

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.

ANÁLISIS PRELIMINAR SOBRE LA VIABILIDAD DE ESTABLECER PANTALLAS EN EL SUBÁLVEO DEL ALUVIAL DEL RÍO DE ORO PARA LA CREACIÓN DE UN EMBALSE SUBTERRÁNEO EN EL ACUÍFERO Y LA POTENCIAL MEJORA AMBIENTAL

Noviembre 2017

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN DE MELILLA	5
3. OBJETIVOS	8
4. SOBRE EL ACUÍFERO ALUVIAL	8
5. SOBRE LAS PANTALLAS A REALIZAR	10
6. SOBRE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN A REALIZAR EN EL ALUVIAL, COMO COMPLEMENTO A LAS PANTALLAS A REALIZAR.....	17
7. VALORACIÓN ECONÓMICA PROVISIONAL DE LA PROPUESTA.....	20
8. REFERENCIAS	21

1. INTRODUCCIÓN

Este informe debe considerarse como un análisis preliminar sobre la viabilidad de establecer modelos de pantalla hidráulica, tal como se refiere en el título y corresponde a la actividad 4 prevista en el Convenio 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 2015-2020.

Esta alternativa, inicialmente ideada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, ya se recoge en el programa de medidas del Plan Hidrológico de la Demarcación de Melilla, con una valoración de 5.000.000 €, en el apartado 8 de Protección y recarga de acuíferos.

Esta propuesta, como se verá, también contempla otras actuaciones previstas en el programa de medidas como la utilización de episodios lluviosos y/o de aguas residuales con depuración terciaria.

En el informe se muestran las posibilidades existentes que podrían tener efectos beneficiosos en diferentes aspectos que se relacionan a continuación:

- Mejoraría la **retención** de los recursos que circulan por el **subálveo** del cauce de forma natural.
- Implicaría una **recarga indirecta** del **Acuífero Calizo**, mediante la infiltración natural forzada hacia el sustrato del mismo al elevarse los potenciales hidráulicos del aluvial.
- Posibilitaría una **mayor** retención de aguas de **circulación superficial** en el cauce, que se infiltrarían de forma natural en el aluvial al gestionarse el volumen de almacén del mismo con **ciclos de llenado y vaciado parcial** como un verdadero embalse.
- Implicaría la posibilidad de **mantener con más facilidad un caudal** en determinados tramos del cauce, en épocas de bonanza, así como la conservación de la vegetación de ribera y del ecosistema asociado.
- Implicaría un **mejor aprovechamiento** para abastecimiento, en su caso, de los recursos renovables que circulan por el aluvial, así como podría mejorar los recursos renovables del Acuífero Calizo y, en su caso, parcialmente algún nivel del Volcánico situado al sur del Río de Oro.

En este documento se plantea que el agua subterránea que circula por el subálveo encontraría tres pantallas subterráneas principales (A, B Y C), que frenarían en gran parte su flujo, aguas abajo, pudiendo regular y utilizar al máximo sus recursos renovables, además de permitir, que parte del agua superficial se infiltrara e incrementara, los recursos renovables, tanto del Acuífero Aluvial como del Acuífero Calizo.

No obstante, para el Proyecto definitivo se debe realizar un informe de **viabilidad ambiental** por el Órgano Competente, así como evaluar la posible incidencia de la elevación moderada del nivel del agua en el aluvial, en relación a la posible presencia de algún sótano o garaje en algún edificio limítrofe sobre todo para el caso de la pantalla C.

El Proyecto podría complementarse, **a efectos de mantener en periodos de bonanza hidrológica la vegetación de ribera y el mantenimiento del ecosistema asociado**, con dos actuaciones complementarias: una cuya repercusión positiva se observaría aguas abajo del

puente del Escaño, teniendo en cuenta que el río es ganador a partir de dicho puente y otra, que englobaría la realización de las 4 pantallas de retención señaladas en la figura 9.

Así se podría recargar unos 2000 m³/día, con agua de la depuración terciaria, a unos 50 m aguas arriba del puente del Escaño, lo que permitiría mantener una vegetación de ribera desde este puente hasta la desembocadura y mejorar el caudal ecológico en el cauce. Este agua introducida podría ser recuperada parcialmente en el borde costero, para riego de jardines y baldeo de calles.

La recarga se podría realizar mediante la ejecución de una zanja transversal al cauce, de unos 30 m de longitud, 8 m de profundidad y 1 m de anchura y la introducción de tubería perforada de 700 mm con grava calibrada recubriendo el espacio entre los bordes de la zanja y la tubería perforada. Se produciría la inyección por gravedad del agua procedente de la depuradora introduciéndola en la tubería instalada.

Las barreras físicas mediante la ejecución de pantallas penetrantes en el aluvial permitirían, junto a la explotación mediante pozos de gran diámetro y/o galerías de drenaje, aguas arriba de los puntos donde realizar la pantalla, un mayor aprovechamiento de las aportaciones naturales que circulan por el subálveo, a la vez que permiten una recarga inducida añadida a la natural por infiltración adicional de la escorrentía superficial en régimen natural o en episodios de elevadas precipitaciones, no solo para el acuífero aluvial, si no para su sustrato (Acuífero Calizo) de arenas, limos y areniscas pardas terciarias de la denominada Unidad Detrítica Intermedia, que a la vez es presumible recargaría la Unidad Detrítica Inferior de calcarenitas y calciruditas.

