

MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONOCIMIENTO SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO APOYO A LA GESTIÓN HIDROLÓGICA DE LA CIUDAD DE MELILLA (2018-2020) FASE 2ª.

**INFORME FINAL SOBRE EL INVENTARIO DE
PUNTOS DE AGUA DE LA DEMARCACION
HIDROGRAFICA DE MELILLA Y REINTERPRETACIÓN
DE ENSAYOS DE BOMBEO HISTÓRICOS
(ACTIVIDAD 1).**

Junio de 2019

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	2
3. REINTERPRETACIÓN DEL ENSAYO REALIZADO EN SIDI GUARIACH EN 1974	4
3.1. Características generales del ensayo	4
3.2. Metodología e interpretación	4
4. INTERPRETACIÓN DE LOS DESARROLLOS CON AIRE COMPRIMIDO REALIZADOS EN 1958 ..	8
4.1. Metodología	8
4.2. Interpretación	9
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

ANEXO 1: LISTADO DE PUNTOS DE INVENTARIO

ANEJO 2: FICHAS DE PUNTOS DE INVENTARIO

ANEXO 3: DATOS DE DESCENSO Y CAUDAL DEL ENSAYO DE BOMBEO REALIZADO EN SIDI
GUARIACH (S/1) EN 1974

1. INTRODUCCIÓN

La revisión y puesta al día del inventario de puntos de agua es una labor inherente a todo estudio hidrogeológico. Entre las primeras actuaciones del presente proyecto, incluido en el “Convenio Específico de colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente de la Ciudad Autónoma de Melilla y el Instituto Geológico y Minero de España, para la investigación de aguas subterráneas como apoyo a gestión hidrológica Ciudad Autónoma de Melilla. Periodo 2015-2020” se ha recopilado información sobre puntos de agua de diversos trabajos llevados a cabo en la Demarcación Hidrográfica de Melilla por diferentes organismos. Asimismo, en los recorridos de campo a que han dado lugar los trabajos del presente proyecto, se han añadido puntos que no fueron contemplados en los mismos, que podríamos definir como históricos, bien por pasar inadvertidos o, en la mayoría de los casos, por no haber sido construidos todavía.

Entre la información procedente de las fuentes documentales se ha localizado un informe de ensayo de bombeo que se ha interpretado con software actualizado, así como una serie de desarrollos con aire comprimido en sondeos que también han sido interpretados en base a conocimientos actuales.

2. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Como punto de partida se ha tomado el inventario realizado en enero de 1985 por el IGME y la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. al que se le han incorporado los puntos identificados documentalmente en trabajos posteriores e información facilitada por la Ciudad Autónoma.

En los recorridos de campo se ha tratado de determinar la correspondencia de los puntos incluidos en los diferentes documentos y la realidad sobre el terreno centrándonos en aquellos puntos de agua que sirven en la actualidad como puntos de abastecimiento de agua a la población.

El total de puntos inventariados es de 110 de los que 50 pertenecían al inventario de 1985, por lo que se considera que se han añadido 60 puntos de agua, 13 de los cuales son sondeos de investigación perforados en este proyecto. De los puntos inventariados, 3 de ellos, los manantiales de Yasinen, Trara y Tigorfaten, están en territorio marroquí, pero se ha optado por asignarles número por su implicación en el abastecimiento a Melilla.

En cuanto a su naturaleza, 69 están catalogados como sondeo; 9 como pozo, uno de ellos con galería; 29 son piezómetros y 3, los anteriormente nombrados manantiales.

Con la información recabada se ha creado una base de datos de trabajo mediante la aplicación Access 2016 de Microsoft que permite acceder a la misma con agilidad, así como elaborar consultas, formularios y listados con las diferentes características de los puntos.

En los anejos se presenta un listado con todos los puntos inventariados, una ficha de cada uno de los puntos con los datos de mayor relevancia y un mapa con su localización geográfica. Esta localización se puede también observar en la figura 1.

