



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España



Instituto Geológico
y Minero de España

INFORME	Identificación:
	Fecha: 18 de junio de 2010
TÍTULO: INFORME SOBRE LOS RESULTADO DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN EL PROYECTO UTILIZACIÓN DE ANÁLOGOS HIDROGEOLÓGICOS NATURALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE CAPTACIÓN EN DESALADORAS DE AGUA DE MAR	
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE ANÁLOGOS HIDROGEOLÓGICOS NATURALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE CAPTACIÓN EN DESALADORAS DE AGUA DE MAR	
RESUMEN (continuar al dorso en caso necesario): Este informe presenta los resultados de monitorización de la población microbiana en los sondeos de control contruidos para el proyecto "Utilización de análogos hidrogeológicos naturales para la optimización de los procesos de captación en desaladoras de agua de mar", financiado por el Ministerio de Medio Ambiente y desarrollado conjuntamente por el IGME, la Universidad de Almería y la empresa Inima Grupo OHL. Su objetivo ha sido determinar la existencia de conexión entre las captaciones y el mar, y si su relación con alguna de las variables determinadas permite obtener conclusiones acerca de los procesos de eliminación de materia orgánica en el proceso de filtrado. Se ha podido concluir que la formación acuífera ha funcionado como un eficaz filtro frente a la entrada de bacterias procedentes del mar y que la evolución de las poblaciones en los tres sondeos parecen más debidas a fenómenos puntuales de contaminación que a la llegada paulatina de agua marina. Palabras clave: Filtración, Población Microbiana, Desalación, Materia Orgánica, Hidrogeología, Acuíferos Costeros.	
Revisión Nombre: Unidad: Fecha:	Autores: LUIS MORENO MERINO M ^a ÁNGELES FERÁNDEZ JURADO Responsable: LUIS MORENO MERNO

CORREO ELECTRÓNICO

igme@igme.es

RÍOS ROSAS, 23
28003-MADRID
TELÉFONO: 91 349 5700
FAX: 91 442 6216



1 Introducción y objetivos

Este informe forma parte de los trabajos realizados en el proyecto titulado: "Utilización de análogos hidrogeológicos naturales para la optimización de los procesos de captación en desaladoras de agua de mar", financiado por el Ministerio de Medio Ambiente dentro de la Acción estratégica para el uso y gestión de los recursos naturales y la conservación de los hábitat y ecosistemas (año 2007). El proyecto se está desarrollando conjuntamente por el IGME, la Universidad de Almería y la empresa Inima Grupo OHL. En el informe se presentan los resultados de la monitorización de la población microbiana en los sondeos de control.

La población microbiana de las aguas subterráneas es muy escasa, esto se debe fundamentalmente a la pobreza de nutrientes, al reducido o nulo aporte energético y al intenso proceso de filtrado que sufre al atravesar la zona no saturada.

El origen de la mayor parte de los microorganismos presentes en las aguas subterráneas se encuentra en la actividad humana, la infiltración de aguas residuales, la ganadería y agricultura, el vertido de residuos sólidos, así como a la actividad industrial y minera. En condiciones naturales los microorganismos que con más frecuencia se encuentran en los acuíferos son aquellos que provienen de la relación de los acuíferos con los cuerpos de agua superficiales, especialmente con ríos, lagos o el mar.

Aprovechando esta última circunstancia, y puesto que una consecuencia esperable del experimento llevado a cabo en Almería es la modificación de la dirección del flujo de agua subterránea, induciéndose la entrada de agua marina hacia el acuífero debido al bombeo continuado en el pozo de extracción, se planteó la conveniencia de estudiar algún indicador microbiológico genérico que pudiera ser empleado como trazador de la existencia de caminos preferentes de flujo, o vías de suficiente tamaño de poro como para permitir el flujo de microorganismos. Hay que tener en cuenta que el tamaño típico de las bacterias está entre 1 y 4 μm , aunque generalmente se encuentran formando parte de agregados mucho mayores.

