Es típica de regiones áridas, con lluvias escasas pero torrenciales, desprovistas de vegetación.

Ceniza volcánica. Granos de pequeño tamaño (menos de 2 mm) expulsados en una erupción volcánica. Al depositarse, más o menos lejos del lugar de emisión, y compactar, dan lugar a las tobas o cineritas volcánicas.

Colada. Masa de lava que tras la erupción volcánica y antes de su solidificación se desplaza por las laderas de un volcán a mayor o menor velocidad en función de su grado de fluidez.

Concordantes. Se aplica a estratos sedimentarios que se disponen de forma paralela a los que se encuentran por debajo y por encima de ellos.

Cornisa. Borde rocoso que sobresale en la ladera de una montaña, valle de un río o acantilado marino debido principalmente a estar compuesta por materiales con una resistencia mayor a la erosión que la de los estratos que se sitúan por debajo de ella.

Cristalina. Estructura de la materia en la que los átomos y moléculas se disponen ordenadas según alguno de los sistemas cristalográficos. Debido a ello forman cristales con caras planas.

Deslizamiento. Movimiento masivo y relativamente lento de rocas o fragmentos de ellas producidos, mayormente, por la inclinación del terreno. Son más comunes en regiones inestables que experimentan procesos tectónicos de elevación.

Derrubio. Conjunto de fragmentos de rocas arrastrados por los agentes externos (viento, lluvia, corrientes de agua...) a favor de la gravedad, los cuales se acumulan en zonas bajas de laderas y acantilados.

Diagénesis. Proceso por el cual los materiales depositados en una cuenca de sedimentación se van transformando en una roca sedimentaria al ir cambiando su textura y estructura. Incluye la cementación, la compactación e, incluso a veces, recrystalizaciones.

Discordantes. Se habla de estratos o capas sedimentarias discordantes cuando no guardan el paralelismo originario con los materiales que se sitúan por debajo y por encima de ellos.

Dolomítica. Roca sedimentaria detrítica carbonatada en cuya composición participan el carbonato cálcico y magnésico.

Epirogénesis. Movimientos tectónicos de elevación o subducción que afecta a una región amplia de la corteza. En zonas costeras estos movimientos tienen reflejo en regresiones o transgresiones marinas.

Escorias. Aplicado a procesos de vulcanismo, se aplica a un tipo de roca generada tras un enfriamiento rápido de la lava en una erupción. Generalmente se presentan las escorias en forma de fragmentos porosos de forma irregular.

Escorrentía. Corrientes de agua producto de precipitaciones, las cuales pueden trasladarse recorriendo la superficie del terreno (superficial) o tras su filtración, por capas u oquedades más o menos profundas del suelo (subterránea).

Estructura porfídica. Textura de algunas rocas volcánicas y filonianas en las que se aprecia al microscopio una matriz microcristalina, la cual engloba cristales de mayor tamaño visibles a simple vista (fenocristales).

Exfoliación. Propiedad de fracturarse en planos paralelos que presentan algunos tipos de minerales y rocas, mayoritariamente metamórficas como las pizarras o los esquistos.

Extrusiva. Roca volcánica cuyo proceso de solidificación se ha producido de forma más o menos rápida en el exterior tras una erupción.

Evaporítica. Tipo de roca sedimentaria producida por el proceso químico que origina la evaporación del agua en una disolución.

Filones o vetas. Relleno tabular o en forma de lámina, compuesto por minerales que han ocupado fisuras o fracturas en rocas masivas. La mayoría de los minerales o rocas filonianas son de origen ígneo, aunque también pueden aparecer en procesos sedimentarios.

Falla. Fractura con desplazamiento relativo del terreno a lo largo de un plano. Los bloques desplazados forman los labios de la falla que en muchos casos aparecen ocultos por procesos erosivos posteriores.

Flysch. Facies de rocas sedimentarias detríticas donde hay una alternancia de estratos o capas de materiales más resistentes con otros más disgregables. Esta erosión diferencial da lugar a bellas formaciones con crestas y surcos con una cierta ordenación espacial.

Fumarolas. Fisura o grieta en formaciones volcánicas por donde salen gases o vapores a altas temperaturas, normalmente a gran presión.

Hercínico. Perteneciente a la lejana orogenia que tuvo lugar a finales del Paleozoico (Devónico y Pérmico), con duración aproximada de 100 Ma.

Hiato. Es sinónimo de laguna estratigráfica, o sea, la no existencia en una serie sedimentaria de capas pertenecientes a determinados periodos geológicos. Esto puede ser debido a la ausencia de sedimentación en esa etapa o a procesos erosivos que han eliminado esas capas de sedimentos.

Isostasia. Movimientos verticales lentos que tienden a equilibrar los distintos bloques de la corteza terrestre en procesos tectónicos.

Lapilli. Fragmentos de lava solidificada expulsados en una erupción volcánica, con tamaños de entre 2 y 64 mm.

Litificación. Véase diagénesis.