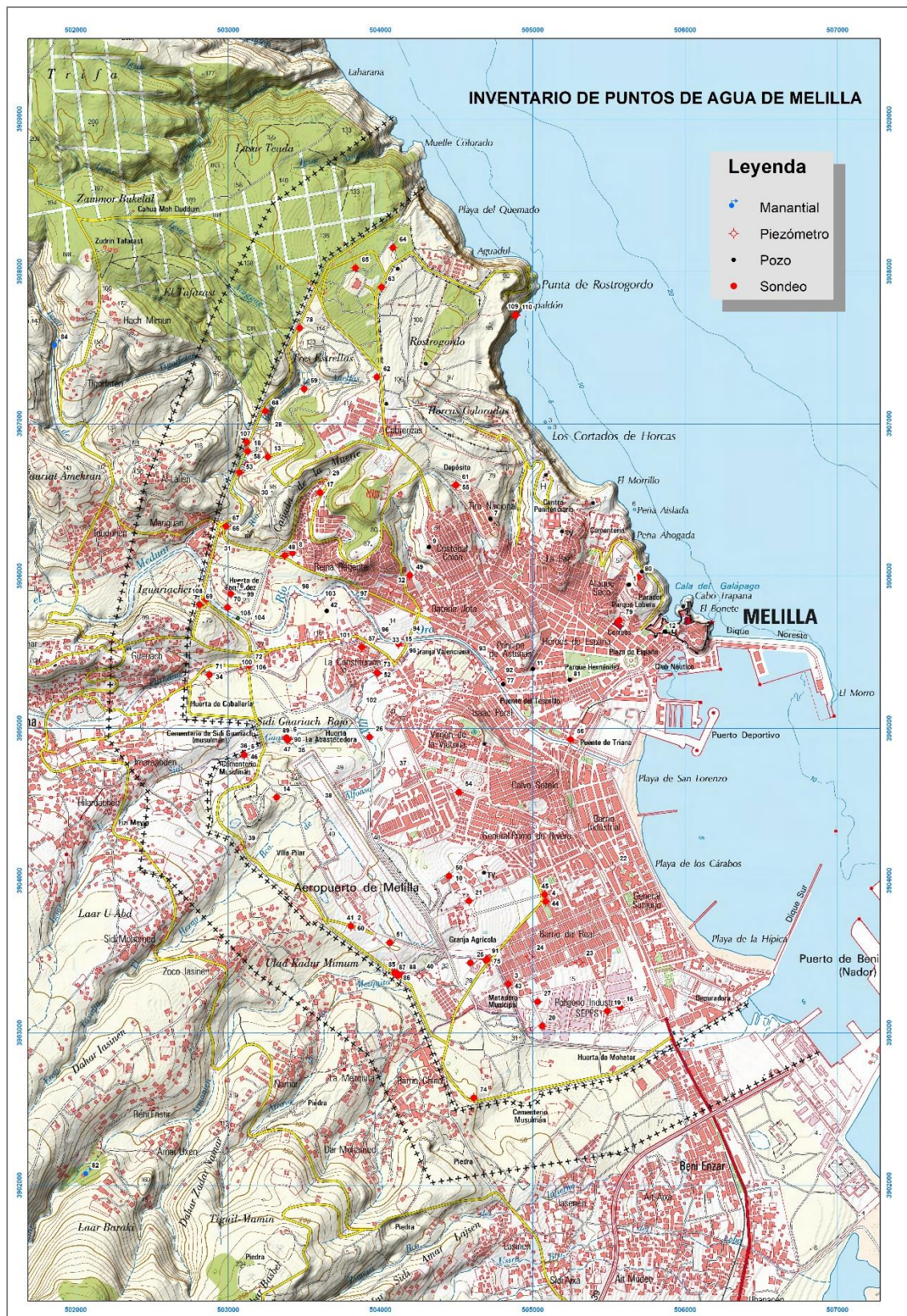


Figura 1: Inventario de puntos de agua de la Demarcación Hidrográfica de Melilla

3. REINTERPRETACIÓN DEL ENSAYO REALIZADO EN SIDI GUARIACH EN 1974

3.1. Características generales del ensayo

El ensayo lo llevó a cabo el Instituto Geológico y Minero de España a petición del Excmo. Ayuntamiento de Melilla, a través de su División de Aguas Subterráneas y los trabajos realizados junto con la interpretación del ensayo están recogidos en el *Informe sobre los bombeos de ensayo realizados en los sondeos de "Sidi Aguariach" Melilla*.

El sondeo ensayado fue el denominado en el informe original como nº 2. La evolución del nivel dinámico se controló en el propio pozo de bombeo y en los sondeos nombrados nº 1, situado a 317 m del pozo de bombeo e identificado como 215330035 "Sidi Guariach fuera recinto", y nº 3, localizado a 22 m e identificado como 215330005 "Sidi Guariach I". La identificación a que se ha podido llegar con la información disponible de estos sondeos con el inventario actualizado se muestra en la tabla 1.