Un segundo objetivo, que no ha sido posible cumplir, debido a que no se obtuvo un testigo adecuado para su análisis, era comparar la evolución de las poblaciones indicadoras en el agua y en la matriz filtrante.

Como indicadores, y puesto que se trataba de buscar parámetros de fácil determinación en laboratorios estándar de la zona, se eligieron bacterias aerobias totales a 22 y 37 °C y bacterias anaerobias a 37 °C.

De forma resumida, se plantea como objetivo, determinar si los análisis microbiológicos realizados sirven como indicador de la conexión entre las captaciones y el mar y si su relación con alguna de las variables determinadas permite obtener conclusiones acerca de los procesos de eliminación de materia orgánica en el proceso de filtrado.

2 Resultados analíticos y discusión

En los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de las aguas de mar, de las aguas del pozo de bombeo y de los pozos de observación P1 y P2. Además se presentan los análisis de pH, conductividad eléctrica y TOC (carbono orgánico total) para facilitar la interpretación de los resultados.

2.1 Evolución del agua de mar

Los resultados analíticos del agua de mar se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Evolución microbiológica del agua de mar

MUESTRA	Fecha	Anaer 37°C UFC/100mL	Aer 37°C (UFC/mL)	Aer 22°C UFC/100mL	pH	CE (20°) (µS/cm)	TOC (mg/L)
T 0	04-03-09	161	130	19000	7,93	67916	0,66
T 1	11-03-09	3	2	228	7,91	67166	0,84
T 2	18-03-09	-	0	95	7,95	67316	0,69
T 3	25-03-09	36	2	172	7,97	67666	0,73
T 4	01-04-09	15	0	79	7,97	67366	0,78
T 5	08-04-09	11	0	390	7,97	67666	0,65
T 6	22-04-09	43	2	170	7,93	67616	0,63
T 7	29-04-09	0	0	94	7,98	67566	0,68
T 8	06-05-09	0	1	120	7,95	67716	0,70
T 9	13-05-09	16	1200	11	7,92	68616	0,69
T 10	20-05-09	13	40	6500	7,93	67866	0,74
T 11	27-05-09	24	5	300	7,93	65966	0,72
T 12	03-06-09	47	4	510	7,93	67966	0,74
T 13	10-06-09	0	0	540	7,92	68016	0,70
T 14	26-06-09	74	11	660	7,98	68211	0,66
T-15	07-07-09	110	300	20000	7,99	67815	0,68
T-16	22-07-09	1700	70	1100	7,74	67964	0,78
T-17	05-08-09	81	0	100	7,79	65216	0,77
T-18	19-08-09	88	5	300	7,87	67509	0,79
T-19	24-09-09	240	0	770	7,93	65562	0,95
T-20	01-10-09	90	23	1500	7,79	65012	0,86
T-21	07-10-09	0	4	65	7,95	67411	0,81
T-22	14-10-09	110	28	1500	7,86	67411	0,76
T-23	19-10-09	27	0	160	7,86	65960	0,75
T-24	30-11-09	53	7	800	7,91	66015	0,88
T-25	20-01-10	85	78	7700	7,84	66961	0,85
T-26	03-02-10	160	6	1900	7,84	66261	1,02
T-27	10-03-10	1300	100	28000	7,75	66800	1,00
T-28	24-03-10	2900	3600	20000	7,94	66700	1,10
T-29	07-04-10	160	20000	1400	7,91	66950	0,80
T-30	21-04-10	170	7	2100	8,06	67500	0,24

El agua de mar se interpreta desde el punto de vista de “control de fondo”, es decir, no interesa tanto la razón de su contenido en microorganismos o el porqué de su evolución sino como “trazador”, que en el caso de afectar al pozo de bombeo o a los de monitorización, podría ser detectado.

Cabe destacar tres hechos: a) el elevado contenido en bacterias anaerobias resistentes a 37°C, algunas de estas bacterias crean formas de resistencia, esporas, cuando están en condiciones adversas, y podrían haber llegado a

los pozos de observación. No lo han hecho. b) la tendencia a aumentar ligeramente el contenido en los diversos indicadores (figura 1) y c) la falta de estacionalidad en la evolución observada.