En este caso, las barreras cortarían parcialmente el flujo del subálveo, favoreciendo el incremento de reservas, tanto del aluvial como de niveles arenosos Terciarios presentes en su base, en algunos sectores.

Las pantallas se realizarían con micropilotes, sin impacto visual externo y no serían totalmente penetrantes, dejando la sección superior del aluvial sin cerrar, a efectos de permitir la circulación de agua en la parte superior del acuífero e inclusive no cortando en su totalidad la sección transversal del aluvial.

Estas pantallas se complementarían con la realización de otras 4 pantallas más pequeñas denominadas como de retención (PR1, PR2, PR3 y PR4), que ayudarían a mantener la vegetación de ribera y el caudal del cauce en sectores situados aguas arriba del área de influencia de llenado de las pantallas principales (PR1 y PR2) y en determinados tramos entre las pantallas principales (PR3 y PR4).

Respecto a la posible intrusión marina, no influiría sobre los recursos a aprovechar, dado que las cotas del sustrato aluvial estarían siempre por encima del nivel del mar.

En el caso de las pantallas propuestas, se dejarían 0,5 m en el techo de las pantallas sin cerrar, con objeto de dejar el paso natural de agua, tanto la subálvea, como la circulación superficial.

Las longitudes reflejadas en el plano, en base al modelo 3D provisional realizado, son las siguientes:

- Pantalla A: 128 m.
- Pantalla B: 80 m.
- Pantalla C: 130 m.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN DE MELILLA

La Demarcación Hidrográfica de Melilla está situada al sur del Mar de Alborán, en la península de Tres Forcas, en su cara oriental, 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 el centenar de metros. 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 (18,9°C de media anual) y escasas precipitaciones, estas se reducen a poco más de 300 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 estructuralmente basculadas (figura 1).

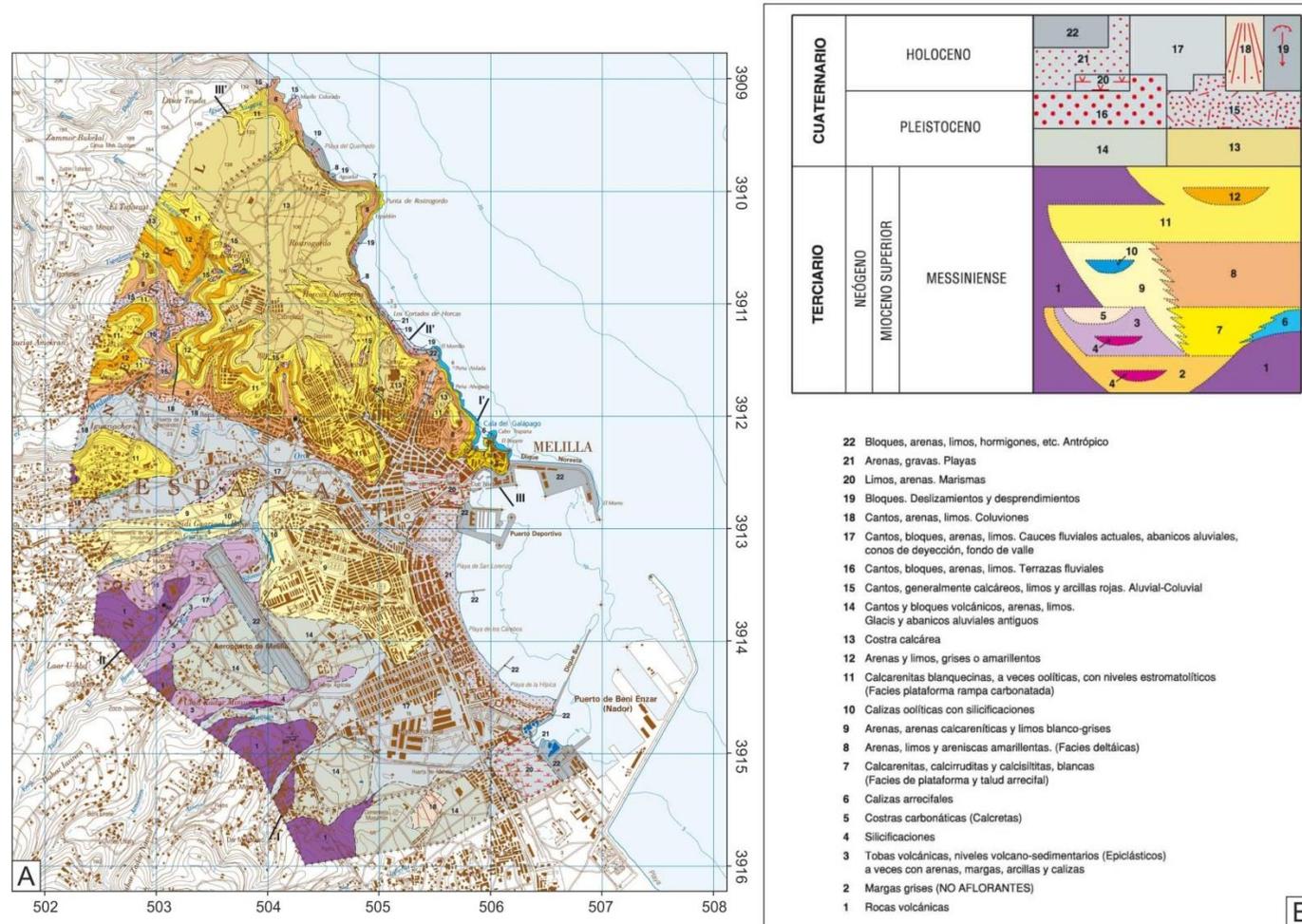


Figura 1. Detalle del mapa geológico MAGNA de escala 1/25.000 de la Hoja de Melilla (A) y leyenda (B) de las distintas litologías (Pineda Velasco et al., 2013).

