

MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONOCIMIENTO SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO APOYO A LA GESTIÓN HIDROLÓGICA DE LA CIUDAD DE MELILLA (2015-2017) FASE 1ª.

DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE ACUÍFEROS Y ÁREAS DE INFILTRACIÓN EN BASE A LA REVISIÓN DE LA GEOLOGÍA DE MELILLA

Noviembre 2017

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Mapa geológico de la Demarcación de Melilla y del entorno del Cabo Tres Forcas y Gurugú 1:50.000.....	4
3. Cartografía geológica 1:10.000	11
4. Análisis Hidrográfico de la Demarcación de Melilla y del entorno del Cabo Tres Forcas y Gurugú 1:50.000.....	13
5. Sobre las masas de agua de la Demarcación, la relación entre acuíferos y las áreas de infiltración	16
6. Referencias.....	31

1. Introducción

La presente memoria corresponde a la actividad 3 prevista en el Convenio específico de colaboración establecido entre la Consejería de Medio Ambiente de la Ciudad Autónoma de Melilla y el Instituto Geológico y Minero de España para los años 2015 a 2020.

Esta actuación viene recogida en el Programa de Medidas del Proyecto de Plan Hidrológico entre las medidas de protección y recarga de acuíferos.

El informe recoge una evaluación provisional de las relaciones entre las diferentes masas de agua y acuíferos, así como de las áreas de infiltración tomando como base la revisión geológica realizada en la Ciudad Autónoma, así como la cartografía geológica a escala 1:10.000, el modelo geológico 3D realizado, la información de columnas de sondeos, las campañas geofísicas realizadas con anterioridad y la gravimetría específica realizada en el marco del proyecto.

Todo ello en espera de obtener más información como resultado de las columnas de sondeos de investigación previstos, de los ensayos de bombeo a realizar en los acuíferos calizo y volcánico, así como de los reconocimientos a realizar en los sondeos existentes con los equipos de testificación geofísica de la Unidad Móvil, la evaluación de la recarga, etc.

Para la realización de las actividades incluidas en este informe se ha utilizado el equipamiento de la Unidad móvil para estudios hidrogeológicos y medioambientales disponible en la Unidad Territorial del IGME en Granada, cofinanciada con Fondos Feder (referencia proyecto IGME 10-IE-1284).

La elaboración de esta memoria ha sido realizada por Carlos Marín Lechado, Juan Carlos Rubio Campos, Crisanto Martín Montañés, Jorge Jiménez Sánchez y Ana Ruiz Constan.

2. Mapa geológico de la Demarcación de Melilla y del entorno del Cabo Tres Forcas y Gurugú 1:50.000

Para entender las relaciones entre acuíferos y determinar las áreas de infiltración de los mismos en Melilla, es necesario conocer el entorno geológico de la Ciudad Autónoma, tanto dentro como fuera de sus límites.

La región de estudio se sitúa en la parte oriental de la Cordillera del Rif, en la costa norte del continente africano. Esta cordillera, junto con la Cordillera Bética, constituye la parte más occidental de la cadena Alpina Mediterránea y sus relieves son resultado de la convergencia oblicua entre las placas Euroasiática y Africana desde el Tortonense (DeMets et al., 1994). En concreto, la Ciudad Autónoma de Melilla (Fig. 1) se localiza sobre la denominada cuenca de Melilla-Nador, una de las cuencas post-orogénicas del NE del Rif. Está limitada en su extremo norte por el Cabo de Tres Forcas, con 400 m de altitud, y en su extremo sur por el monte Gurugú, con una cota de 893 m sobre el nivel del mar. Los extremos oriental y occidental se abren al Mar de Alborán, el extremo más occidental del Mar Mediterráneo.

Al oeste de Melilla afloran las Zonas Externas de la Cordillera del Rif (Andrieux, 1971; Ben yaïch, 1991; Asebriy, 1984) (Fig. 1). Las rocas pertenecientes a las Zonas Externas más próximas a Melilla corresponden al Mesorif, principalmente constituido por materiales margosos y calcáreos de edades mesozoicas y cenozoicas (Azdimousa, 1998), en algunos casos afectados por un ligero metamorfismo (Frizon De Lamotte, 1982). Las zonas internas de la Cordillera del Rif afloran en una reducida extensión al norte de Melilla e inmediatamente al sur del cabo de Tres Forcas en el monte Tarjat. Estas rocas están constituidas por filitas, micaesquistos y cuarcitas. Estos materiales, si bien no afloran en Melilla, han sido cortados por un sondeo profundo localizado en el aeropuerto y conforman el basamento de los sedimentos miocenos de Melilla (Fig. 2).

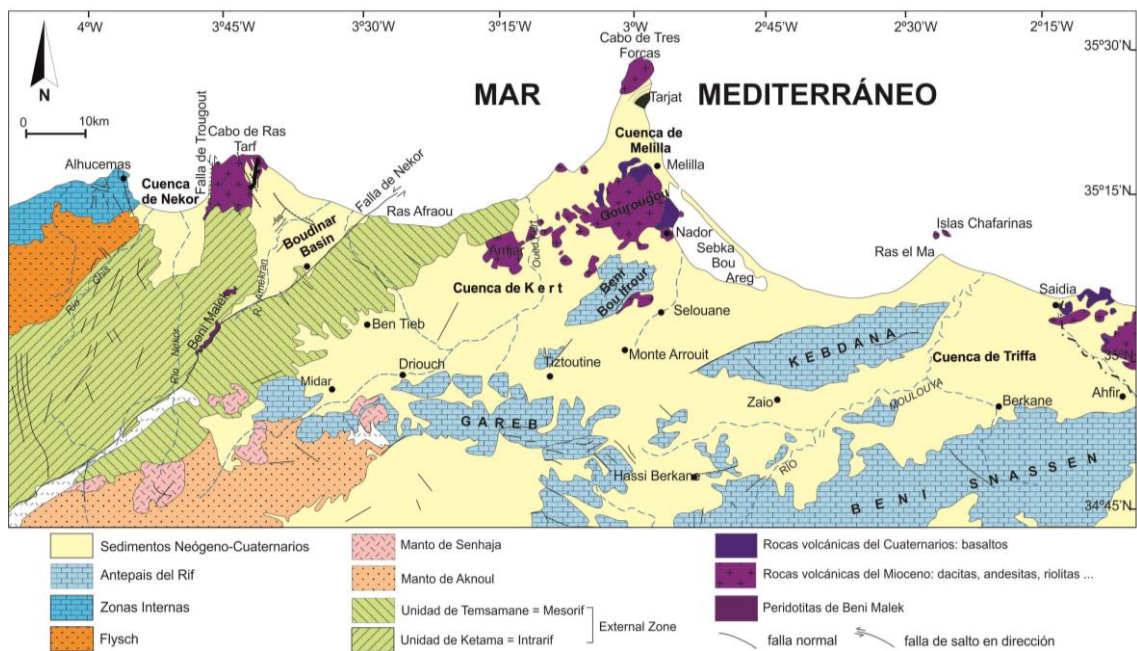


Figura 1. Mapa geológico de la Cordillera del Rif en el sector de Melilla (Modificado de Anahnah, 2008).

Además, existen volcanes que constituyen relieves importantes del Rif oriental (Ennadifi, 1974; Leblanc, 1979; Hernandez, 1983). Entre ellos destacan el Volcán del Cabo de Tres Forcas y el Volcán de Gurugú. El primero de ellos se localiza en la parte N de la Cuenca de Melilla y una buena parte se encuentra sumergida a centenares de metros de la costa. Las lavas son riolíticas y dacíticas y se han asociado a cuatro fases de actividad volcánica. La edad estimada para este volcán es de 9.6 Ma. (Bellon, 1976). Al sur de la Cuenca de Melilla se localiza el Monte del Gurugú, un estratovolcán muy erosionado que ha estado en actividad desde los 9,5 Ma. (Tortonense) hasta los 2,6 Ma. (Plioceno superior) (Hernandez y Bellon, 1985) y constituye el mayor complejo volcánico neógeno nor-magrebí (Maury et al., 2000).

Un mapa geológico de la región a una escala adecuada, permite la caracterización de las diferentes rocas que afloran en la región, así como la determinación de la estratigrafía de los sedimentos neógenos de la Cuenca de Melilla, la localización de los diferentes niveles de coladas volcánicas en el Monte Gurugú y la disposición del basamento metamórfico en el Cabo de Tres Forcas. Afortunadamente, existen mapas geológicos a escala 1:50.000 realizados por el Servicio Geológico de Marruecos equivalentes a la serie MAGNA del IGME. Esta cartografía es muy interesante porque permite estimar, al menos de forma cualitativa, las permeabilidades de las rocas aflorantes a partir de la descripción litológica de estas. De esta forma podemos empezar a comprender el funcionamiento hidrogeológico de la región, la relación entre los diferentes acuíferos y la distribución de las masas de agua.

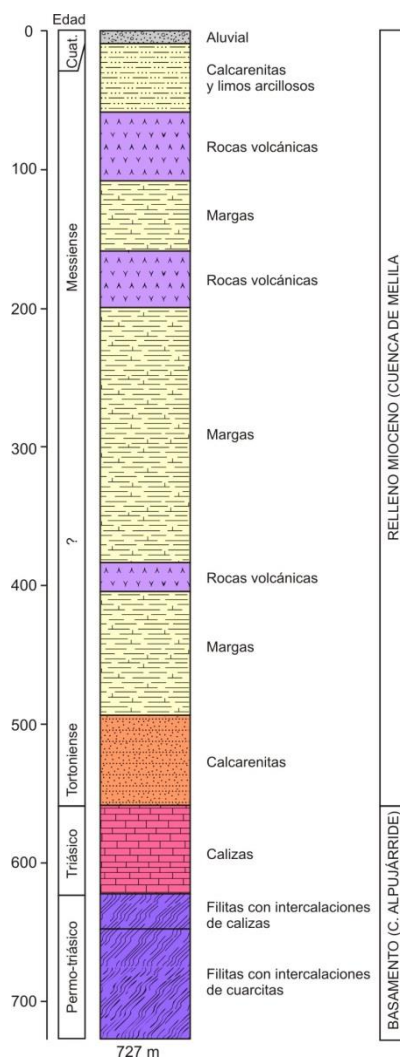


Figura 2. Sondeo Aeropuerto III en Melilla con una profundidad total de 727 m y que corta todo el relleno sedimentario cuaternario y terciario y alcanza el basamento de la región. (Coordenadas: X:504130 Y:3.903.545 ETRS89).

Los mapas geológicos de Marruecos se encuentran editados en formato papel, por lo que para un mejor análisis de la información se han digitalizado para utilizarlos en un sistema de información geográfica. Los mapas geológicos digitalizados se muestran en la tabla 1 y en la figura 3.