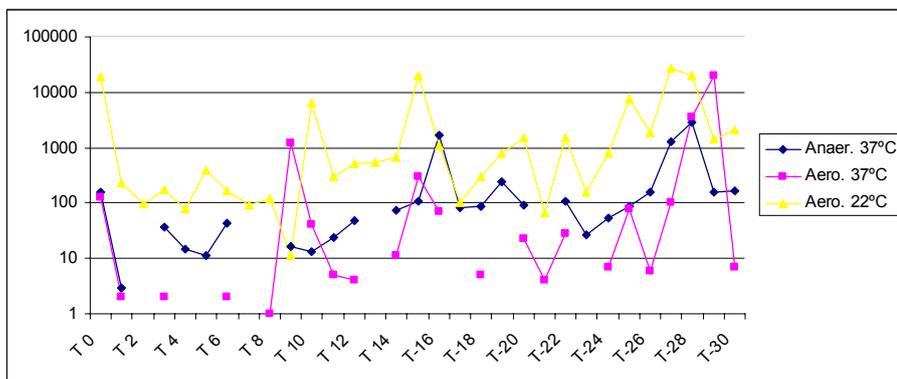


Figura 1. Evolución del contenido microbiano en el agua de mar. (debido a la escala logarítmica los valores 0 no se representan).

2.2 Evolución en el pozo de bombeo (PB)

En la tabla 2 se muestran los resultados de los análisis realizados en el pozo de bombeo.

Sería de esperar que en condiciones naturales, tanto el contenido en bacterias anaerobias a 37°C como las aerobias a 37°C, fuera cero, sin embargo, figura 2, se observa que puntualmente algún valor se sitúa por encima de cero, estos valores, especialmente los referidos a las bacterias anaerobias a 37°C son achacables casi con seguridad a contaminación del sondeo. De forma repentina, en enero de 2010 se produce un incremento de ambos parámetros, aunque con grandes oscilaciones, de forma simultánea los aerobios a 22°C pasan de valores en torno a las 100 UFC/100 mL a 27.000.

La interpretación del aumento brusco de aerobias a 22°C, pobladores habituales del medio natural como el suelo o las aguas superficiales puede deberse, a la presencia de un episodio de contaminación a través de la boca del sondeo, o a la llegada de un frente de agua contaminada, habría que comprobar que no ha habido, por ejemplo, entrada de agua, polvo o suciedad a través del emboquille, aunque sea en cantidades muy pequeñas, o si en esa época no se ha manipulado la bomba, etc.

Tabla 2: Evolución microbiológica del pozo PB

MUESTRA	Fecha	Anaer 37°C UFC/100mL	Aer 37°C (UFC/mL)	Aer 22°C UFC/100mL	pH	CE (20°) (µS/cm)	TOC (mg/L)
T 1	11-03-09		0	54	7,26	47666	0,10
T 2	18-03-09		0	75	7,11	47916	0,12
T 3	25-03-09	34	0	31	7,42	48616	0,21
T 4	01-04-09	5	0	13	7,43	48966	0,16
T 5	08-04-09		1	30	7,28	51316	0,24
T 6	22-04-09		0	6	7,17	51016	0,16
T 7	29-04-09	0	0	71	7,08	51316	0,12
T 8	06-05-09	0	0	120	7,21	50316	0,10
T 9	13-05-09	0	0	120	7,09	50026	0,20
T 10	20-05-09	0	0	110	7,05	51166	0,18
T 11	27-05-09	0	0	330	6,97	50466	0,16
T 12	03-06-09	0	0	14	7,05	54966	0,15
T 13	10-06-09	0	0	70	6,93	48066	0,19
T 14	26-06-09	0	5	280	7,36	54411	0,19
T-15	07-07-09	0	0	110	7,16	52365	0,22
T-16	22-07-09	0	0	170	7,62	50564	0,16
T-17	05-08-09	0	0	28	7,63	52466	0,12
T-18	19-08-09	0	0	100	7,57	50159	0,11
T-19	24-09-09	0	0	100	7,16	48162	0,15
T-20	01-10-09	0	0	180	7,02	49712	0,27
T-21	07-10-09	15	0	13	7,37	51711	0,27
T-22	14-10-09	0	68	<4	7,17	51261	0,24
T-23	19-10-09	0	0	120	7,22	49340	0,24
T-24	30-11-09	0	0	130	7,02	49865	0,15
T-25	20-01-10	0	180	27000	7,15	50211	0,20
T-26	03-02-10	960	23	20000	7,18	50061	0,40
T-27	10-03-10	0	3600	30000	6,93	50100	
T-28	24-03-10	17	4	20000	7,1	49800	0,13
T-29	07-04-10	200	0	19000	7,05	51300	0,18
T-30	21-04-10	0	5	4300	7,08	50850	0,14