Denominación en el ensayo	Toponimia proyecto actual	Nº IGME
Nº 2 (Pozo de bombeo)	Sidi Guariach (S/1)	215330006
Nº 1	Sidi Guariach fuera recinto	215330035
Nº 3	Sidi Guariach I	215330005

Tabla 1: Correspondencia entre los números en el informe original y el inventario actual

El ensayo dio comienzo el día 19 de junio de 1974 y tuvo una duración de 2580 minutos (43 horas). El caudal bombeado fue de 19 l/s durante todo el ensayo. Además de la evolución del nivel dinámico durante el bombeo, se midió la recuperación durante 600 minutos (10 horas) una vez finalizado el ensayo.

Los niveles estáticos de partida, referidos a la boca de los sondeos, se presentan en la tabla 2:

Punto	Profundidad del nivel (m)	Distancia al pozo de bombeo (m)
Nº 1	45,12	317
Nº 2	50,90	-
Nº 3	54,06	20

Tabla 2: Profundidades del N.E. y distancias al pozo de bombeo

Según indica el técnico que realizó el informe, en el pozo de bombeo (nº 2) no se consiguieron medidas de su nivel hidrodinámico durante los primeros 160 minutos, debido a la deficiente instalación del tubo auxiliar para dirigir el hidronivel, y a partir de este momento los registros ofrecen una escasa fiabilidad.

Durante los 2.580 minutos de duración de la prueba, el descenso total conseguido en el pozo nº 3, fue de 0,84 m y el correspondiente al pozo nº 2 de 4,83 m. El nivel en el pozo nº 1 experimentó una gradual subida a lo largo de todo el bombeo por lo que no se ha tenido en cuenta en esta interpretación al igual que se hizo en la primera interpretación.

3.2. Metodología e interpretación

Los datos tomados en su día se han reinterpretado mediante el programa PIBE 3.2, creado por la empresa Aljibe y distribuido como software libre por la Diputación de Alicante. La aplicación PIBE 3.2 se ha desarrollado en el entorno Microsoft Visual Studio Express 2013 para escritorio

de Windows (© 2013 Microsoft Corporation), utilizando Visual Basic como lenguaje, bajo la plataforma .NET, lo que posibilita su ejecución en distintos sistemas operativos.

Los diferentes métodos de interpretación de ensayos de bombeo y condiciones hidráulicas incorporadas en la aplicación permiten interpretar ensayos tanto en régimen variable (métodos de Theis, Hantush y Neuman) como en régimen permanente (método de Thiem). Además, en la aplicación se han incorporado dos formas para interpretar ensayos cuando se alcanza el régimen permanente: con caudal constante midiendo los descensos en varios puntos de control y con caudal variable midiendo el descenso en un sólo punto de control.

Asimismo, permite interpretar el ensayo considerando la existencia de barreras: El usuario puede elegir entre ninguna, una, dos, tres, cuatro o considerar un cambio de transmisividad lateral.

En nuestro caso se han realizado interpretaciones en régimen variable con los tres métodos anteriormente indicados para el régimen de bombeo que se ha identificado como variable a la vista de los datos de campo.

El mejor ajuste de las curvas experimentales se ha obtenido con el método de Hantush para acuíferos confinados con la hipótesis de un cambio lateral de permeabilidad.

Resolviendo la ecuación la ecuación general que define el flujo de agua en los medios porosos en ausencia de recargas exteriores para un acuífero semiconfinado por otro superior bien alimentado (de nivel constante) que drena agua hacia el inferior a través de un nivel semipermeable, Hantush llega a la siguiente expresión para obtener el descenso provocado por un bombeo:

$$d = \frac{Q}{4 \pi T} W(u, r/B)$$

donde:

d , descenso en un punto situado a una distancia r del pozo de bombeo (m)

Q , caudal de bombeo constante ($\text{m}^3/\text{día}$)

$W(u, r/B)$, función de pozo para acuífero semiconfinado

u , coeficiente adimensional que viene definido por: $u = \frac{r^2 S}{4 T t}$

r , distancia al pozo de bombeo (m)

B , factor de goteo (m), viene definido por: $B = \sqrt{\frac{T b'}{K'}}$

K' , conductividad hidráulica de la formación semipermeable (m/día)

b' , espesor del acuífero semipermeable (m)

K'/b' , coeficiente de goteo (1/d)

b'/K' , resistividad hidráulica (1/d)

t, tiempo transcurrido desde el inicio del bombeo (días)

Hay que indicar que cuanto mayor sea la resistividad hidráulica (b'/K') del nivel semipermeable, menor conductividad (K') y menor coeficiente de goteo (K'/b'), mayor será el factor de goteo (B). En el caso de que el nivel superior no sea semipermeable (acuicludo) el acuífero estará confinado y el factor de goteo B será “infinito” y en consecuencia r/B es igual a cero.