Hoja Geológica	Año de realización	Escala
Melilla	1983	1:50.000
Zenghane	1996	
Nador	2002	

Tabla 1: Hojas geológicas digitalizadas a escala 1:50.000 del Servicio Geológico de Marruecos.

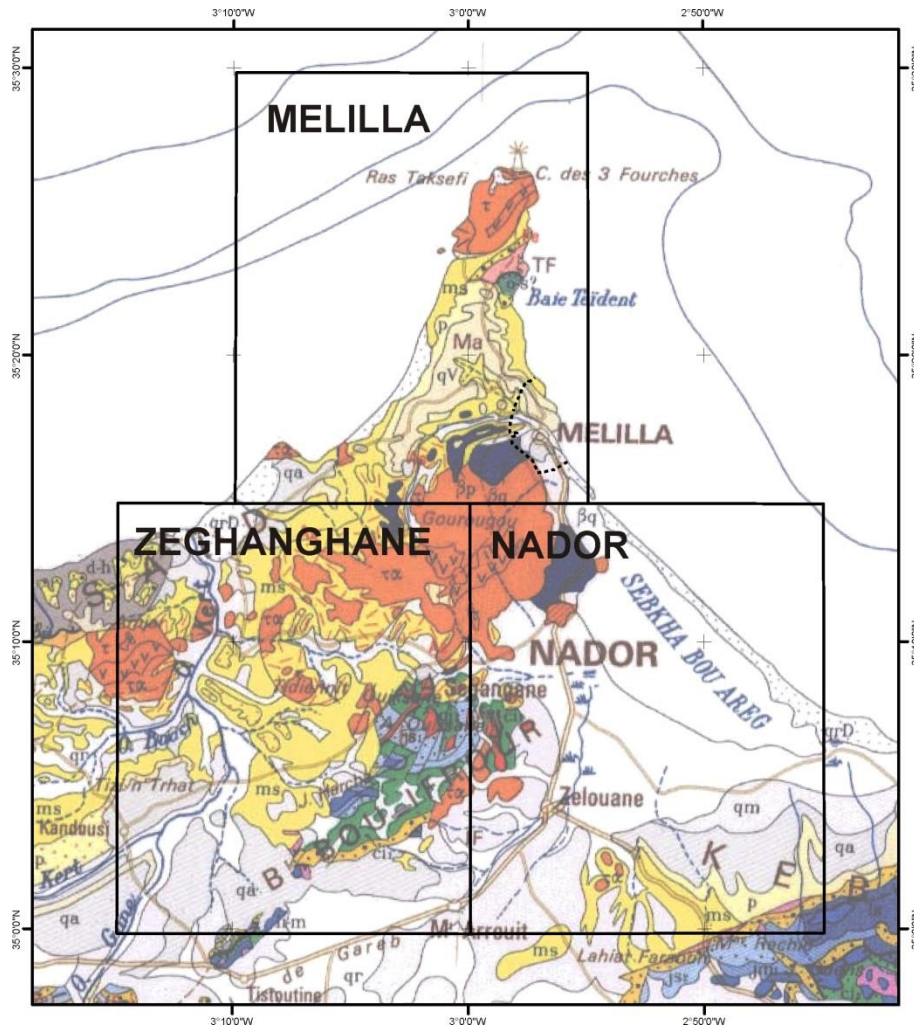


Figura 3: Localización de los mapas geológicos a escala 1:50.000 del Servicio Geológico de Marruecos digitalizados para este proyecto.

Antes de comenzar el proceso de digitalización de los mapas se escanearon y se georeferenciaron en ARCGIS a su sistema de proyección original (Elipsoide Clarke 1880, Sistema geodésico Merchic, Proyección cónica conforme Lambert Norte-Marruecos). A continuación se reproyectaron estas imágenes al sistema de coordenadas utilizado para la cartografía española (ETRS 1989 UTM zona 30N). Se digitalizaron en primer lugar los contactos geológicos y posteriormente se generaron los recintos geológicos (polígonos).





En los límites entre hojas geológicas la digitalización de los contactos se forzó para que tuvieran continuidad, es decir, los contactos que pasan de una hoja a otra son continuos. También se definió una leyenda geológica común a los tres mapas (Fig. 4). En las figuras 5A y 5B, se puede observar la comparación entre el mapa original escaneado y el resultado final digitalizado.

LEYENDA





Rocas Volcánicas

	Absarokitas
	Basaltos
	Shoshonitas
	Adesitas
	Latitas básicas
	Latitas con anfíbolita
	Latitas con biotita
	Traquitas
	Traquitas con fayalita
	Traquitas cuarcíferas
	Piroclastitas
	Brechas con cineritas
	Piroclastitas
	Brechas con cineritas
	Brechas con Jaspes y porcelanitas
	Riolitas
	Tufitas

Basamento Zonas Internas

	Filitas con cuarcitas
	Costra ferruginosa
	Cuarcitas
	Micaesquistos con intercalaciones de cuarcitas


Plioceno

	margas grises, arcillas y porcelanitas
	Arcillas grises yesíferas, limos rosas, areniscas y conglomerados
	Calizas lacustres
	Margas arenosas amarillentas

Sedimentos Tort. sup. - Messienense

	Margas arenosas
	Tufitas y cineritas
	Tufitas intercaladas entre las margas
	Calizas lacustres
	Arenas y areniscas de estuario
	Arenas y areniscas litorales
	Margas verdes con lentejones de calizas organógenas
	Calizas, arenas y areniscas
	Calizas arrecifales

Sedimentos Tort. inferior - medio

	Conglomerado
	Margas arenosas

Cuaternario

	Depósitos antrópicos
	Limos de terrazas
	Aluvial
	Cordon litoral
	Arenas dunares
	Dunas
	Limos rosas aluviales
	Aluviales y terrazas con una fina calcreta
	2ª superficie de terrazas encostradas
	3ª superficie de terrazas encostradas
	Cuaternario indiferenciado
	Costras calcáreas
	limos arenosos y dunas
	Costras calizas gruesas cubiertos de limos recientes
	Conglomerados y brechas

Figura 4: Leyenda del mapa geológico digitalizado a escala 1:50.000 del entorno de Melilla. El mapa geológico completo se encuentra en el anexo 1.

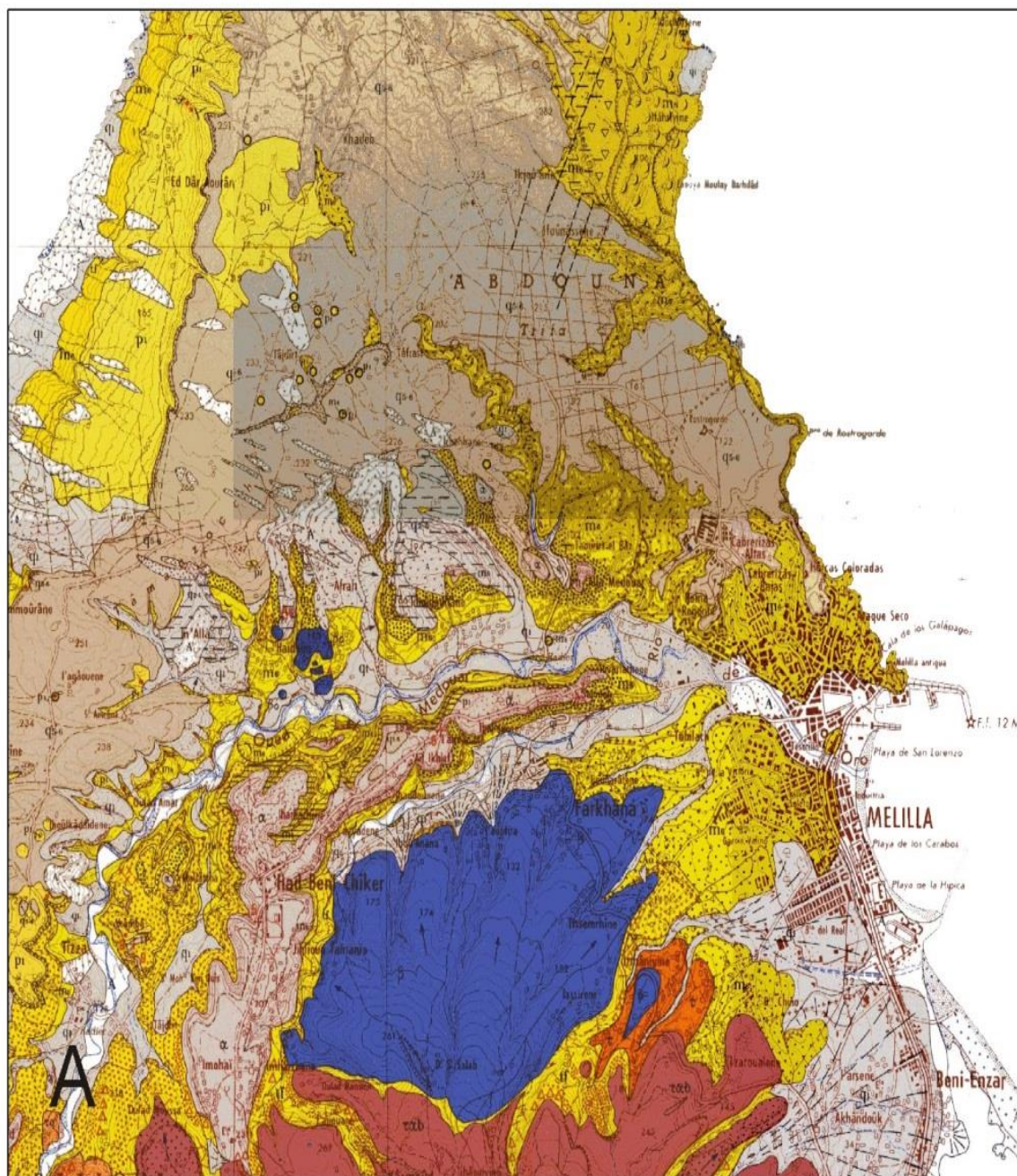


Figura 5A: Detalle del mapa escaneado de Melilla a escala 1:50.000 del Servicio Geológico de Marruecos.