Lixiviación. Proceso de disolución y arrastre descendente de iones que se produce en los suelos por la infiltración de las aguas superficiales y que da lugar a un empobrecimiento en nutrientes de esos suelos.

Matriz. Material rocoso microcristalino, de grano fino, que engloba otros componentes (minerales o fósiles) de tamaño apreciable a simple vista.

Meandro. Cada una de las curvas que describe el curso, generalmente bajo, de un río. También se pueden presentar en valles fluviales encajados por elevaciones del terreno.

Metamorfismo de contacto. Tipo de metamorfismo de origen térmico, que afecta a las rocas que encajan zonas magmáticas en el interior de la corteza. Suele presentarse en zonas bastante limitadas en el espacio, dando lugar a recristalizaciones y a veces a deformaciones.

Metamorfismo regional. Tipo de metamorfismo asociado a procesos geotectónicos de gran escala: colisión de placas con subducciones o levantamientos de cordilleras, originado más por fuertes presiones que por altas temperaturas, y que suele dar lugar a rocas laminadas.

Metasomatismo. Cambio metamórfico producido en una roca por la llegada de fluidos procedentes de una fuente externa. Puede ocurrir una sustitución completa de un mineral por otro sin perder la estructura original o si los fluidos metasomáticos son suficientemente energéticos, dar lugar a recristalizaciones.

Meteorización. Conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que dan lugar a la alteración y descomposición de las rocas superficiales.

Micrita. Calcita microcristalina de grano muy fino (menos de 4 μm) que forma la matriz de rocas sedimentarias carbonadas que pueden presentar otros componentes más gruesos y fósiles, como ocurre en las calizas arrecifales.

Orografía. Parte de la Geología que estudia los orígenes y las diversas manifestaciones de los relieves terrestres.

Paleosuelo. Suelo antiguo que ha quedado intercalado y conservado en una serie estratigráfica terrestre.

Piedemonte. Zona de relieve plano o de leve pendiente que se sitúa al pie de elevaciones montañosas. La superficie está constituida por fragmentos rocosos de diverso tamaño o bien por aluviones de granulometría fina.

Piroclastos. Fragmentos solidificados de magma, de dimensiones variables, proyectado al aire por una explosión volcánica.

Pisolitas. Se las llama perlas de las cuevas por su forma redondeada. Suelen presentarse en grupos y se forman por el crecimiento de finas capas de calcita alrededor de un núcleo de cualquier naturaleza sumergido en el agua de las cavernas.

Pitones. Relieves volcánicos en forma de crestas agudas formadas por la solidificación rápida del magma en las chimeneas y cráteres de los volcanes.

Progradante. Zona litoral, acantilado, plataforma, delta..., en la que se está produciendo un avance hacia el interior marino debido fundamentalmente al aporte sedimentario continuado.

Pudinga. Roca sedimentaria tipo conglomerado formada por fragmentos de contorno liso y redondeado debido a procesos de arrastre continuado en aguas continentales o marinas.

Socavamiento. Excavación de la zona baja de cualquier formación geológica, de forma que deja en su parte superior materiales y cornisas dispuestas en falso más fácilmente atacables por los agentes externos.

Subsidencia. Hundimiento del terreno que puede tener su origen en la interacción de placas tectónicas, en la presión de materiales que se van superponiendo en una cuenca sedimentaria o en períodos largos de cese de actividad en una región volcánica.

Tectónica. Ciencia geológica que estudia, a gran escala, las deformaciones, fracturas, subsidencias y elevaciones, originadas por el enfrentamiento de las placas que constituyen la corteza terrestre.

Vidrio volcánico. Roca ígnea volcánica de superficie brillante compuesta por silicatos aluminicos y una alta proporción de sílice (más del 70%), originada por el enfriamiento rápido de la lava emitida en una erupción, de modo que no da tiempo a que se produzcan cristalizaciones.

Zócalo. Masa rígida de rocas ígneas y/o metamórficas que en la corteza continental yace debajo de la cobertera sedimentaria formada por materiales depositados posteriormente.