El programa resuelve la integral $W(u,r/B)$, $W(u)$ para $r/B=0$ en acuíferos confinados, por la fórmula de los trapecios para valores dados de u y r/B . El número de trapecios y el ancho de los mismos lo calcula el programa según los valores de la función. El número de trapecios se aumenta para un mayor valor u y menor r/B con el objeto de calcular la integral con mayor precisión. De esta forma se alcanza una precisión mínima hasta el cuarto decimal de $W(u,r/B)$.

Para calcular el efecto sobre el descenso en un punto de un acuífero sometido a una explotación debido a un cambio de transmisividad lateral la aplicación emplea una metodología similar a la utilizada para las barreras. En este caso, los pozos imagen que se generan extraen el mismo caudal que el pozo de explotación (del mismo signo o contrario dependiendo de si la barrera es impermeable o de recarga). En el programa se considera que el cambio lateral de transmisividad es brusco y rectilíneo, al igual que las barreras, aunque no serían de naturaleza impermeable ni de recarga, sino un caso intermedio entre ambas.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Q_I = Q \frac{T - T'}{T + T'}$$

donde:

Q_I , caudal de extracción en el pozo imagen ($m^3/día$)

Q , caudal de extracción en el pozo de explotación ($m^3/día$)

T , transmisividad del acuífero en que se sitúa el pozo en explotación ($m^2/día$)

T' , valor del cambio de transmisividad lateral ($m^2/día$), donde se situaría el pozo imagen

La curva de descenso/tiempo para el descenso medido en el pozo de bombeo realizado se presenta en la figura 2. Como se puede observar, el ajuste entre los puntos experimentales medidos y la curva teórica obtenida es bastante bueno.

Esta curva teórica se obtiene para un valor de la transmisividad de **281 $m^2/día$** . Como es sabido, en este tipo de ensayos no se puede calcular el coeficiente de almacenamiento (S) con los datos medidos en el pozo de bombeo. Los parámetros de distancia y transmisividad del acuífero lateral donde se sitúa el pozo imagen son 80 m y 400 $m^2/día$.