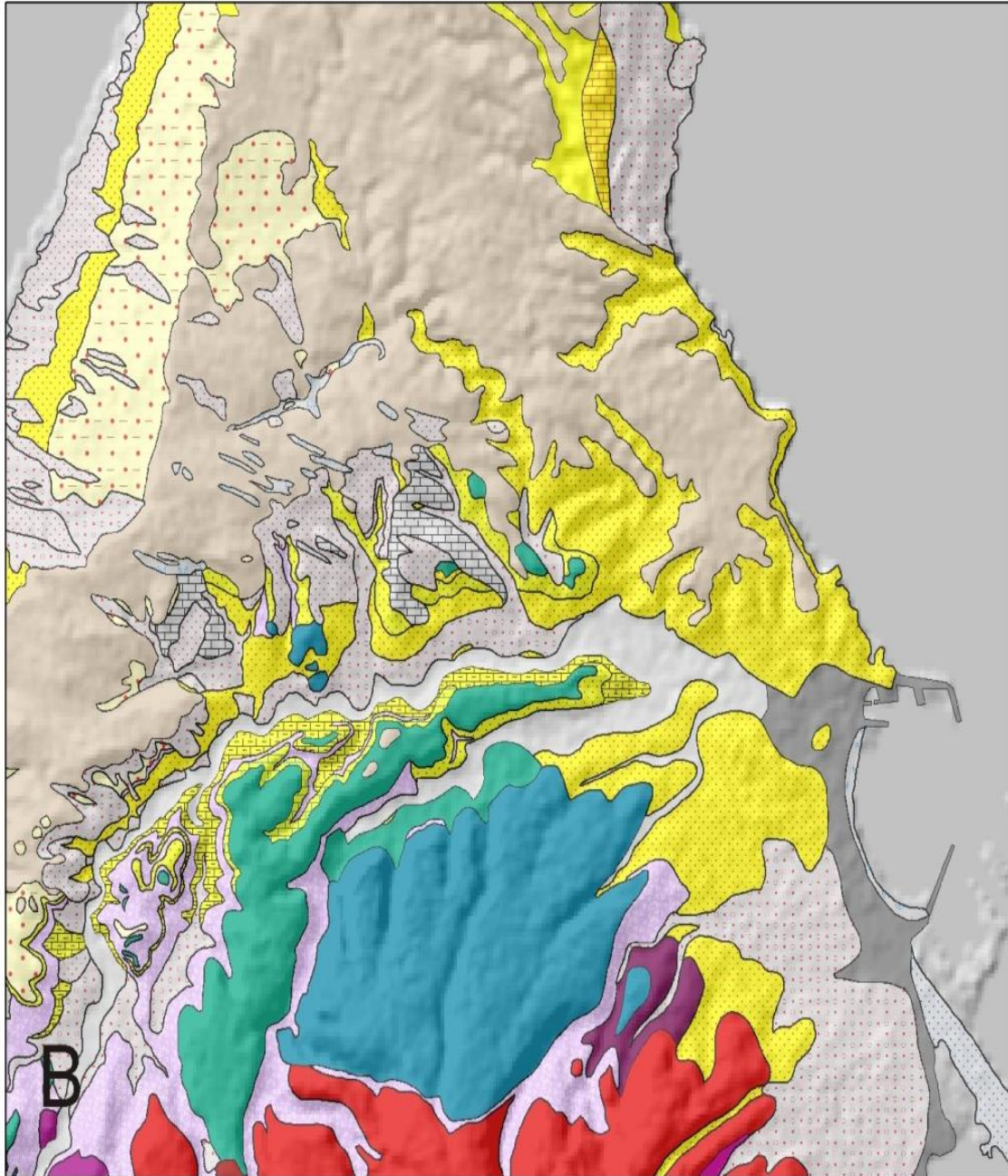


Figura 5B: Misma área del entorno y de la Ciudad Autónoma digitalizada con ARCGIS.

3. Cartografía geológica 1:10.000

Otra de las tareas realizadas ha sido la de la cartografía geológica a escala 1:10.000.

No se trata de una nueva cartografía, sino de una adecuación de los contactos geológicos del mapa geológico a escala 1:25.000 del IGME a la escala 1:10.000. De esta forma se mejora la precisión de los contactos geológicos con respecto a la versión a escala 1:25.000.

Para mejorar la precisión de los contactos geológicos se ha realizado fotointerpretación geológica. Tradicionalmente la fotointerpretación geológica se realiza con un estereoscopio y pares de fotografías aéreas. En este proyecto, sin embargo, se ha realizado la fotointerpretación con el software ARCSCE en un entorno 3D. Este método consiste en la visualización 3D del modelo digital del terreno sobre el que se superpone una ortofotografía aérea además de otra información auxiliar como la cartografía previa. La gran ventaja de esta metodología es que podemos utilizar fotografías de diferente resolución o calidad, tener vistas en cualquier dirección del espacio diferentes a la cenital, hacer zoom, etc. En la figura 6, se muestra el aspecto que tiene la vista 3D en la pantalla del ordenador.

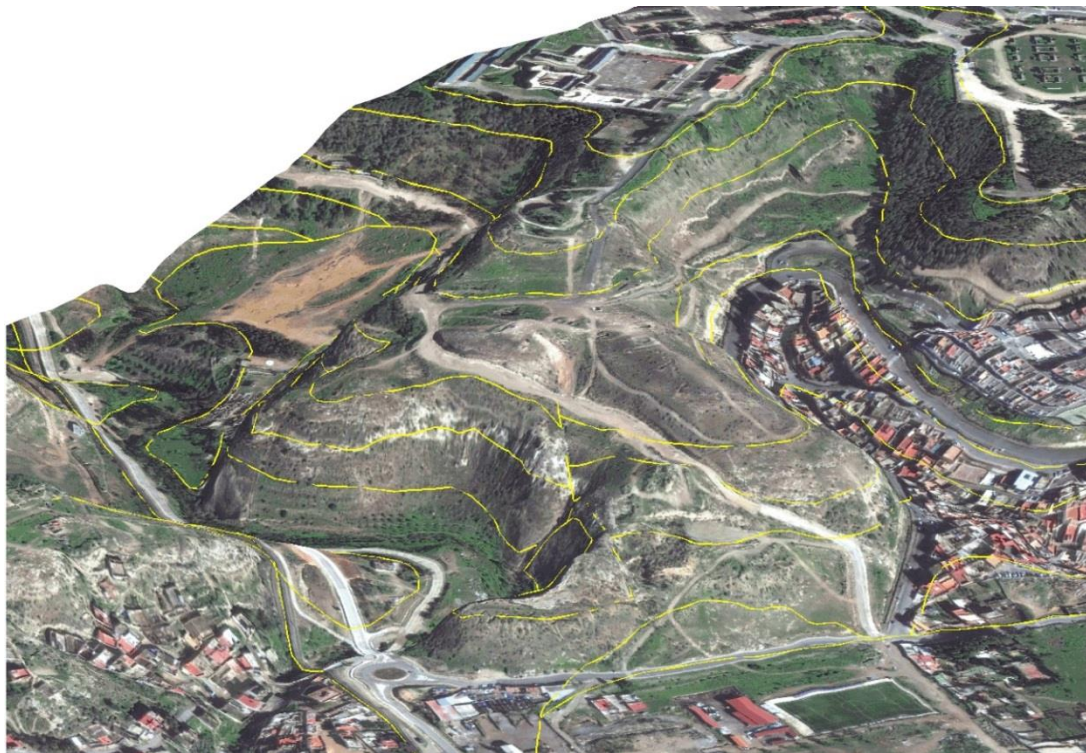


Figura 6: Modelo digital del terreno con la ortofotografía superpuesta y los contactos geológicos digitalizados.

El modelo digital del terreno utilizado corresponde al modelo MDT05 suministrado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de 5 metros de paso de malla <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>. La ortofotografía superpuesta al modelo ha sido la que proporciona el servidor Bing Maps

<https://www.bing.com/maps> . Se considera que esta ortofotografía presenta una mayor definición y contraste para este trabajo que la ortofotografía PNOA del IGN.

La base topográfica utilizada para el mapa geológico confeccionado se corresponde al mapa topográfico MTN25 vectorial del IGN a escala 1:25.000. Aunque existe una cartografía a escala 1:2.000 de la Ciudad Autónoma de Melilla, esta no ha sido utilizada debido a que presenta demasiado detalle para la escala de trabajo.

En el Anexo 2 se muestra el mapa geológico a escala 1:10.000. La leyenda geológica de este mapa es la misma que la del original a escala 1:25.000 editado por el IGME.

4. Análisis Hidrográfico de la Demarcación de Melilla y del entorno del Cabo Tres Forcas y Gurugú 1:50.000

El análisis hidrográfico de Melilla y del entorno del Cabo de Tres Forcas y el monte Gurugú es necesario para conocer la distribución de las cuencas hidrológicas y la red de drenaje que termina vertiendo sus aguas superficiales a la Ciudad Autónoma de Melilla. Tradicionalmente la delineación previa de las cuencas y la red de drenaje, se realizaba de forma manual a partir de la información proporcionada por los mapas topográficos, pero el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) permite automatizar este proceso. Para ello es necesario utilizar como información de entrada modelos digitales del terreno (MDT) en formato raster. Si bien existe el modelo digital MDT05 del IGN con paso de malla de 5 metros, no se dispone de un modelo similar en territorio marroquí. Por ello, se ha utilizado el modelo digital ASTER V2 con una resolución de 1 arco de segundo (unos 38 metros aproximadamente) realizado por la NASA <https://asterweb.ipl.nasa.gov/gdem.asp>.

El análisis hidrológico con ARCGIS permite definir 4 cuencas hidrográficas que vierten sus aguas superficiales a la Ciudad Autónoma de Melilla y han sido denominadas Río de Oro, Río Igsar Armanien, Barrio Chino y Rostrogordo. La localización geográfica de estas cuencas se representan en la figura 7. Como se puede observar en la imagen, las cuencas hidrográficas obtenidas se ubican entre Marruecos y la Ciudad Autónoma de Melilla, a excepción de la Cuenca de Rostrogordo localizada íntegramente en Melilla. También se representa la Subcuenca del Río Tigorfatén o Río Nano en Melilla, perteneciente a la Cuenca del Río de Oro debido a su importancia por su extensión. La cuenca de mayor extensión corresponde al Río de Oro con 91,4 km². El Río de Oro nace en la falda norte del Monte Gurugú al Suroeste de Melilla donde se denomina Río Meduar con una longitud total de 20,6 km. Los afluentes de la margen izquierda son los arroyos Tigorfaten que en la Ciudad Autónoma se denomina Río Nano y el Arroyo Taxeriestín en territorio marroquí. En la margen derecha los afluentes al Río de Oro son el Barranco de Alfonso XII y los arroyos Sidi-Guariach y Farhana.

Cuenca	Area Km ²	Longitud máxima (km) ^a	Factor de forma ^b	Densidad de drenaje
Río Oro (*)	91.4	21.05	0.21	0.79
Igsar Armenien	8.2	6.98	0.17	0.93
Barrio Chino	3.6	2.54	0.56	0.72
Rostrogordo	3.1			

Tabla 2: Morfología de las cuencas vertientes a la Ciudad Autónoma de Melilla.

^a Longitud máxima del cauce principal.

^b Cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima.

^c Cociente entre la longitud total de cauces y el área de la cuenca.

* Señalar que dentro de la Cuenca del Río de Oro se incluye la Subcuenca de Tigorfaten con 17,3 km².