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 del Oro, acuífero calizo y acuífero Volcánico) (figura 2).

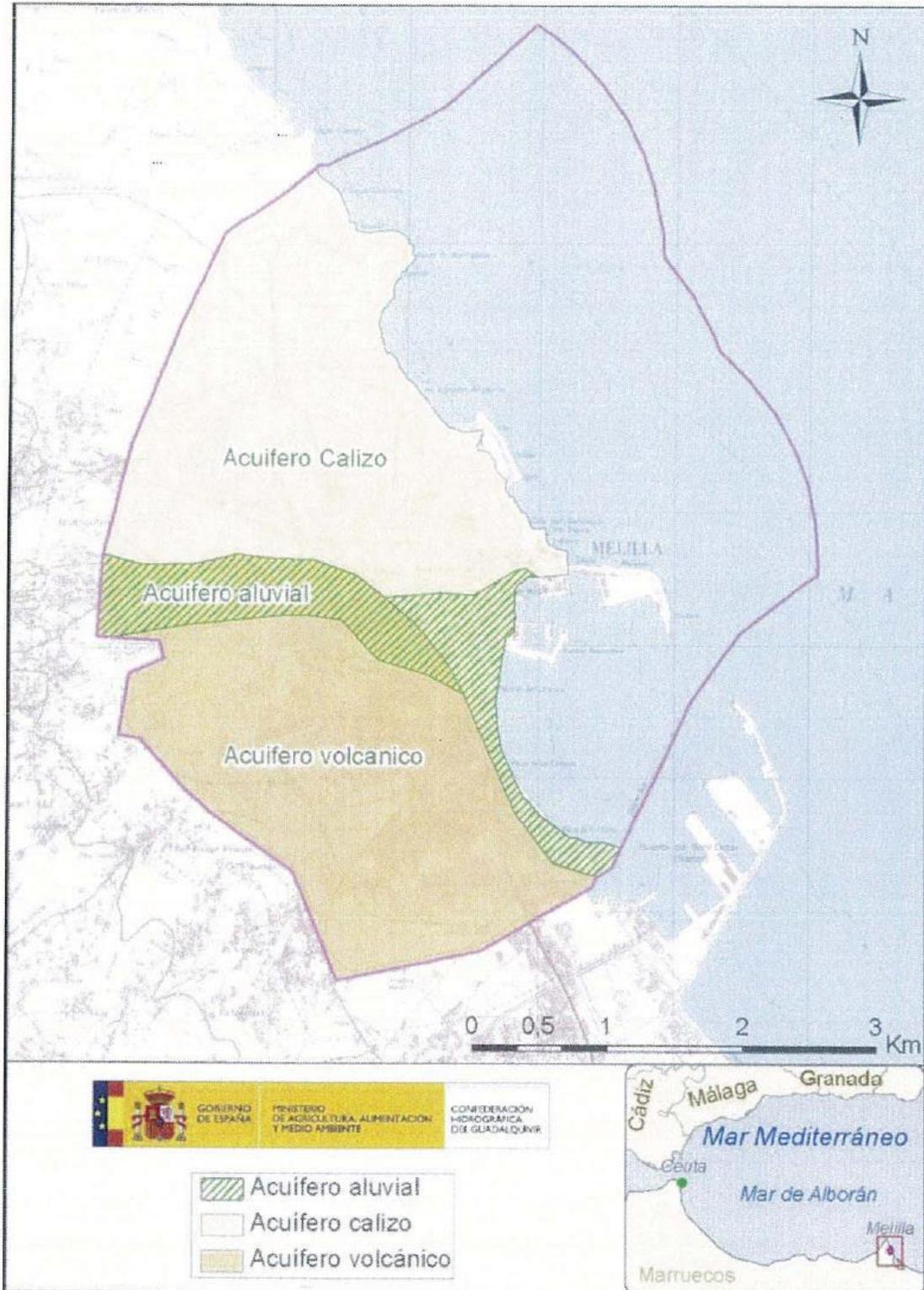


Figura 2. Masas de agua subterránea

3. OBJETIVOS

La Directiva Marco (Directiva 2000/60/CE) respecto a la recarga artificial señala que esta podrá obtenerse de cualquier agua superficial o subterránea. En este caso la recarga se efectuaría a partir del llenado estacional de la zona no saturada, aguas arriba de las pantallas, tomando como partida el vaciado producido por los bombeos (recarga inducida de agua superficial por vaciado y frenado de la circulación subálvea).