Referencias bibliográficas

- Bravo Nieto, A. y Bellver Garrido, J.A. (2004). *Prehistoria del Rif Oriental en la obra de Carlos Posac Mon*. Instituto de Cultura Mediterránea.
- Chalouan, A., Michard, A., El Kadiri, K., Negro, F., Frizon de Lamotte, D., Soto, J.I. y Saddiqi, O. *The Rif Belt. Continental Evolution. The Geology of Morocco*. Springer-Verlag.
- Gómez-Gras, D. y Parcerisa, D. (2004). Sedimentología del Mioceno de la Ciudad Autónoma de Melilla. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17 (3-4), 169-185.
- Guillemin, M., Hernandez, J. y Wildi, W. (1983). Carte géologique du Rif, échelle 1/50 000, feuille Melilla. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, 297.
- Martín-Rojas, I. (2006). Las Unidades Internas del Sector de la Sierra de Gádor: Estructura y Evolución Geodinámica [Tesis doctoral, Universidad de Alicante]. <http://www.tesisde.org/t/las-unidades-internas-del-sector-de-la-s/2571/>
- Pineda, A., Salazar, A., Barrera, J.L., Gómez, D., Camarero, Y., Navas, M., Delgado, B y García, J. (2013). *Mapa Geológico de España 1:50.000. Melilla e islas Chafarinas*. Instituto Geológico y Minero de España. <http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna111111IN.pdf>
- Redondo Martínez, R., Sanz García, F.J., Marcos Contreras, G.J., Misiego Tejeda, J.C., Martín Carbajo, M.A., Del Caño García, L.A., Bellver Garrido, J., Bravo Nieto, A., Gámez Gómez, S., Blanco Franco, C. y Estefanía Romero Sánchez, E. (2004). Huerta de Reyes: un yacimiento del Aterriense localizado en Melilla. *Akros* 3, 97-106.
- Tomassetti Guerra, J. M. (1996). *Sidi Guariach: una cantera taller de industrias líticas en sílex de la Prehistoria reciente de Melilla*. Servicio de Publicaciones de la UNED.

- Yus, R., García, H., Gámez, S., González, J.A., Tapia, M., Jerez, D., Torres, A., Bueno, I. y Cabo, J.M. (2013). La Península de Tres Forcas. En R. Yus y J.M. Cabo (Ed.), *Historia Natural de la región de Melilla (Guelaya, Alborán y Chafarinas)* (Tomo V). Fundación Gaselec.
- Yus, R., García, H., Gámez, S., González, J.A., Tapia, M., Jerez, D., Torres, A., Bueno, I. y Cabo, J.M. (2013). La Zona de Melilla. En R. Yus y J.M. Cabo (Ed.), *Historia Natural de la región de Melilla (Guelaya, Alborán y Chafarinas)* (Tomo VI). Fundación Gaselec.
- Yus, R., García, H., Gámez, S., González, J.A., Tapia, M., Jerez, D., Torres, A., Bueno, I. y Cabo, J.M. (2013). El Macizo del Gourougou. En R. Yus y J.M. Cabo (Ed.), *Historia Natural de la región de Melilla (Guelaya, Alborán y Chafarinas)* (Tomo VII). Fundación Gaselec.
- Yus, R., García, H., Gámez, S., González, J.A., Tapia, M., Jerez, D., Torres, A., Bueno, I. y Cabo, J.M. (2013). Beni-Bu-Ifrur. En R. Yus y J.M. Cabo (Ed.), *Historia Natural de la región de Melilla (Guelaya, Alborán y Chafarinas)* (Tomo IX). Fundación Gaselec.
- Yus, R., García, H., Gámez, S., González, J.A., Tapia, M., Jerez, D., Torres, A., Bueno, I. y Cabo, J.M. (2013). La Mar Chica. En R. Yus y J.M. Cabo (Ed.), *Historia Natural de la región de Melilla (Guelaya, Alborán y Chafarinas)* (Tomo X). Fundación Gaselec.

Webgrafía

Glosario de Geología. Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales. https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#

Glosario. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. <https://www.cgeologos.es/glosario>

Anexos

Anexo I: Eras geológicas

ERA	Ma	PERÍODO	ÉPOCA
CENOZOICO	0.01	Cuaternario	HOLOCENO
	2.6		PLEISTOCENO
	5.3	Terciario	PLIOCENO
	23		MIOCENO
	34		OLIGOCENO
	56		EOCENO
	66		PALEOCENO
MESOZOICO	145	Cretácico	
	201	Jurásico	
	235	Triásico	
PALEOZOICO	299	Pérmico	
	359	Carbonífero	
	417	Devónico	
	444	Silúrico	
	485	Ordovícico	
	541	Cámbrico	
TIEMPOS PRECÁMBRICOS			

TIEMPOS PRECÁMBRICOS

Anexo II. Etapas del Cenozoico

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD	Ma
CENOZOICO	CUATERNARIO			2.59
	NEÓGENO	PLIOCENO	Piacenzense	3.60
			Zancliense	5.33
		MIOCENO	Messiniense	7.25
			Tortonense	11.62
			Serravallense	13.82
			Langhiense	15.97
			Burdigaliense	20.44
			Aquitaniense	23.03
	PALEÓGENO			66.5

El libro de la historia geológica melillense se abre visualmente en el Messiniense (7,25-5,33 Ma), último período del Mioceno Terciario.

Lo hace en dos direcciones, la sedimentaria y la volcánica, que van alternando sus páginas hasta el Cuaternario actual. La serie sedimentaria marina, con facies arrecifales, de plataforma y deltaicas, está bien representada y expuesta en la mitad septentrional del territorio, sobre todo en su litoral acantilado. Los materiales volcánicos solo afloran superficialmente en zonas del suroeste de la ciudad, en forma de andesitas, basaltos, tobas y de grandes cantos rodados arrastrados por los arroyos que bajan del macizo del Gurugú.