La cuenca del Río Igsar Armanien y del Barrio Chino tienen 8,2 y 3,6 km² de extensión respectivamente y se localizan en la falda noroeste del Monte Gurugú. Por último la Cuenca de Rostrogordo corresponde a un área vertiente cuyas aguas de escorrentía vierten a los acantilados de Aguadul, Punta de Rostrogordo, Los Cortados de Horcas y la Cala del Galápagos sin desarrollar una red de drenaje reseñable.

Estos ríos y arroyos tienen una ausencia de escorrentía la mayor parte del año, presentando caudal únicamente cuando se producen lluvias continuadas, por lo que tienen un régimen fluvial de tipo rambla. No obstante cuando existe un desarrollo de depósitos aluviales como en el Río de Oro existe un flujo de aguas subterráneas durante todo el año como se ha podido constatar en los registros de los niveles piezométricos del aluvial de los sondeos de investigación realizados en el 2016 en el marco de este proyecto.

En la tabla 2 se muestran los principales valores morfológicos de las cuencas analizadas.

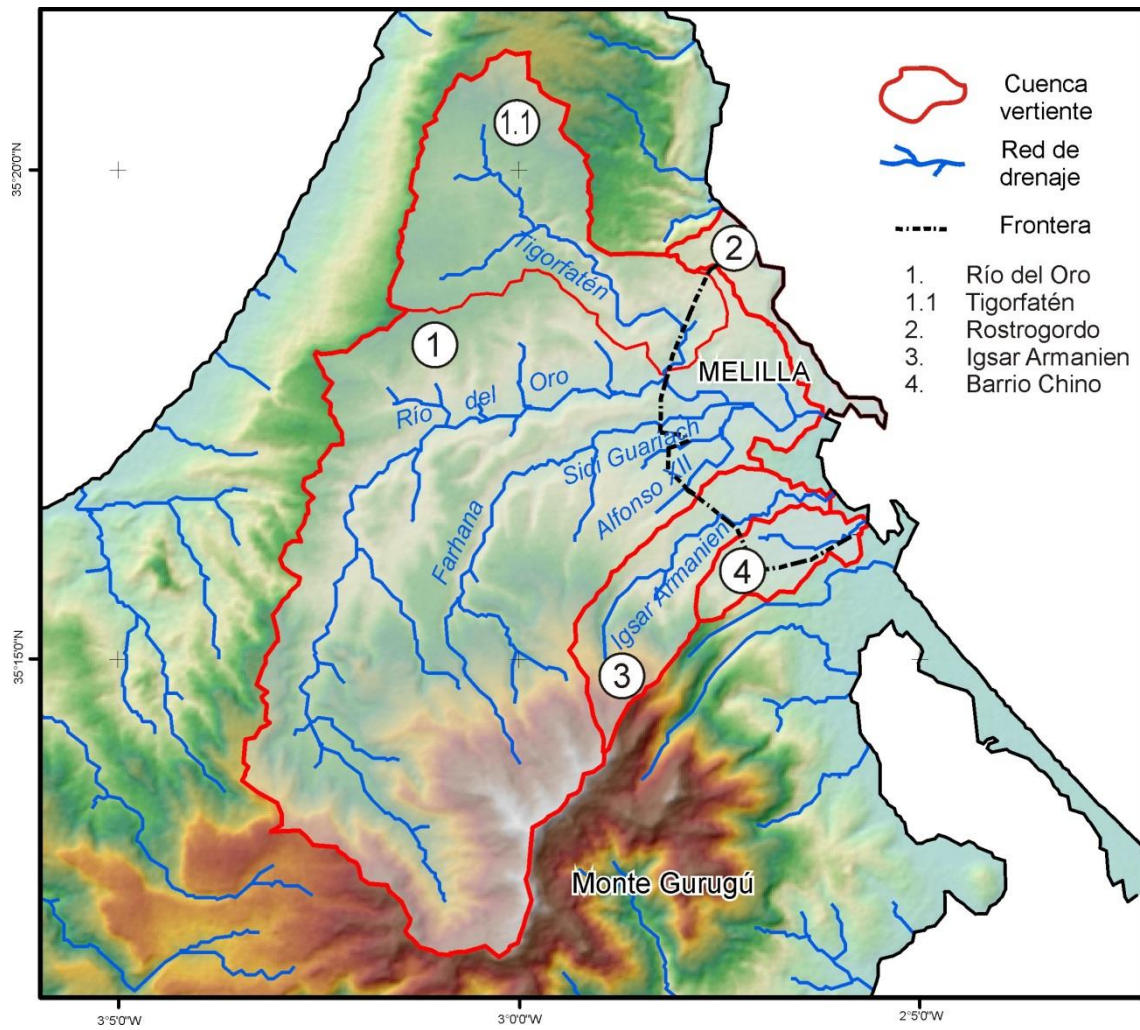


Figura 7: Distribución de las cuencas hidrológicas que drenan la escorrentía superficial hacia la Ciudad Autónoma de Melilla.

5. Sobre las masas de agua de la Demarcación, la relación entre acuíferos y las áreas de infiltración

La Demarcación hidrográfica de Melilla está situada al sur del Mar de Alborán. Se localiza en la cara oriental de la península de Tres Forcas, junto a la albufera de la Mar Chica y al pie del monte Gurugú, situado al SW del territorio. Tiene una superficie de 24 km² y su máxima altura apenas sobrepasa los 130 metros sobre el nivel del mar. Toda el área presenta un relieve de escasa altitud, sin fuertes pendientes, lo que proporcionará una escasa resistencia a los vientos del Atlántico y del Mediterráneo.

La Demarcación presenta un clima mediterráneo con temperaturas cálidas (18,6 °C de media anual) y escasas precipitaciones, estas se reducen a 370 milímetros anuales, pero presentan una gran irregularidad interanual.

Geológicamente, Melilla se encuentra dentro de la cuenca neógena de Melilla (o Melilla-Nador), que es una de las cuencas post-orogénicas del noreste de la región del Rif. Los afloramientos de estos materiales del Mioceno superior fosilizan los principales eventos orogénicos alpinos y son fácilmente identificables a lo largo del Corredor Rifeño. Precisamente, en esta zona del noreste del Rif donde se ubica geográficamente Melilla, aflora un complejo carbonático marino somero, de edad Messiniense, que se dispone sobre la vertiente sur de un alto estructural (cabo de Tres Forcas) compuesto por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias.

La red fluvial de Melilla tiene como eje fundamental el Río de Oro. Los ríos de la zona, teniendo su nacimiento en el sistema orográfico del Rif, muy cercanos a la costa, casi siempre de curso intermitente, alimentados principalmente por aguas pluviales no han sido considerados como masa de agua superficial.

Se distinguen tres masas de agua subterránea (Aluvial del Río de Oro, Acuífero Calizo y Acuífero Volcánico) (figura 8).

Los puntos de abastecimiento principales con agua subterránea se reflejan en la figura 9.



Figura 8: Situación de captaciones subterráneas (MAGRAMA, 2014).



Figura 9. Puntos de abastecimiento actuales (MAGRAMA, 2014).

A partir de la revisión geológica realizada a escalas 1:50.000 y 1:10.000 se propone una definición actualizada de los acuíferos; si bien queda a expensas de mejoras en su definición posterior en el marco de los trabajos del Convenio específico de Colaboración. Así en la figura 10 se muestra esta cartografía actualizada de los acuíferos, de sus límites y de su litología asociada, tanto dentro como fuera de la Demarcación Hidrográfica.

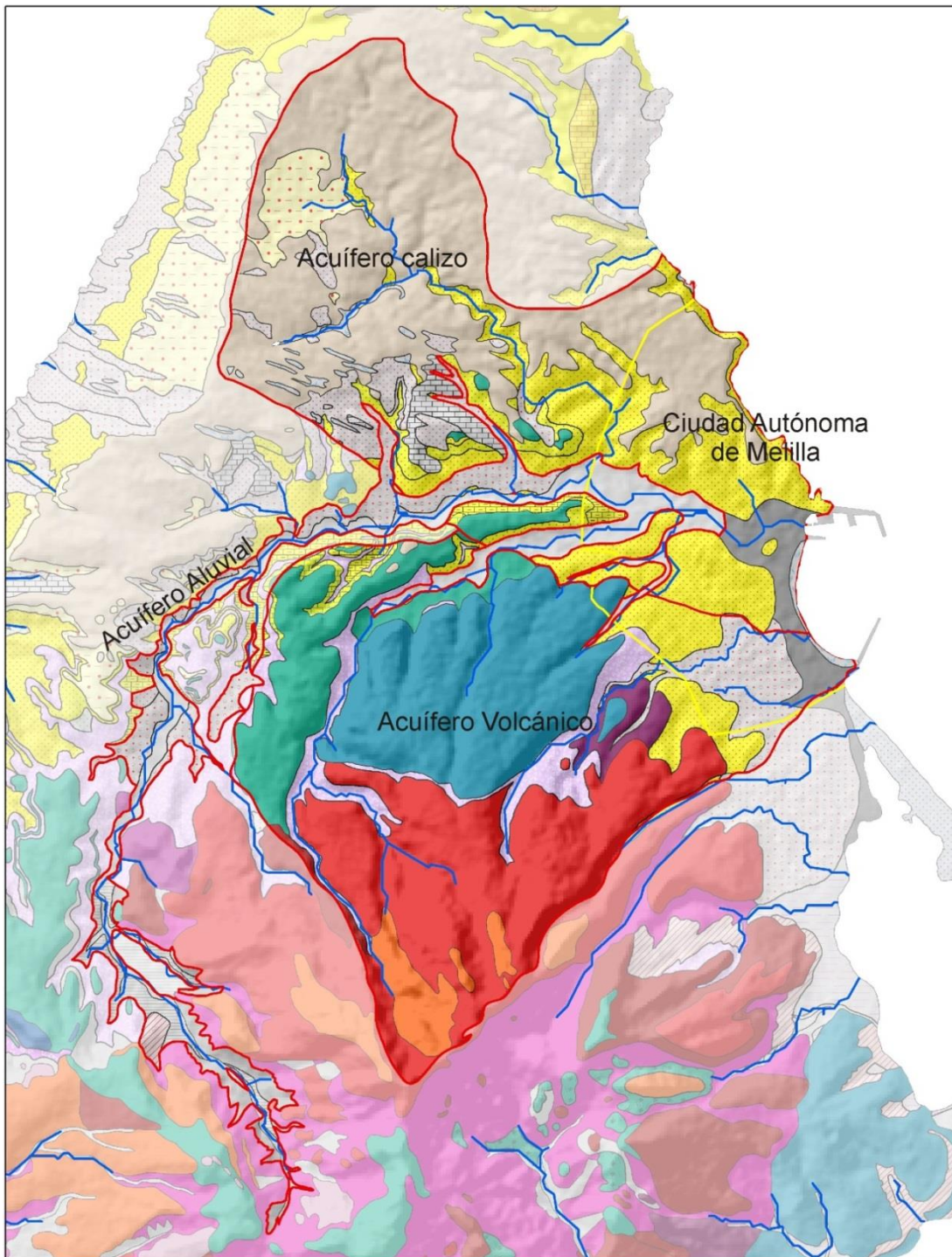


Figura 10: Mapa geológico y acuíferos asociados del entorno de la Ciudad Autónoma y de la Demarcación de Melilla. Se resalta las áreas estimadas de infiltración de los acuíferos calizo, aluvial y volcánico. La leyenda geológica se muestra en la figura 4.