Los objetivos de la propuesta de realización de pantallas hidráulicas en el aluvial se podrían sintetizar en los siguientes:

- Almacenamiento/recarga artificial del agua procedente de las aportaciones naturales del río Oro (aportaciones circulantes por el subálveo y superficiales).
- Restitución de niveles en el acuífero aluvial con utilización de reservas, de forma temporal, asimilando el acuífero a un embalse, en este caso situado bajo el suelo.
- Aumento en la garantía de suministro en el abastecimiento urbano y en la regulación de aportaciones, a partir de la explotación del aluvial, aguas arriba de las pantallas propuestas mediante la realización de pozos de gran diámetro.
- Restablecimiento ambiental de la vegetación de ribera y de la lámina de agua, previo informe de evaluación ambiental, gracias a la recuperación de niveles en el aluvial.

4. SOBRE EL ACUÍFERO ALUVIAL

Entre las dos masas de agua subterránea, Acuífero Calizo y Volcánico, definidas anteriormente, se encuentra cartográficamente el Acuífero Aluvial, conformado por los sedimentos detríticos permeables del río de Oro. Este acuífero se alimenta a través de las infiltraciones del río, desde el acuífero aluvial extracomunitario, situado al oeste, y del drenaje de los acuíferos limítrofes situados a mayor cota. El espesor sería menor de 12 m.

Las formaciones cuaternarias más características, recogidas en el mapa geológico del IGME (Pineda Velasco et al., 2013) (figura 1), 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).

El acuífero aluvial del río del Oro (Unidad Cartográfica 16 y Unidad Cartográfica 17) se considera libre (su nivel del agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable). El agua que ceden estos acuíferos, es agua que tienen almacenada en sus poros (volumen alto en comparación con otro tipo de acuíferos).

El río funciona como río influente o perdedor, pues el nivel freático, normalmente se sitúa dentro de la Demarcación de Melilla a varios metros por debajo de la superficie del terreno.

De hecho, el río va habitualmente seco, salvo en periodos de lluvias excepcionales, produciéndose con cierta frecuencia desbordamientos a pesar de las precipitaciones de baja intensidad.

El río del Oro empieza a ganar agua desde el puente de Escaño hacia el mar, debido en parte a la solera de hormigón realizada en el cauce, aguas abajo del puente, que disminuye la sección de salida y favorece la presencia de agua.

Además el arroyo de Farhana, a la altura del campo de Golf, también presenta agua en el cauce de forma permanente.



Arroyo de Farhana



Arroyo de Farhana



Arroyo de Farhana

De forma temporal en el cruce entre el río de Oro y el arroyo Alfonso XIII (puente de los Jardines del Mar), aparece una poza y, también el tramo medio del río de Oro presenta sectores con vegetación que denotan la presencia del freático muy próximo a la superficie.

La piezometría debe sufrir fluctuaciones del orden métrico, con un gradiente medio estimado del 0,7%.

La extracción por bombeo para el Acuífero Aluvial fundamentalmente se lleva a cabo desde el pozo-captación de la Confederación Hidrográfica (unos 20.000 m³/año) y desde el Pozo del río de Oro (unos 115.200 m³/año) lo que totaliza una explotación actual de unos 4,5 l/s en la actualidad.

El espesor detectado, siempre ha sido menor de 12 m.

Para los acuíferos libres permeables por porosidad intergranular, los valores del coeficiente de almacenamiento medios están entre el 5×10^{-2} y el 15×10^{-2} (media del 10%). El coeficiente de

almacenamiento se define como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se deprime una unidad. No tiene dimensiones y en el caso de acuíferos libres, como este, coincide con la porosidad eficaz.

5. SOBRE LAS PANTALLAS A REALIZAR

El área vertiente total de la cuenca del Río de Oro alcanza 91,4 km² y el área vertiente hasta la pantalla C propuesta, la situada más baja en el aluvial es de 88,9 km².

Para realizar una estimación del volumen de agua subterránea que quedaría retenida en el aluvial del río de Oro como consecuencia de la construcción de pantallas se ha realizado un modelo 3D preliminar con el programa Gocad.

En la construcción del modelo se han considerado los valores de espesor del aluvial obtenidos en los sondeos de investigación realizados en la campaña de 2016. La extensión lateral del aluvial a lo largo del cauce se ha estimado a partir de la cartografía geológica y de la geomorfología del terreno. El límite superior del aluvial se corresponde con la superficie topográfica obtenida a partir del mapa topográfico a escala 1:2000 de la Ciudad Autónoma de Melilla.

Una vez construido el modelo 3D del aluvial del río de Oro en el sector que estaría afectado por las pantallas propuestas se ha procedido a calcular el volumen de agua subterránea que quedaría retenida por las pantallas. Para este cálculo, se ha intersectado el aluvial con las pantallas y calculado el volumen de aluvial saturado por debajo de los nuevos niveles piezométricos.

En la figura 3 se acompaña una representación en 3D del espesor del aluvial en la Demarcación, tomando como base la campaña de sondeos realizados en este Proyecto en 2016.