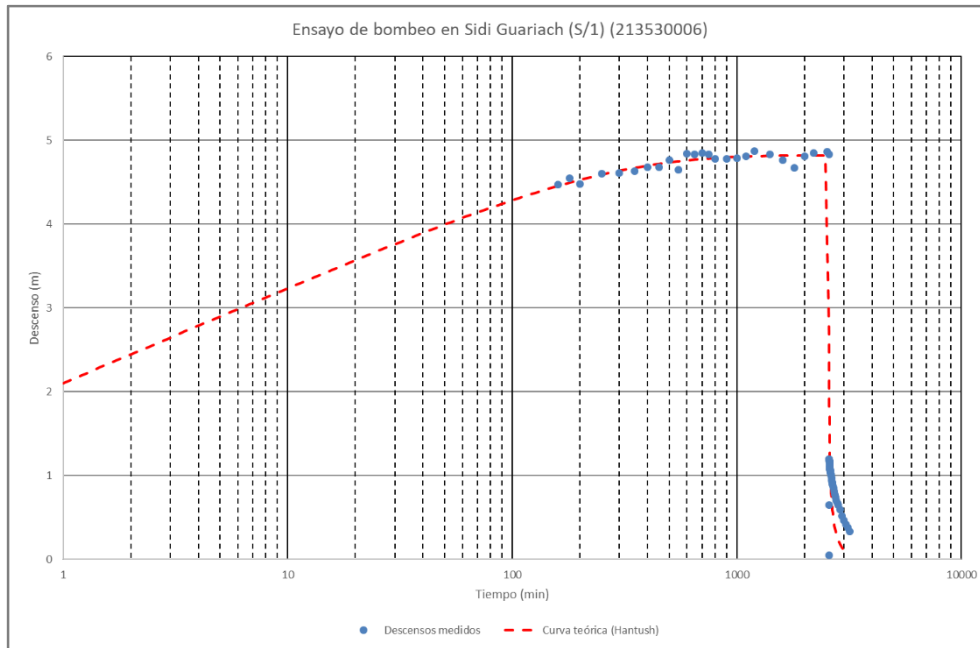


Figura 2: Gráfico descenso/tiempo para el pozo de bombeo

Para el caso de los datos tomados en el piezómetro y teniendo en cuenta el mismo supuesto se ha obtenido el gráfico de ajuste entre los datos de campo y la curva teórica que se presentan en la figura 3. Se obtiene una transmisividad de **1.000 m²/día** y un coeficiente de almacenamiento de **2,3 x 10⁻²**.

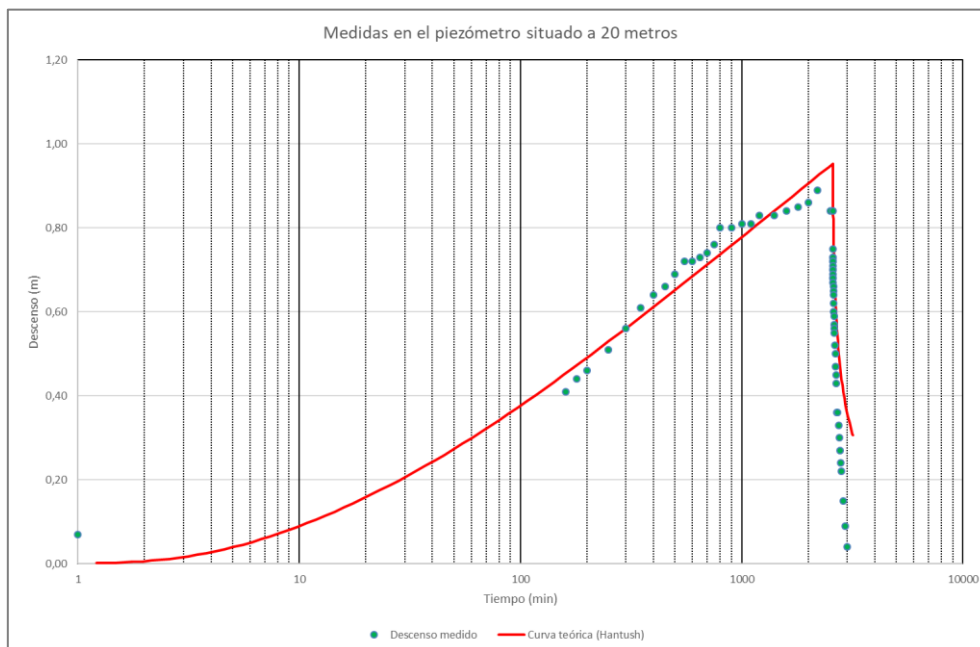


Figura 3: Gráfico descenso/tiempo para el piezómetro situado a 20 m

4. INTERPRETACIÓN DE LOS DESARROLLOS CON AIRE COMPRIMIDO REALIZADOS EN 1958

En los trabajos realizados en 1958 y recogidos en el “Informe sobre alumbramiento de aguas subterráneas en la zona de soberanía de Melilla” se recogen una serie de desarrollos con aire comprimido de los sondeos perforados.

Los datos de caudal y descenso producido en estos desarrollos se han interpretado para la estimación de valores de la transmisividad en los acuíferos captados.

4.1. Metodología

Existen muchas relaciones empíricas entre la transmisividad del acuífero y el caudal específico. De hecho, la transmisividad a menudo se estima a partir de datos de este último debido al alto coste pruebas estándar (ensayos de bombeo) que se deben llevar a cabo para su obtención en oposición a la disponibilidad relativa de datos de caudal específico.

En la mayoría de los casos, se utilizan expresiones analíticas que relacionan ambas magnitudes (Thomasson y otros, 1960; Theis, 1963; Brown, 1963) en este análisis.

Sin embargo, las soluciones analíticas que predicen la transmisividad en función de Q/s no concuerdan bien con las transmisividades medidas, aparentemente debido a las pérdidas de carga por turbulencias dentro de los pozos de bombeo, que no es considerada por ninguna de las soluciones analíticas. Las relaciones empíricas son en este sentido mejores que las relaciones teóricas. Las funciones de log-log tienen mayores coeficientes de correlación que las funciones lineales.