A partir del mapa geológico digitalizado 1:50.000 se han asignado, provisionalmente, permeabilidades en función de la litología.

Así, a las formaciones aluviales se le ha asignado una permeabilidad (Alta-Media), a las formaciones detrítico-carbonatadas (Alta-Media-Baja) y a las volcánicas (Alta-Media-Baja). Ver figura 11.

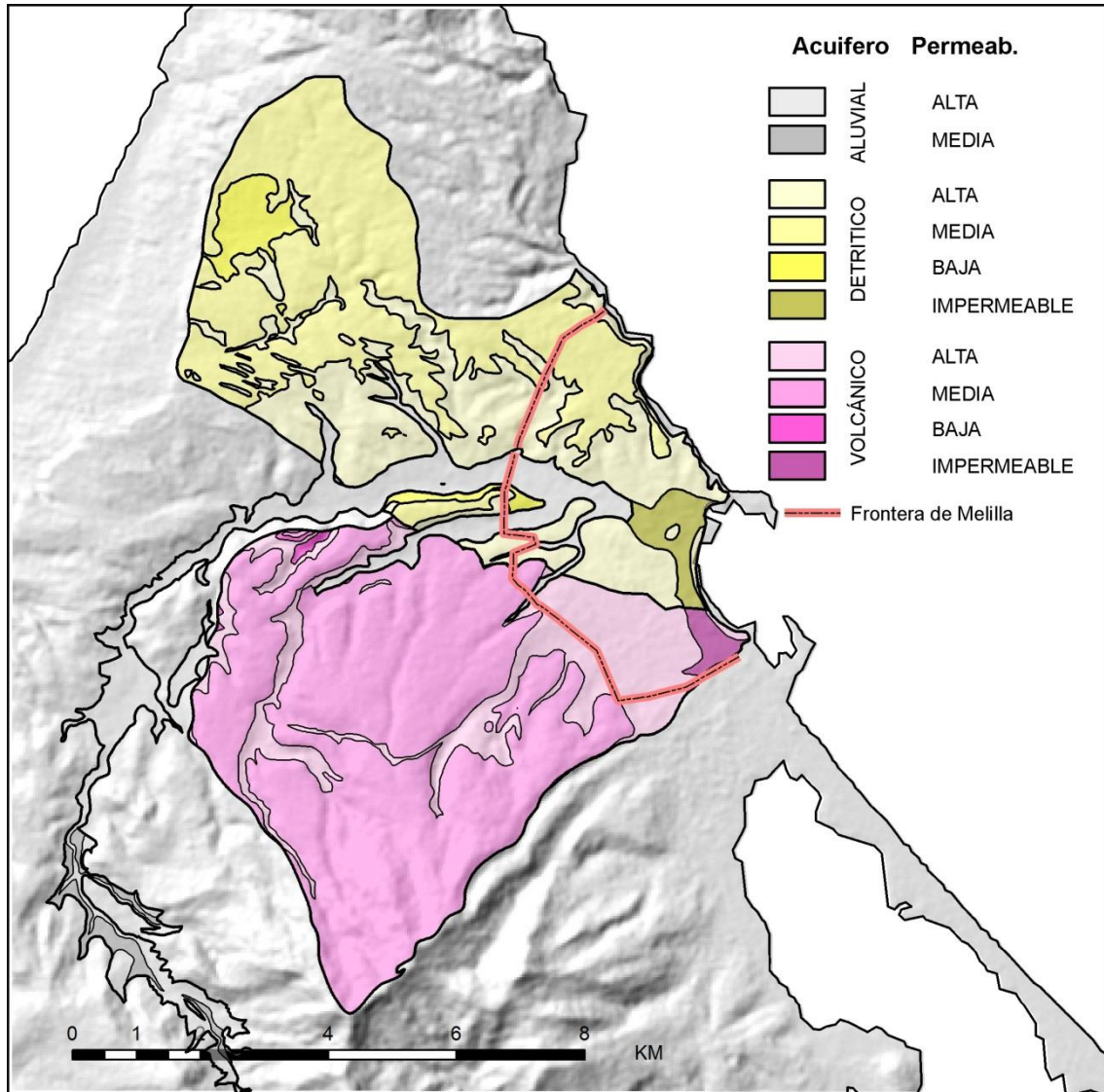


Figura 11: Distribución de la permeabilidad en los acuíferos aluvial, detrítico y volcánico. La permeabilidad se ha estimado en función del tipo de roca aflorante.

Además, se han estimado las áreas totales de infiltración relacionándolas con su grado de permeabilidad (Alta-Media-Baja e Impermeable), cuya infiltración del agua de lluvia supondría los recursos renovables máximos, a priori, que de forma natural entrarían en los diferentes acuíferos (Volcánico, Calizo y Aluvial), de no existir aprovechamientos y explotaciones fuera de la Demarcación.

En la tabla 3 se muestran las áreas totales de infiltración y las diferentes superficies en función de su permeabilidad

Acuífero	Area total infiltración km ²	Area km ² Permeabilidad Alta	Area km ² Permeabilidad Media	Area km ² Permeabilidad Baja	Area km ² Impermeable (urbano)
Aluvial Río Oro	9,4	8,6	0,8	--	
Volcánico	34,8	8,0	26,1	0,2	0,5
Calizo	31,4	12,6	16,0	1,7	1,1

Tabla 3: Áreas de infiltración por acuífero y grado de permeabilidad

Esta información es un punto de partida clave para la realización posterior de un balance de las diferentes masas de agua, en lo que se refiere a su aprovechamiento sostenible.

Acuífero Calizo

El Acuífero Calizo se encuentra al norte de la Demarcación, limitado por la frontera al oeste y con el mar Mediterráneo al este. Su límite sur en superficie lo marca el contacto entre las arenas, arenas calcareníticas y limos blanco-grises del Messiniense con las arenas volcánicas en el arroyo de Sidi Guariach y las proximidades del aeropuerto.

Fundamentalmente está formado por conglomerados, calcarenitas, calizas de algas, brechas, arenas y limos del Mioceno superior del Messiniense. A techo se sitúan caliches y costras carbonáticas del Holoceno. Se extiende al norte del aluvial del río de Oro; si bien existen afloramientos al sur, en la margen derecha del cauce.

Este acuífero se alimenta, además de por la infiltración de la precipitación, por la infiltración superficial, a través de los cauces que lo atraviesan, principalmente el Río Nano y por el oeste a favor de las capas permeables que comunican con el Acuífero Norte de Tigorfaten, que se encuentra en territorio extra comunitario dentro de la cuenca hidrográfica.

El Mioceno de Melilla ha sido ampliamente descrito por Gómez-Gras y Parcerisa (Gómez-Gras y Parcerisa, 2004). Los autores aportan un análisis en el que distinguen una Unidad Carbonática Inferior, una Unidad Detrítica Intermedia y una Unidad Carbonática Superior. La inferior está conformada por calizas arrecifales, y calcarenitas de plataforma; la intermedia por areniscas y la superior por calcarenitas.

La serie terciaria, recogida en el Mapa Geológico Nacional (Pineda Velasco et al., 2013) (Fig. 12 y 13), neógena y marina, está bien expuesta, si bien no completa, en la mitad septentrional del territorio. Los estratos superiores de la Unidad Carbonática Inferior (UCI) visibles de la serie están constituidos por facies arrecifales y de talud arrecifal [colonias de corales tipo porites (Unidad Cartográfica 6)], con potencias variables de hasta 20 metros sobre las que se disponen calizas de moluscos y algas rojas, calcarenitas y calciruditas blancas (Unidad Cartográfica 7) con buzamientos de 10-20° y potencia aproximada de 25 metros. Sobre ellas se disponen facies deltaicas (Unidad Detrítica Intermedia) (UDI) formadas por areniscas, arenas y limos de color

amarillo (Unidad Cartográfica 8) con potencias en torno a los 30 metros. Finalmente, sobre ellas, se depositaron facies de plataforma carbonatada (Unidad Carbonática Superior) (UCS) con una potencia aproximada de 50 metros y constituidas por arenas, calcarenitas y limos blancos-grises (Unidad Cartográfica 9), calizas oolíticas con silicificaciones (10), calizas oolíticas y calcarenitas blanquecinas con niveles estromatolíticos (Unidad Cartográfica 11) y finalmente arenas y limos grises o amarillentos (Unidad Cartográfica 12).

A modo de resumen, el Acuífero Calizo se puede subdividir en una unidad inferior (UCI) de calcarenitas, una unidad intermedia (UDI) formada principalmente por limos amarillentos y arenas y una unidad superior (UCS) compuesta por calcarenitas y calizas oolíticas.