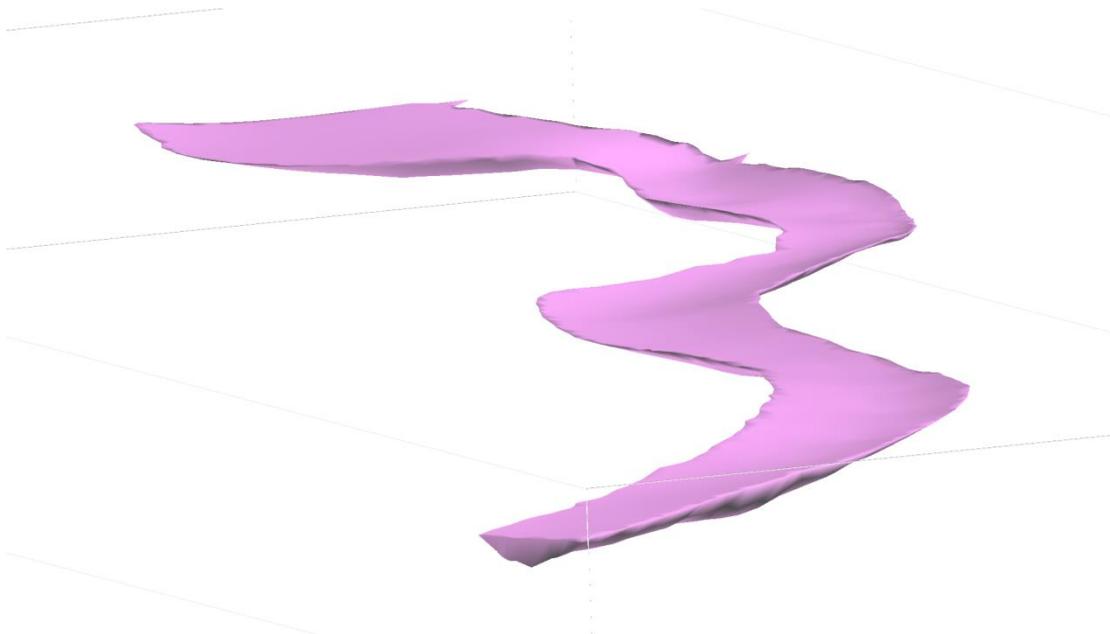


Figura 3: Modelo 3D del Aluvial del Río de Oro, obtenido a partir de la campaña de sondeos realizada en 2016.

En la figura 4 se señala en 3D la posición de las pantallas sugeridas, junto al espesor calculado del aluvial.

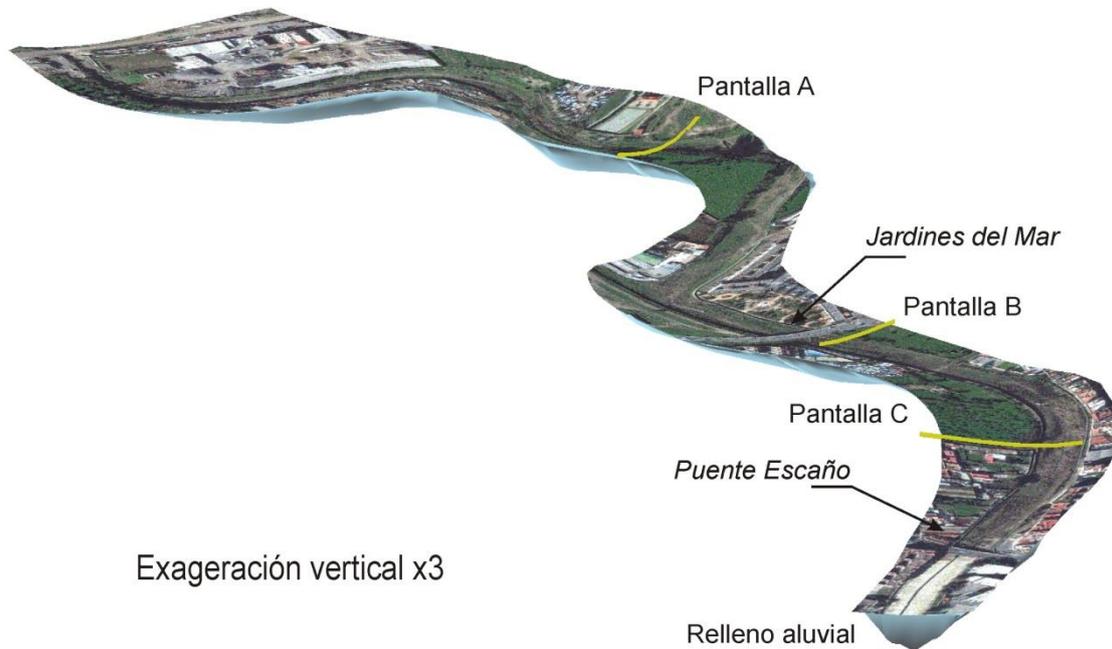


Figura 4: Posición de las pantallas sugeridas/proyectadas en el modelo 3D del aluvial del Río de Oro.

En la figura 5 se observan los perfiles longitudinales a lo largo del cauce del río, representando en azul el aluvial saturado de agua subterránea como consecuencia de la construcción de las pantallas.