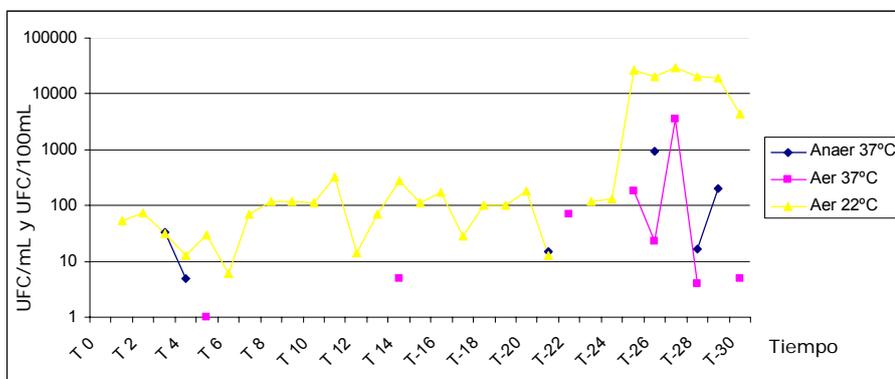


Figura 2 evolución del contenido bacteriano en el pozo de bombeo (debido a la escala logarítmica los valores 0 no se representan).

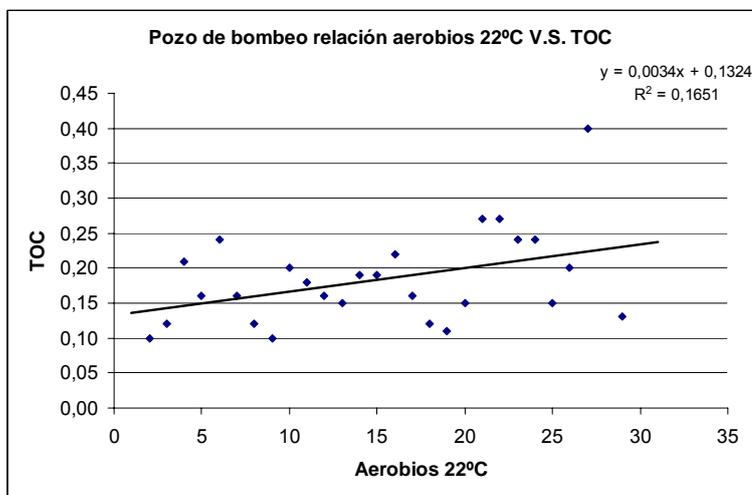


Figura 3. Comparación de la evolución del contenido en aerobios a 22°C y del carbono orgánico total en las muestras tomadas en el sondeo de bombeo.