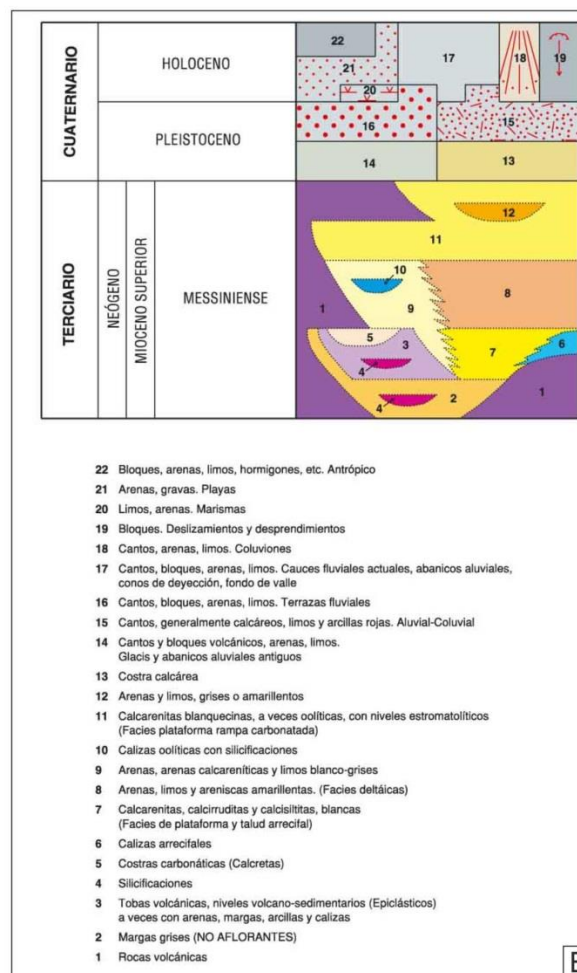
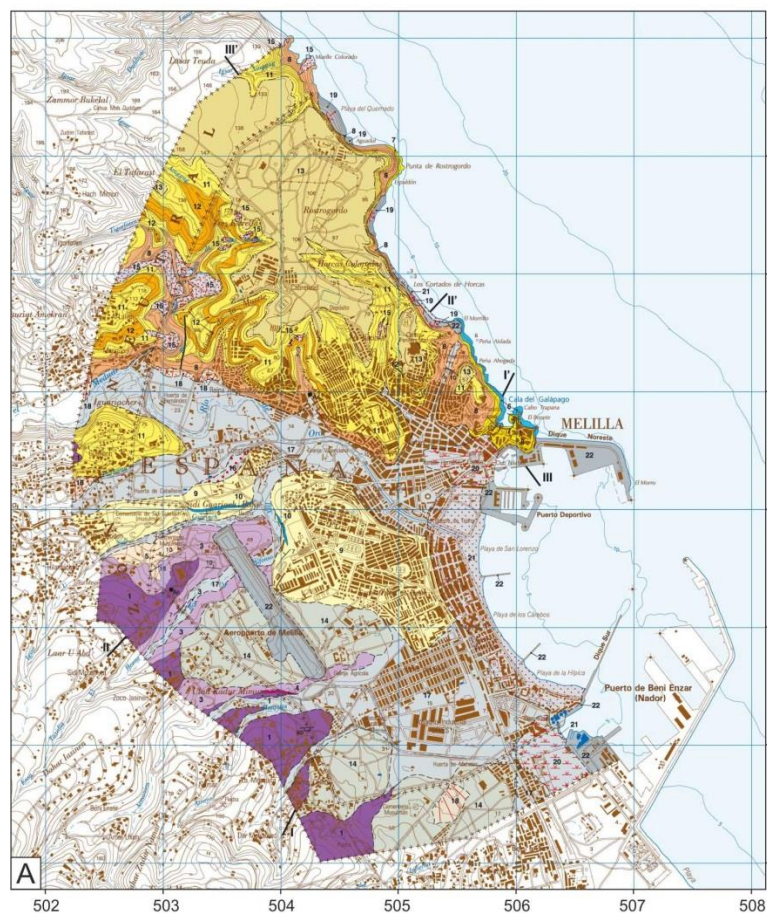


Figura 12. Detalle del mapa geológico MAGNA de escala 1/25.000 de la Hoja de Melilla (A) y leyenda (B) de las distintas litologías (Pineda Velasco et al., 2013).

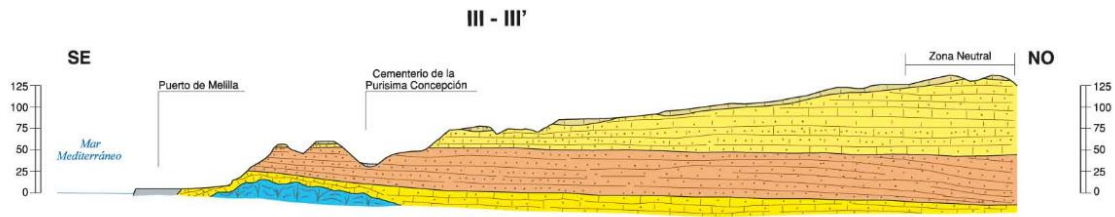


Figura 13. Corte geológico de la hoja MAGNA de Melilla (Pineda Velasco et al., 2013) que muestra la secuencia sedimentaria neógena. La leyenda de las distintas litologías es la misma que la de la figura 3.

Acuífero Volcánico

El Acuífero Volcánico se sitúa al sur de la Demarcación, limita al norte con el Río de Oro y al oeste con los límites administrativos.

Las rocas volcánicas se encuentran bien representadas en el Monte Gurugú desde donde se proyectaron diferentes coladas volcánicas. En Melilla destaca la presencia de afloramientos muy notables en Sidi Guariach y en el barranco Mezquita.

Los afloramientos de rocas volcánicas del Gurugú (Unidad Cartográfica 1 del MAGNA) (Pineda Velasco et al., 2013) (Fig. 12) y otras litologías volcano-sedimentarias asociadas (Unidades Cartográficas 3, 4 y 5) tienen poca extensión y están limitados a la parte suroeste del territorio de Melilla. En profundidad, sondeos de captación de agua han cortado niveles volcánicos más extensos que los de superficie (Fig. 14). Los materiales emitidos en las diversas erupciones constituyen un conjunto de coladas subaéreas, niveles piroclásticos de caída (principalmente tobas pumíticas) y niveles volcanoclásticos tobáceos. Todos estos materiales se han ido intercalando secuencialmente en la secuencia sedimentaria neógena de la Cuenca de Melilla-Nador.

Así, entre los sedimentos neógenos que se extienden al sur del Río de Oro, se constata la presencia de materiales volcánicos, por los sondeos existentes, lo que demuestra una intensa actividad volcánica.

En definitiva, los materiales volcánicos se extenderían bajo el recubrimiento cuaternario/neógeno, al menos en la mitad meridional de la Demarcación.

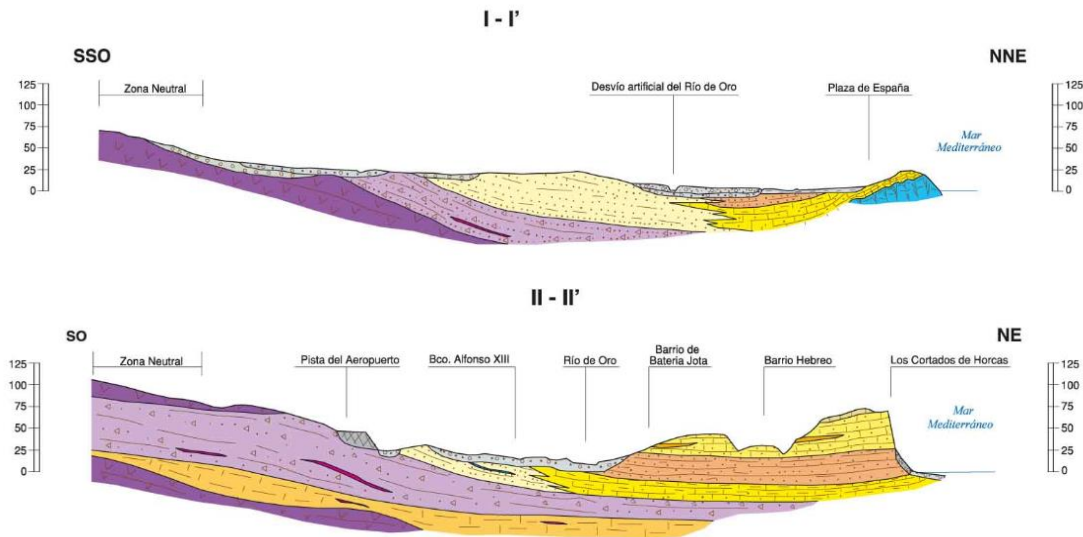


Figura 14. Cortes geológicos de la hoja MAGNA de Melilla (Pineda Velasco et al., 2013) que muestran las relaciones estratigráficas entre las rocas volcánicas y los sedimentos neógenos.

Su alimentación se produce principalmente por infiltración de la precipitación y a través de la infiltración desde los cauces que lo atraviesan desde el oeste por los estratos permeables, tanto dentro de la Demarcación como desde territorio extracomunitario.

Acuífero Aluvial

Entre los dos acuíferos definidos anteriormente, que constituyen las MASb del mismo nombre, se encuentra el Acuífero Aluvial, conformado por los sedimentos permeables del Río de Oro. Este acuífero se alimenta a través de las infiltraciones del mismo río y de sus tributarios (arroyos de Farhana y Alfonso XII, principalmente), desde el Acuífero aluvial extracomunitario, situado al oeste, y del drenaje de los acuíferos limítrofes situados a mayor cota. El espesor debe ser menor de 12 m.

Las formaciones cuaternarias más características, recopiladas en el Mapa Geológico Nacional (Pineda Velasco et al., 2013) (Fig. 12), están representadas por una costra calcárea (Unidad Cartográfica 13), responsable de la morfología tabular de la serie terciaria, y por glaciares y abanicos aluviales antiguos (Unidad Cartográfica 14) procedentes del Gurugú. Afloran también formaciones fluviales del Río de Oro (Unidad Cartográfica 16 y Unidad Cartográfica 17), así como aluviales-coluviales (15), coluviones (18), deslizamientos y desprendimientos (Unidad Cartográfica 19), marismas (Unidad Cartográfica 20), playas (Unidad Cartográfica 21) y depósitos antrópicos (Unidad Cartográfica 22).

Materiales bajo la Unidad Carbonática Inferior

A muro de la Unidad Carbonática Inferior y/o de los niveles volcánicos intercalados con esta secuencia de rocas, los sondeos de investigación y captación de aguas subterráneas han permitido distinguir la presencia de margas grises del Messiniense (Unidad Cartográfica 2), a veces con aspecto pizarroso, que constituyen la base impermeable de la hidrogeología de

Melilla pero que no afloran en su territorio. Por debajo de ellas se cortan unas calcarenitas "tectonizadas" de edad Tortonense-Messiniense similares a las que afloran al NE, en el cabo de Tres Forcas, con potencias en torno a los 200 metros. Bajo ellas, un sondeo profundo ha cortado rocas paleozoicas (mármoles y metapelitas) pertenecientes a un basamento metamórfico, que se han asignado tanto a las Zonas Internas de la Cordillera del Rif como al paleomargen africano levemente metamorfozadas.

Relación entre los acuíferos principales

Entre los aspectos más relevantes para concretar la relación entre acuíferos podemos enumerar los siguientes:

- La existencia de entradas al acuífero aluvial desde las formaciones detríticas y carbonáticas del Acuífero Calizo situado al norte del Río de Oro, así como desde las formaciones volcánicas situadas al sur (Acuífero Volcánico).
- Las entradas naturales y ocultas al Acuífero Aluvial a través del cauce de la escorrentía del Río de Oro desde fuera de la Demarcación de Melilla.
- Las entradas a las formaciones detríticas del Acuífero Calizo por percolación de agua desde el aluvial a su basamento formado, en gran parte, por formaciones que pertenecen al Acuífero Calizo (la UDI formada por limos amarillentos y arenas) (ver cortes, figura 14).
- Las salidas al mar que, en cuantía no establecida, sin duda se producen desde el Acuífero Calizo (fundamentalmente desde la Unidad Carbonática Inferior), desde el acantilado situado al norte del dique noreste del Puerto (sectores de Aguadul, Punta de Rostrogordo, Los Cortados de Horcas y Cala del Galápagos).
- La relación que, sin duda debe existir, entre las formaciones de la Unidad Carbonática Inferior (la Unidad mayoritariamente saturada de agua del Acuífero Calizo), a ambos márgenes del Río de Oro y su relación con los niveles permeables del Acuífero Volcánico de los que pudiera recibir y/o ceder agua.