Con este planteamiento, Razack y Huntley (1991) desarrollaron una relación empírica entre T y Q/s que aplicaron tanto en los acuíferos continentales como en los aluviales en Marruecos. La mejor relación encontrada para el conjunto de datos elegido para este estudio dio coeficiente de correlación de 0,63, pero el intervalo de predicción fue de aproximadamente 1,2 ciclos de registro, lo que indica que el rango de transmisividades probables correspondientes a un caudal específico único fue de más de un orden de magnitud. Las pruebas con subconjuntos de datos más pequeños sugieren que las correlaciones basadas en conjuntos de datos de 10 puntos o menos tienen un valor limitado. Asumiendo estas limitaciones, estos autores proponen la ecuación siguiente:

$$T = 15,3(Q/s)^{0,67}$$

donde:

T es la transmisividad en $m^2/día$

Q , el caudal en $m^3/día$ y

s , el descenso en m

4.2. Interpretación

Los valores obtenidos para los diferentes ensayos se presentan en la tabla 3. Además, se han agrupado por acuíferos de los que se presentan los valores medios, máximos y mínimos calculados.

Nº IGME	Nombre (Inf. 1985)	Ens.	Q (l/s)	s (m)	T (m ² /día)	Acuífero	Med	Max	Min
215330028	2-BARRANCO NANO	1	3	2,02	396	Calizo	264	719	72
		2	3	2,78	319				
215330030	3-BARRANCO NANO	1	0,7	1,7	167				
		2	0,64	1	225				
		3	1,56	6	123				
		4	1	1,4	242				
215330034	7-ARROYO FRAHANA	1	1,9	8,3	113				
		2	2	17	72				
215330038	9-BARRANCO S'AGUARIACH	1	3,62	1	719				
215330032	4-PLAZA HERNAN CORTÉS	1	3,92	1,6	553	Calizo+volcánico	310	553	210
		2	2,31	2,1	324				
215330033	5-MARGEN DCHA. RIO ORO	1	4,73	8,2	210				
215330031	6-MARGEN IZDA. RIO ORO	1	2,58	3,2	263				
		2	2,05	3	235				
		3	2,81	3,2	278				
215330040	12-PROXIMO MOJON IV	1	0,44	13,5	31	Volcánico	86	115	31
215330039	13-BARRANCO S'AGUARIACH	1	1,16	5	114				
		2	1,17	5	115				

Tabla 3: Valores de T calculados con los datos de los desarrollos mediante aire comprimido

Como se puede observar, para el acuífero calizo tenemos un valor medio de T de **264 m²/día** y para el volcánico de **86 m²/día**. En aquellos sondeos que captan ambos acuíferos, la transmisividad obtenida es de **310 m²/día**.

En la figura 4 se presenta un mapa con la localización de los sondeos cuyo desarrollo con aire comprimido se ha interpretado en el que también se incluye el sondeo Sidi Guariach (S/1), con ensayo de bombeo reinterpretado en el epígrafe 3.



Figura 4: Mapa de localización de los sondeos con ensayo reinterpretado

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bradbury K.R., Rothschild E.R. (1985). A computerized technique for estimating hydraulic conductivity of aquifers from specific capacity data. Groundwater. Vol. 23(2). 240 – 245.

Brown, R. H. (1963). Estimating the transmissivity of an artesian aquifer from the specific capacity of a well. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1536-1. pp. 336-338.

Logan, J. (1964) Estimating Transmissibility from Routine Production Tests of Water Wells. Groundwater, 2:35-37, 2 Tab.; Columbus.

Razack M., Huntley D. (1991). Assessing transmissivity from specific capacity data in a large and heterogeneous alluvial aquifer. Groundwater. Vol 29(6) 856 – 861.

Theis C.V. (1963). Estimating the transmissivity of a water table aquifer from the specific capacity of a well. U.S geological survey water supply paper. 1536A. 332 – 336.

Thomasson, H. J., Olmsted F. H., and LeRoux E. R.. 1960. Geology, water resources, and usable ground water storage capacity of part of Solano County, CA U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1464. 693 pp.

ANEXO 1: LISTADO DE PUNTOS DE INVENTARIO

ANEJO 2: FICHAS DE PUNTOS DE INVENTARIO

ANEXO 3: DATOS DE DESCENSO Y CAUDAL DEL ENSAYO DE BOMBEO REALIZADO EN SIDI
GUARIACH (S/1) EN 1974