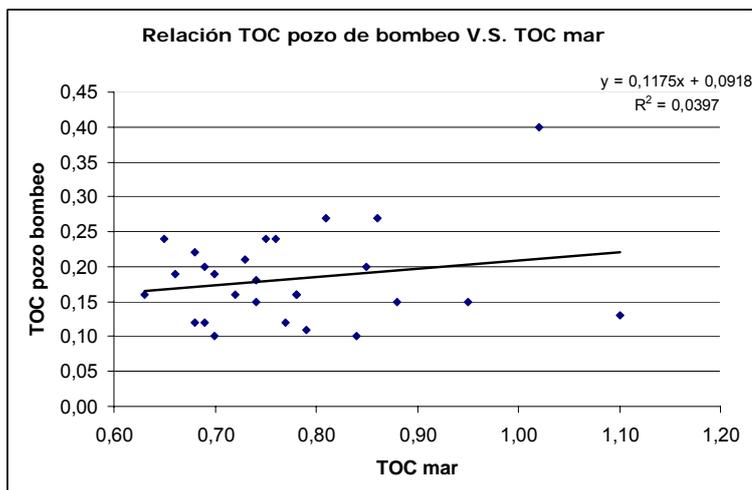


Figura 4. Comparación entre la evolución del TOC en el pozo de bombeo y el agua de mar.

Otra posibilidad es el desprendimiento de restos del biofilm que recubre las partículas del filtro de grava, pero en tal caso los contenidos en bacterias deberían poder correlacionarse con las operaciones de parada/arranque de la bomba. No se aprecia esta relación.

La opción más probable parece ser la primera, un episodio de contaminación, pues como se aprecia en el descenso paulatino con el tiempo, en la concentración de aerobias a 22°C, parece que el sistema tiende a los valores previos al 20 de enero una vez que la contaminación se va lavando. Si fuese un frente de contaminación, de origen subterráneo, tenderían a estabilizarse en valores más o menos elevados todos los parámetros.

Por otra parte, en la figura 3 se observa que no existe correlación alguna entre el contenido en carbono orgánico y las bacterias aerobias a 22°C. Recordar que el carbono orgánico es factor limitante del crecimiento bacteriano y generalmente a mayor disponibilidad de sustrato debiera haber mayor población bacteriana degradándolo. Esta falta de correlación, unida al hecho de que los valores de carbono orgánico se mantienen (figura 4) sin relación alguna con el contenido en carbono del mar abunda en la idea de que la evolución observada en el contenido microbiano del agua del pozo de bombeo se debe a un proceso esporádico de contaminación y no a la llegada del frente de agua marina.

La correlación observada entre el contenido en Aerobias a 22°C en el mar y el pozo de bombeo, 0,3971, parece deberse más a la casualidad o a factores externos que a la llegada de agua de mar al pozo de bombeo.

En resumen, en el pozo de bombeo los análisis microbiológicos muestran una relativa estabilidad temporal, desde el comienzo de los muestreos hasta enero de 2010, momento en el que un proceso de contaminación dispara los

indicadores, especialmente los aerobios totales a 22°C, que paulatinamente parecen regresar a los valores de fondo. Los valores puntualmente elevados de indicadores a 37°C parecen deberse a episodios de contaminación externa sin más significado. No se observa ninguna tendencia significativa en ninguno de los indicadores estudiados.

2.3 Evolución en el pozo de observación P1

En la tabla 3 se muestran los resultados analíticos del pozo de observación P1

Tabla 3: Evolución microbiológica del pozo P1

MUESTRA	Fecha	Anaer 37°C UFC/100mL	Aer 37°C (UFC/mL)	Aer 22°C UFC/100mL	pH	CE (20°) (µS/cm)	TOC (mg/L)
T 0	04-03-09	6	110	68000	7,17	48866	0,14
T 1	11-03-09		2	183	7,16	48516	0,10
T 2	18-03-09	2	20	29000	7,13	48466	0,21
T 3	25-03-09	169	2	184	7,43	47416	0,14
T 4	01-04-09		2	125	7,45	47516	0,18
T 5	08-04-09	18	1	129	7,36	47566	0,10
T 6	22-04-09	2	2	220	7,51	47666	0,21
T 7	29-04-09	0	0	150	7,30	45716	0,18
T 8	06-05-09	0	3	120	7,22	47466	0,10
T 9	13-05-09	0	11	1300	7,35	47466	0,28
T 10	20-05-09	0	15	4700	7,11	47466	0,17
T 11	27-05-09	0	4	8000	7,03	47266	0,14
T 12	03-06-09	0	7	1300	7,12	45166	0,12
T 13	10-06-09	0	4	14000	7,07	46516	0,10
T-20	01-10-09	0	14	1700	7,05	48112	0,10
T-21	07-10-09	0	0	87	7,23	48389	0,19
T-22	14-10-09	2	11000	17	7,08	48311	0,12
T-23	19-10-09	0	0	490	7,30	47110	0,12
T-25	20-01-10	0	0	100	7,09	44711	0,23
T-26	03-02-10	0	0	280	7,11	46061	0,27
T-27	10-03-10	0	6	350	7,01	45150	0,18
T-28	24-03-10	0	6	900	6,98	42250	0,22
T-29	07-04-10	0	0	20000	7,10	45000	0,30
T-30	21-04-10	0	0	5500	7,03	45400	0,10