Estas afirmaciones se ilustran con detalle en las figuras 15 y 16, en base a dos cortes significativos NW-SE y SW-NE que cruzan la Demarcación de Melilla.

Se puede ver la Unidad Carbonática Inferior que cruza toda la Demarcación a ambos lados del Río de Oro y los niveles de rocas volcánicas y tobas (en color morado), intercalados entre la Unidad Carbonática Inferior y/o lateralmente interconectados con las rocas volcánicas.

En la base de los cortes se observa el basamento impermeable y un nivel de calcarenitas interpretadas a partir de prospección gravimétrica y un sondeo mecánico, además de los niveles de roca volcánica intercaladas en las margas Terciarias.

El nivel de calcarenitas del Tortonense, si bien debería presentar una permeabilidad compatible con la definición de acuífero, es más que probable que almacene aguas de mala calidad.

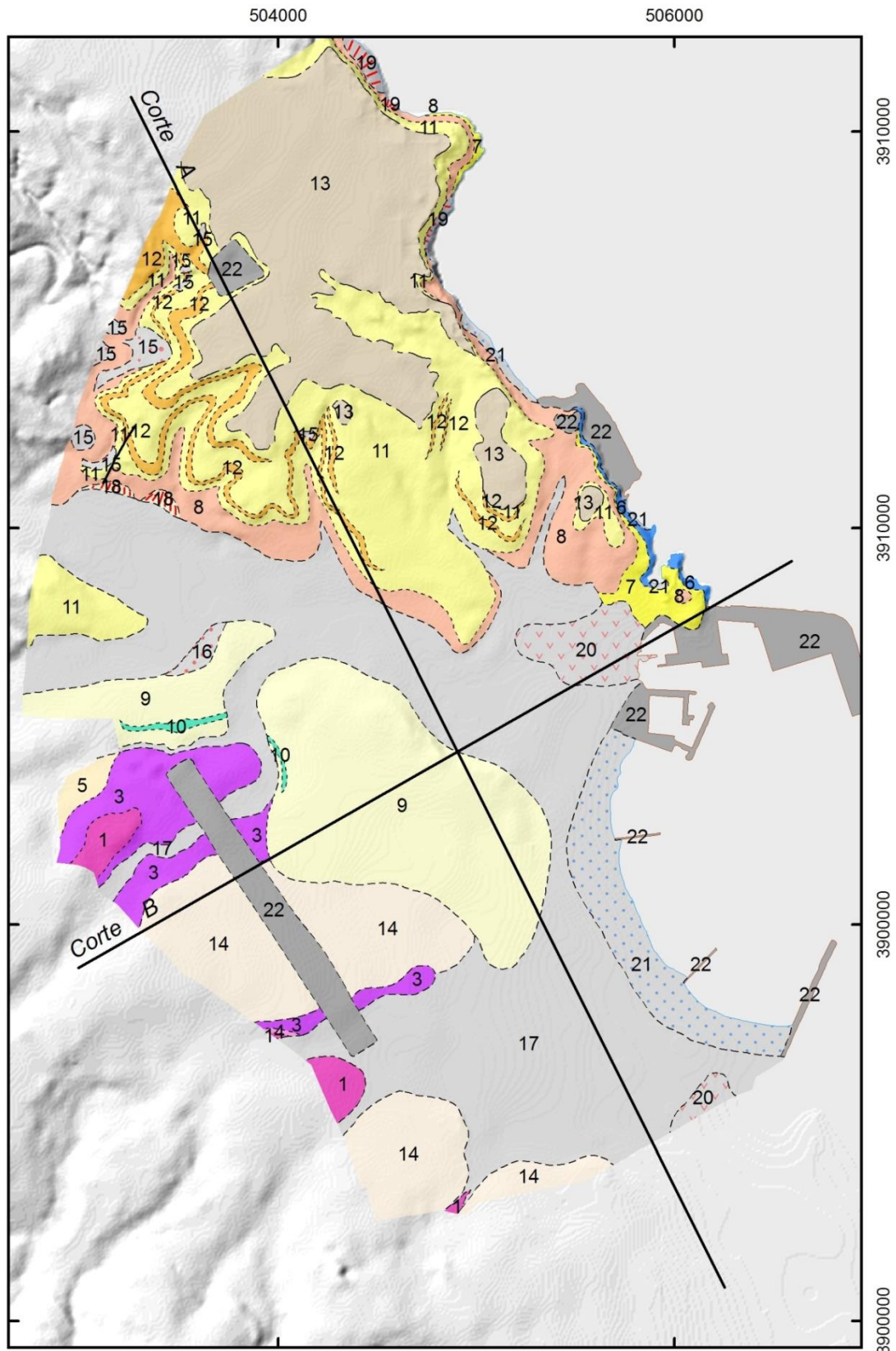


Figura 15. Situación de cortes geológicos representativos del mapa geológico de Melilla. La leyenda geológica del mapa se corresponde con la del mapa 1:25.000 del IGME (ver figura 12). Los cortes geológicos se representan en la figura 16.

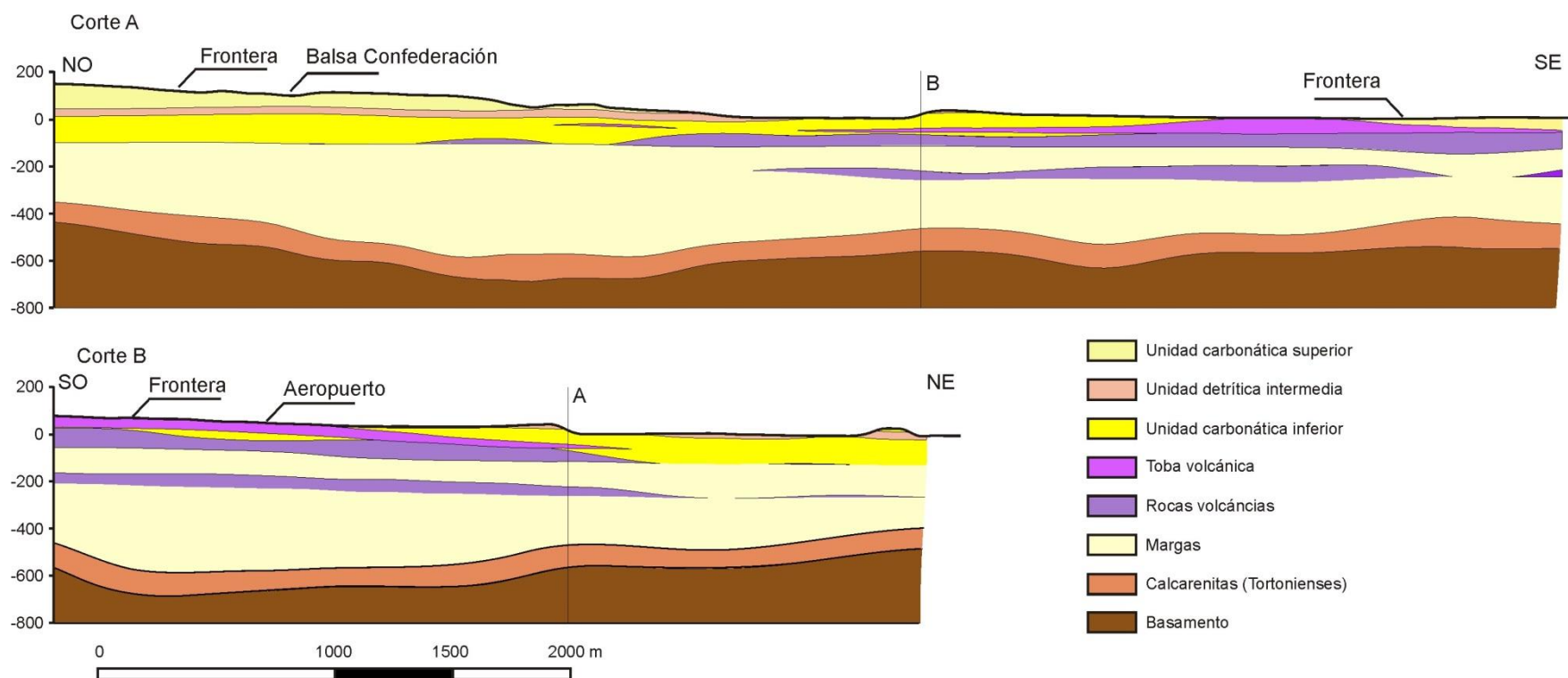


Figura 16: Cortes geológicos obtenidos del modelo geológico 3D de Melilla. Posición de los cortes en la figura 15.

En la figura 17 se muestra el mapa topográfico del Servicio Cartográfico de Marruecos a escala 1:50.000 de Melilla y su entorno.

Este mapa muestra la situación anterior a 1966 con los principales manantiales y pozos, cuya situación es clave para comprender las direcciones estimadas de los flujos subterráneos, asociadas a las áreas de infiltración.