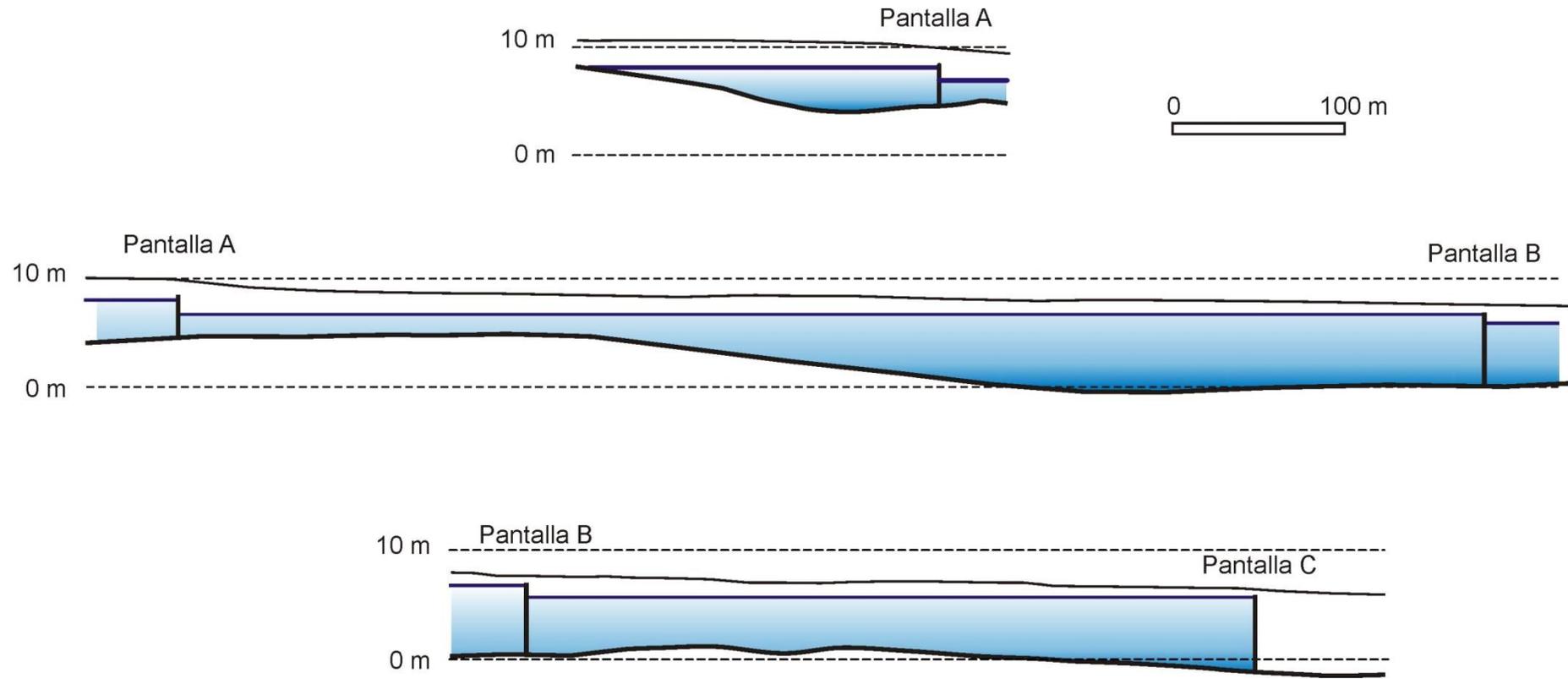


Figura 5: Perfiles longitudinales a lo largo del cauce del Río del Oro. Se representa en color azul el aluvial saturado en agua subterránea como consecuencia de la construcción de las pantallas.

Previo a la ejecución de las pantallas mediante micropilotes, sería necesario la realización de una campaña de sondeos de investigación complementarios (unos 15 sondeos a rotación), en los trazados propuestos, con profundidades variables de hasta 12 m.

En las figuras 6, 7 y 8 se muestra la situación de las diferentes pantallas propuestas, así como las características provisionales, a expensas de los sondeos complementarios propuestos.

Las secciones provisionales de cada pantalla serían del orden de 450 m² la A, 590 m² la B y 840 m² la C.