El pozo P1 se encuentra a 2,7 metros del pozo de bombeo. Dada la corta distancia entre ambos sería de esperar que la evolución de los indicadores corriese de forma pareja en ambos pozos, pero el análisis de los índices de correlación entre las mismas variables de ambos pozos (Anaer 37°C $r^2 = 0,0015$, Aer 37°C $r^2 = 0,0009$, Aer 22°C $r^2 = 0,0002$) permite afirmar que las grandes oscilaciones observadas se deben, en el caso de los indicadores a 37 °C a procesos de contaminación externos, y en el caso de las aerobias a 22°C a fenómenos no relacionados con la entrada de agua de mar, de hecho, al igual que sucedía en el pozo de bombeo, no se observa evolución alguna a lo largo del tiempo en estos parámetros (figura 5).

Es interesante resaltar que tampoco los valores medidos de carbono orgánico (TOCbombeo VS TOCP1 $r^2 = 0,0467$) muestran correlación alguna, mientras que el valor observado para el pH (pHbombeo VS pHP1 $r^2 = 0,4496$) es incluso muy bajo para aguas de la misma formación captadas a escasos 3 metros. No obstante lo que más sorprende es que la correlación encontrada en la conductividad eléctrica (C.E.bombeo VS C.E.P1 $r^2 = 0,0611$) sea tan baja.

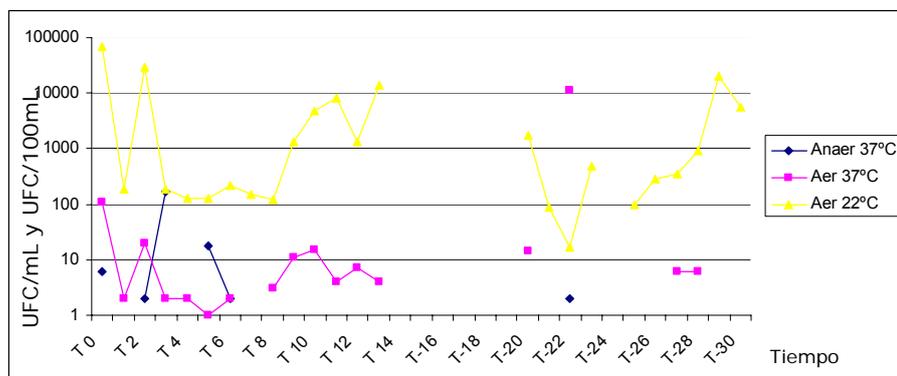


Figura 5 evolución del contenido bacteriano en el pozo de bombeo (debido a la escala logarítmica los valores 0 no se representan).

2.4 Evolución en el pozo de observación P2

En la tabla 4 se muestran los resultados de los análisis realizados en el pozo de observación P2.