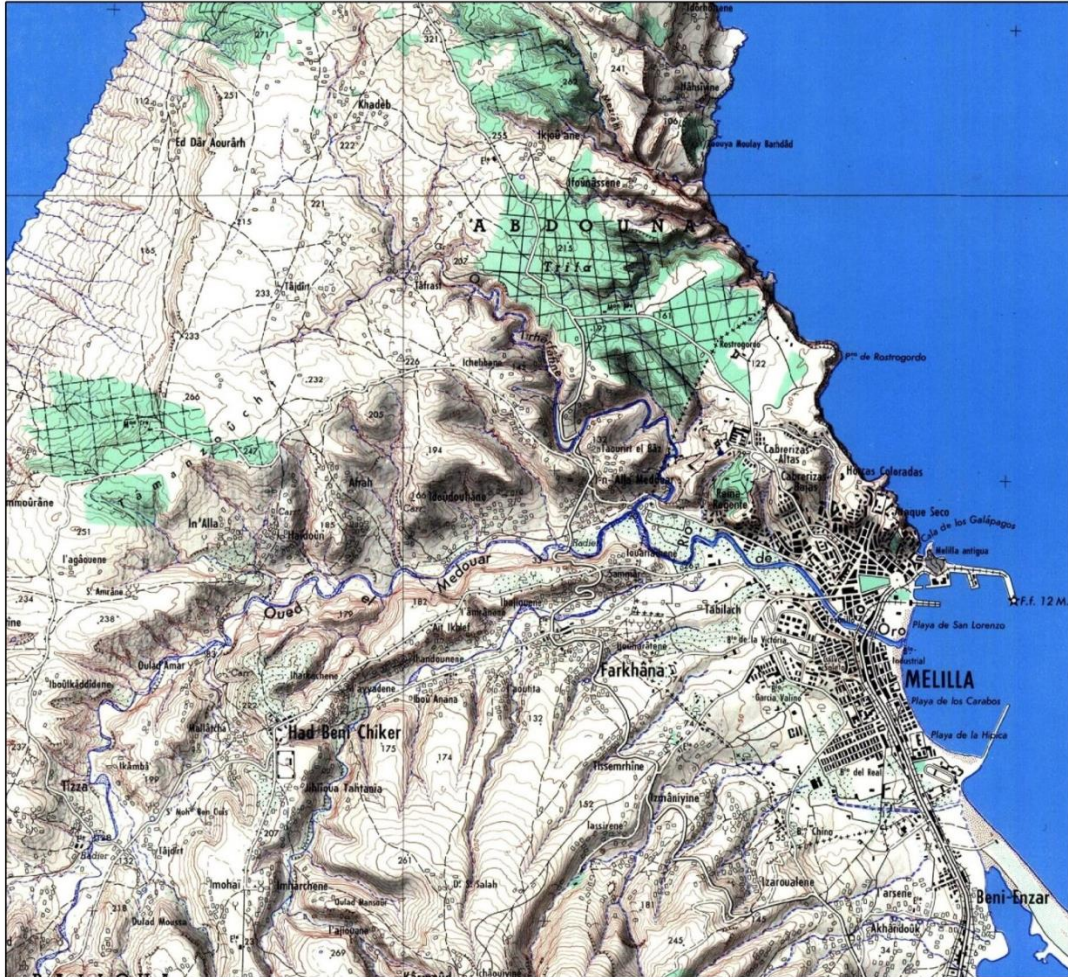


Figura 17: Muestra del Mapa Topográfico del Servicio Cartográfico de Marruecos a escala 1:50.000 de Melilla y su entorno. Esta cartografía publicada en 1966 ha permitido localizar la situación de los principales manantiales y pozos que existían en el entorno de la Demarcación Hidrográfica.

Así, en la figura 18, además de señalarse los diferentes acuíferos y sus áreas de infiltración asociadas, se recogen los manantiales principales y los pozos existentes tomando como base la posición de las cuencas hidrológicas y las litologías existentes.

Además se acompaña la denominación de los principales manantiales.

Asociados al acuífero Volcánico se reconocen 6 manantiales:

- Had Beni Chiker.
- Farkhâna.
- Lassirene.
- Ichâouiyine.
- Yasinen.

- Trara

Asociados al acuífero Calizo se reconocen 4 manantiales:

- Afrah.
- Ichehbane.
- Tafrast
- Tigorfaten.

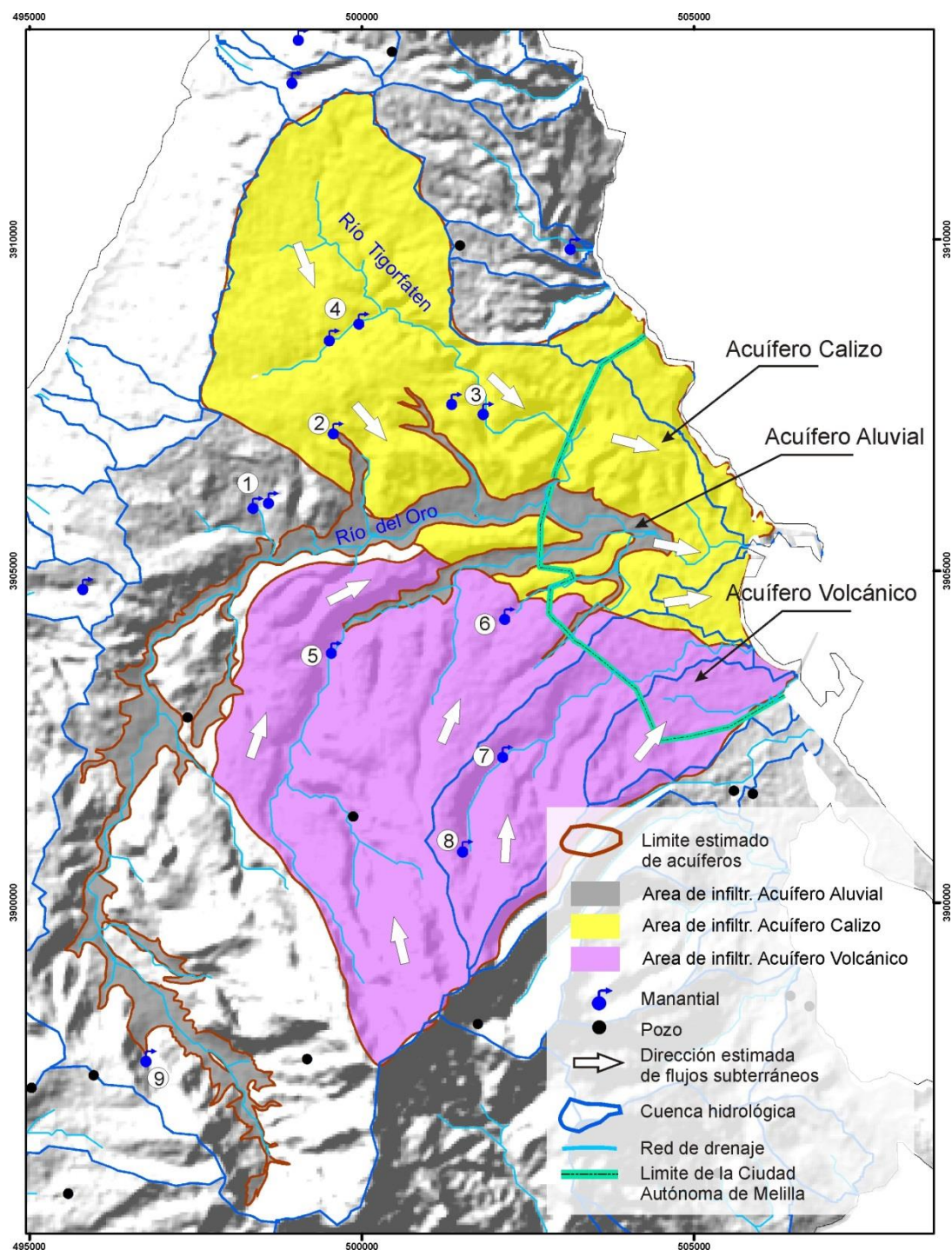


Figura 18: Áreas de infiltración estimadas de los acuíferos Aluvial, Calizo y Volcánico de la Demarcación hidrográfica de Melilla. La estimación de las áreas de infiltración y la dirección de los flujos subterráneos se ha realizado en base a la posición de las cuencas hidrográficas, los afloramientos rocosos obtenidos del

mapa geológico de Marruecos a escala 1:50.000, la posición de manantiales y pozos cartografiados en los mapas topográficos de Marruecos a escala 1:50.000 realizados en los años 60. Manantiales: 1-Haidouïn, 2-Afrah, 3-Tigorfaten, 4-Tafrast, 5-Had Beni Chiker, 6-Farkhâna, 7-Yasinen, 8-Ichâouiyine, 9-Trara

6. Referencias

Anahnah, F., 2008. Anomalías gravimétricas y magnéticas asociadas a la estructura cortical de las cuencas neógenas litorales del Rif oriental. Tesis de Master. Universidad de Granada.

Andrieux, J., (1971). La structure du Rif Central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Ed. Notes et Mem. Serv. Geol. Maroc, 155 pp.

Asebriy, L. (1984): Etude géologique de la zone subrifaine: nouvelle interprétation paléogéographique et structurale du Rif externe; exemple du Moyen Ouerrha, Maroc. Thèse 3ème cycle, University of Rabat, 187 p.

Azdimousa, A., Bourgois, J., Poupeau, G. y Montigny, R. (1998) : Histoire thermique du massif de Ketama (Maroc): sa place en Afrique du Nord et dans les Cordillères Bétiques, C. R. Acad. Sci., 326: 847–853.

Bellon, H. (1976). Séries magmatiques néogènes et quaternaires du pourtour de la Méditerranée occidentale, comparées dans leur cadre géochronométrique: implications géodynamiques. Tesis Univ. Paris Sud, Orsay, 363 p.

Ben Yaïch, A., (1991). Evolution tectono-sédimentaire du Rif externe centrooccidental (régions de M'Sila et Ouezzane, Maroc): la marge africaine du Jurassique au Crétacé; les bassins néogènes d'avant-fosse. Thèse Doct. Etat, Univ. Pau et Pays de l'Adour, 308p.

DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. y Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motion. Geophysical Research Letters, 21(20): 2191-2194.

Ennadifi, Y. (1974) : Etude géologique du Prérif oriental et son avant-pays (région comprise entre Mezguitem, Ain Zora et Tizroutine). Notes & Mém. Serv. géol. Maroc, 253, 66 p.

Frizon de Lamotte, D. (1982) : Contribution à l'étude de l'évolution structurale du Rif oriental. Notes Mém. Serv. Géol. (Morocco), 314: 239–309.

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.

Hernández, J. (1983): Le volcanisme miocène du Rif oriental (Maroc). Géologie, pétrologie et minéralogie d'une province shoshonitique. Ph. Doctoral Thesis, University Paul et Marie Curie, Paris VI, 592 p.

Hernández, J. y Bellon, H. (1985). "Chronologie K- Ar du volcanisme miocène du Rif Oriental (Maroc): implications tectoniques et magmatologiques". Rev. Géol. Dyn. et Géog. Phys., 26 (2), 85-94.

Leblanc, D., (1979) : Etude géologique du Rif externe oriental au nord de Taza (Maroc), Notes Mem. Serv. Geol. Maroc, 281: 1–159.

Maury, R.C.; Fourcade, S.; Coulon, C.; El Azzouzi, M.; Bellon, H.; Coutelle, A.; Ouabadi, A.; Semroud, B.; Megartsi, M.; Cotten, J.; Belanteur, O.; Louni-Hacini, A.; Piqué, A.; Capdevila, R.; Hernández, J. y Réhault, J. P. (2000). “Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab breakoff”. C.R. Acad. Sc. Paris, série Ila, 331, 159-173.

Pineda Velasco, et al., 2013. Mapa geológico de Melilla e Islas Chafarinas a escala 1:25.000. Madrid: IGME. Instituto Geológico y Minero de España, MAGNA, hoja 1111).

Anexo 1.- Mapa geológico digitalizado a escala 1 :50.000 del entorno de Melilla y leyenda.

Anexo 2.- Mapa geológico a escala 1 :10.000 y leyenda