PANTALLA A

Longitud: 128 m

Profundidad: 5 m

Ventana superior: 0.5 m

Volumen de aluvial: 52.000 m³

Volumen saturado (10%) = 5200 m³



Figura 6: Pantalla A



Entorno pantalla A



Entorno pantalla A



Entorno pantalla A



Entorno pantalla A

PANTALLA B

Longitud: 80 m

Profundidad: 7 m

Ventana superior: 0.5 m

Volumen de aluvial: 271.000 m³

Volumen saturado (10%) = 27.100 m³

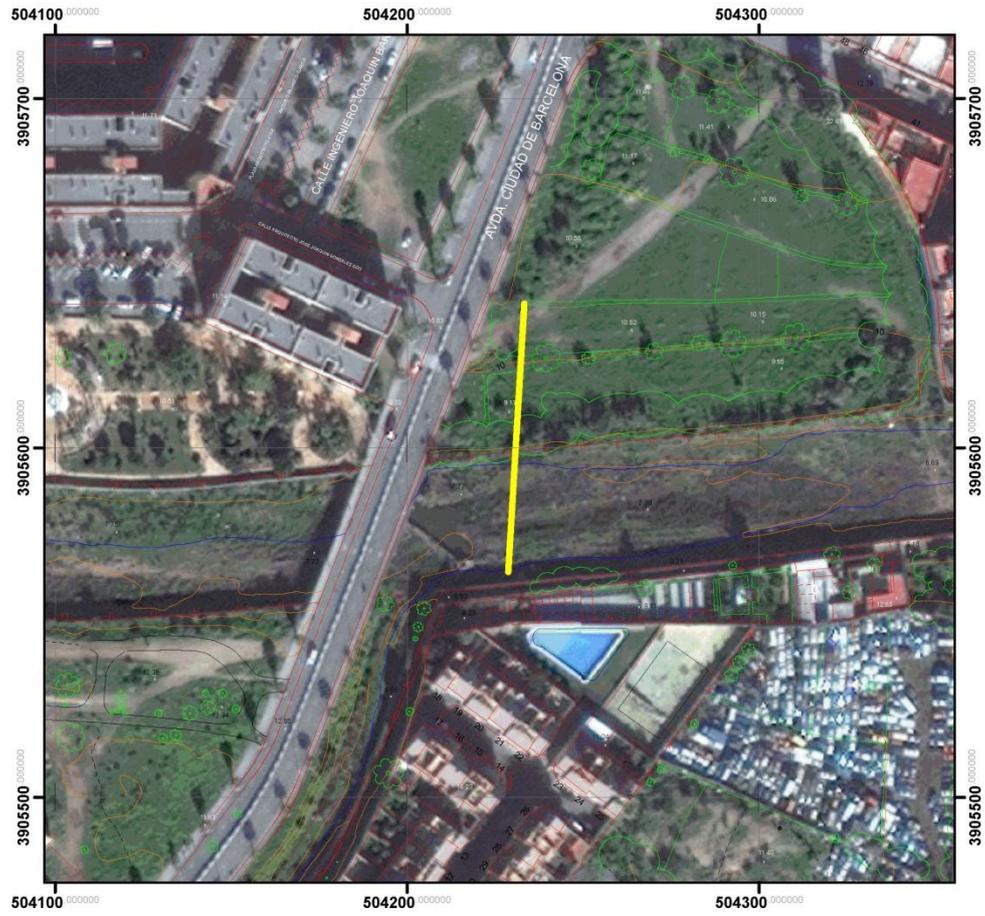


Figura 7: Pantalla B



Entorno pantalla B



Entorno pantalla B



Entorno pantalla B

PANTALLA C

Longitud: 130 m

Profundidad: 9.5 m

Ventana superior: 0.5 m

Volumen de aluvial: 195.000 m³

Volumen saturado (10%) = 19.500 m³



Figura 8: Pantalla C



Entorno pantalla C

Los volúmenes de aluvial que se conseguirían saturar en múltiples ocasiones a lo largo del año, serían:

- Para la pantalla A 52.000 m³.
- Para la pantalla B 27.100 m³.
- Para la C 195.000 m³.

Se podría conseguir un volumen saturado total de 51.800 m³ que se llenaría por efecto de la circulación natural y/o por efecto de la infiltración de la escorrentía superficial en función del programa de explotación de los pozos propuestos, situados aguas arriba.

Por otra parte, las pantallas de retención propuestas PR1, PR2, PR3 y PR4 cuya situación se refleja en la figura 9, tendrían las características que se señalan en la tabla 1.

Pantalla	Longitud (m)	Profundidad (m)	Sección (m ²)
PR.1	20	5	100
PR.2	20	5	100
PR.3	22	6	132
PR.4	20	7	140

Tabla 1: Características de longitud, profundidad y sección afectada por cada pantalla de retención

6. SOBRE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN A REALIZAR EN EL ALUVIAL, COMO COMPLEMENTO A LAS PANTALLAS A REALIZAR

Los pozos atravesarían formaciones permeables del aluvial detrítico teniendo una permeabilidad media-alta por porosidad intergranular.

Se propone la realización de 3 pozos de gran diámetro a realizar por el procedimiento de excavación, revestidos con módulos de anillos de hormigón prefabricados de 1,5 m de diámetro.

En la figura 9 se adjunta un croquis tipo de los pozos a realizar.



Figura 9. Localización de las pantallas propuestas y área estimada de llenado del aluvial por efecto de las pantallas.