Tabla 4: Evolución microbiológica del pozo P2

MUESTRA	Fecha	Anaer 37°C UFC/100mL	Aer 37°C (UFC/mL)	Aer 22°C UFC/100mL	pH	CE (20°) (µS/cm)	TOC (mg/L)
T 0	04-03-09		3	226	7,11	51566	0,18
T 1	11-03-09		3	256	7,08	52266	0,15
T 2	18-03-09		2	222	7,07	54916	0,19
T 3	25-03-09	153	2	176	7,37	54366	0,21
T 4	01-04-09	35	2	109	7,18	55566	0,17
T 5	08-04-09	34	1	107	7,25	55266	0,16
T 6	22-04-09	2	2	160	7,19	56166	0,23
T 7	29-04-09	0	0	150	7,14	57716	0,16
T 8	06-05-09	0	1	260	7,25	56966	0,16
T 9	13-05-09	0	13	1000	7,24	55616	0,17
T 10	20-05-09	1100	6	7	7,13	58866	0,22
T 11	27-05-09	0	0	8100	7,08	57266	0,18
T 12	03-06-09	0	6	1300	7,08	58116	0,23
T 13	10-06-09	0	0	11000	6,95	56216	0,20
T-20	01-10-09	0	0	1900	7,06	55112	0,19
T-21	07-10-09	230	43	1000	7,16	56311	0,34
T-22	14-10-09	0	21000	15	7,12	55311	0,16
T-23	19-10-09	0	0	200	7,42	53860	0,18
T-27	10-03-10	0	0	1100	7,03	51300	0,20
T-28	24-03-10	0	0	710	6,98	51550	0,35
T-29	07-04-10	0	0	1000	7,12	49550	0,10
T-30	21-04-10	0	0	1200	7,05	50650	0,19

La evolución observada en P2, (figura 6), es equivalente a la observada en el resto de los sondeos: predominio de las muestras con ausencia de indicadores a 37°C aunque esporádicamente se midan colonias mas o menos abundantes. Además, destaca en este caso la total independencia de la relación entre el TOC y las bacterias aerobias a 22°C ($r^2 = 9 \times 10^{-6}$).

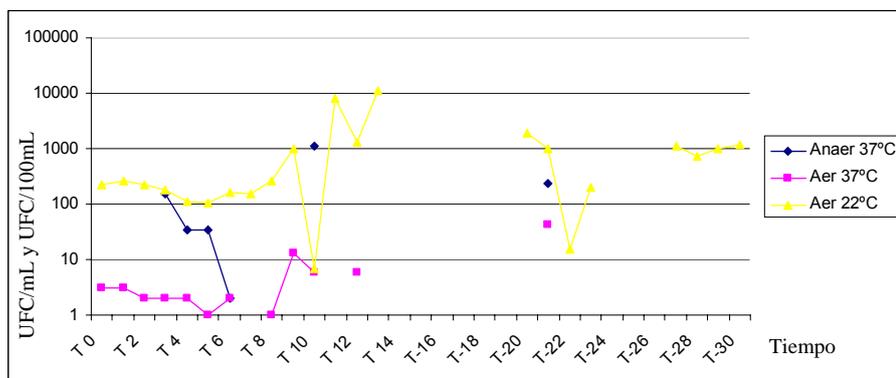


Figura 6 evolución del contenido bacteriano en el pozo de bombeo (debido a la escala logarítmica los valores 0 no se representan).

3 Conclusiones

No parece que haya ninguna influencia del agua de mar en la composición microbiológica del agua de los sondeos de observación ni del de bombeo.

El contenido en aerobias y anaerobias a 37°C, normalmente cero en aguas subterráneas, se mantiene así excepto en casos aislados, lo que parece debido a situaciones de contaminación puntual mas que a la llegada de agua marina.

Las bacterias aerobias a 22°C, pobladores normales de las aguas superficiales y el suelo, presentan valores que podrían considerarse normales, de algunas decenas, en menos ocasiones que en las que presentan picos demasiado elevados para poder ser considerados como la población normal del acuífero. Su no correlación con incrementos en la materia orgánica y su falta de relación con otros grupos bacterianos parece indicar que también se trata de contaminación externa o afección por el biofilm del empaque de gravas, esto es especialmente aplicable a los últimos meses del pozo de bombeo.

En resumen, la formación acuífera ha funcionado como un eficaz filtro frente a la entrada de bacterias procedentes del mar, no apreciándose en la analítica realizada la influencia de éste. La evolución de las poblaciones en los pozos de observación y en el de bombeo parecen más debidas a fenómenos puntuales de contaminación que a la llegada paulatina de agua marina.