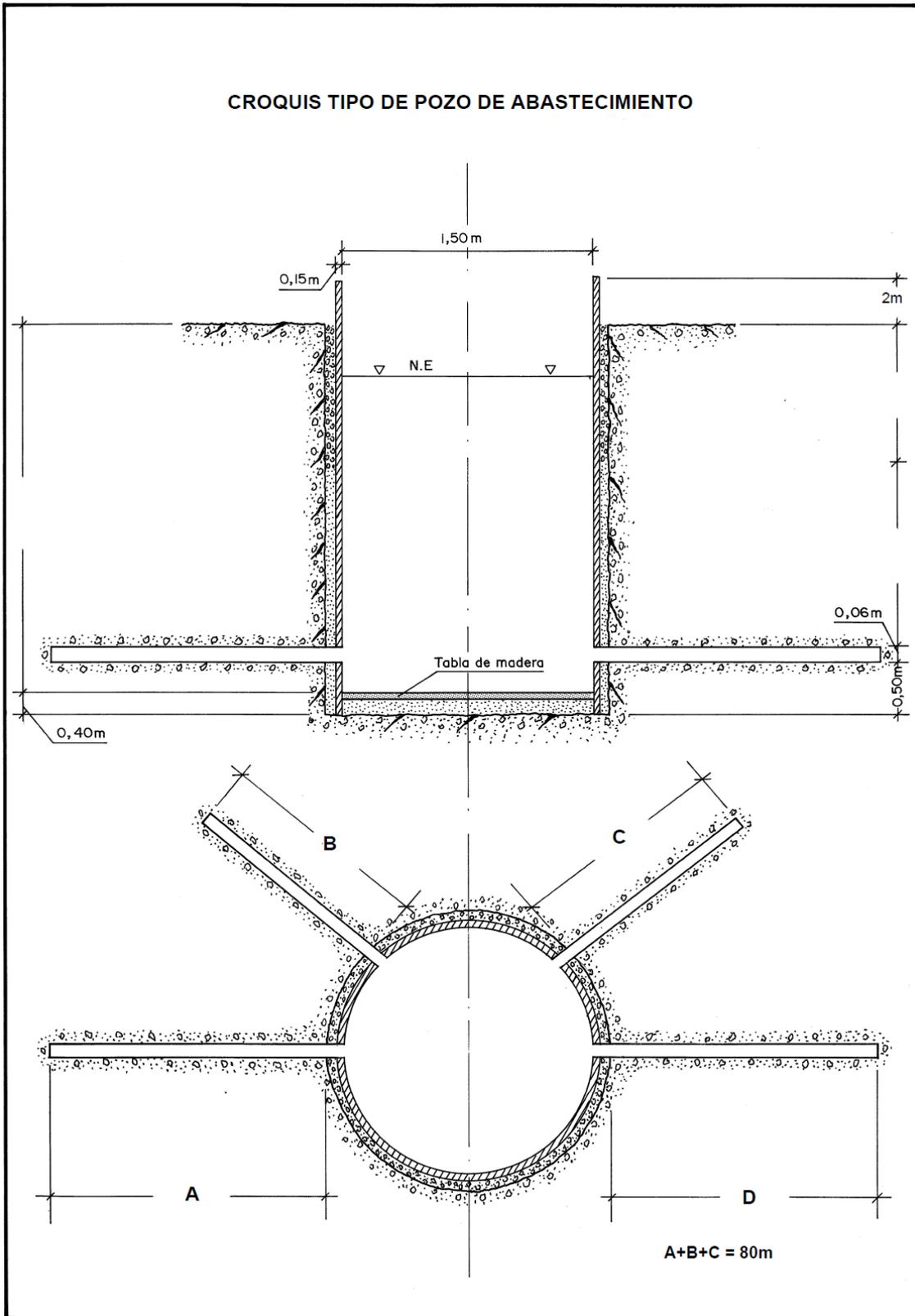


Figura 10: Croquis tipo pozo de abastecimiento

Las obras presentarán las características técnicas siguientes:

- Diámetro interior del pozo: 1,5 m.
- Espesor de la pared: 15 cm (hormigón).
- Profundidad total: variable (5m junto a pantalla A; 7 m junto a pantalla B; 10 m junto a pantalla C).
- Altura del brocal sobre el nivel del suelo: 2 m.
- Drenes horizontales: Se realizarán al menos 4 drenes horizontales en cada pozo, a 0,50m de la base de cada uno, con diferentes orientaciones desde N 20 °W a N 160 °W. El diámetro de los drenes será de 60 mm y su entubado de 50 mm y se realizarán un mínimo de 80 m de longitud por pozo (ver croquis tipo de la figura 10).

Se precisará la presencia de bombas y de grupo electrógeno durante la perforación.

Además de los drenes se realizarán taladros de 30 cm de longitud, de 18 mm de diámetro, al objeto de conseguir una afluencia de agua a los pozos más laminar y reducir posibles arrastres. Se realizarán unos 100 taladros por pozo.

Se colocará en fondo una base de madera que facilite una perforación más efectiva.

Las coordenadas (ETRS 89) aproximadas de los tres pozos serán las siguientes (tabla 2):

POZO JUNTO A PANTALLA A	
Coordenadas	Profundidad a alcanzar
x = 503577	Pozo = 5 m
y = 3905825	
z = 19,2 m s.n.m.	
POZO JUNTO A PANTALLA B	
Coordenadas	Profundidad a alcanzar
x = 504156	Pozo = 7 m
y = 3905573	
z = 10 m s.n.m.	
POZO JUNTO A PANTALLA C	
Coordenadas	Profundidad a alcanzar
x = 504536	Pozo = 10 m
y = 3905526	
z = 10 m s.n.m.	

Tabla 2: Coordenadas y profundidades de los diferentes pozos propuestos

7. VALORACIÓN ECONÓMICA PROVISIONAL DE LA PROPUESTA

En la introducción ya se recoge que la alternativa de crear un embalse subterráneo mediante la construcción de una pantalla se incluye en el programa de medidas del Plan Hidrológico de la Demarcación, con una valoración de unos 5 millones de €.

Así este informe muestra las diferentes posibilidades existentes cubriendo, como se refiere en la introducción, diferentes efectos beneficiosos.

Una valoración orientativa de los costes podría ser la siguiente:

Costes estimados de los sondeos de investigación en la línea de trazados previstos previo a la ejecución de micropilotajes	15.000 €
Costes estimados de los 3 pozos de gran diámetro	170.000 €
Costes estimados de micropilotes a 400 €/m ² en las pantallas principales (A, B y C)	756.000 €
Costes estimados de micropilotes en las pantallas de retención (PR1, PR2, PR3 y PR4)	188.000 €

8. 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: FICHAS Y CROQUIS DE LOS SONDEOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS EN EL
ALUVIAL DEL RÍO DE ORO

ANEXO 2: FOTOGRAFÍAS DE LOS TESTIGOS DE SONDEO