



Universidad
Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL ACUIFERO ALUVIAL URBANO DE ZARAGOZA

Autora

María Albero Tena

Director

José Ángel Sánchez Navarro

ÍNDICE

1. ABSTRACT	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS	3
4. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO	3
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ACUÍFERO.....	4
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO: DATOS UTILIZADOS Y SU TRATAMIENTO 5	5
5.1 DATOS MICROBIOLÓGICOS (BACTERIAS)	5
5.2 DATOS FÍSICO-QUÍMICOS	6
6.1.1 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO5)	6
6.1.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	6
6.1.3 OXÍGENO DISUELTO (OD)	6
6.1.4 CARBONO ORGÁNICO TOTAL (TOC EN INGLES).....	7
6.3 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	9
6. RESULTADOS.....	17
7. CONCLUSIONES	19
8. AGRADECIMIENTOS	19
9. BIBLIOGRAFÍA	20

ANEXO I: RANGOS DE TEMPERATURA, ACOMPAÑADOS POR ISOTERMAS.

ANEXO II: PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

1. ABSTRACT:

The microbiological study (bacteria) of the groundwater will be centred on a total of 31 sampling points, covering the whole metropolitan area of Zaragoza. Apart from this data, the physical-chemical parameters corresponding to the underground water of Zaragoza's urban alluvial aquifer, as well as the Imperial Canal and the rivers related to the aquifer, will also be studied.

Since it is an anthropized zone, higher values are observed locally; these values could be related to marginal areas of the aquifer or in relation to river water infiltration.

The important shallow geothermal exploitation of this aquifer is a singularity that is manifested in the microbiological characteristics of the waters as follows:

- Favouring, at least in percentage, the development of mesophilic bacteria over cryophilic ones
- Evidence of a reduction in the amount of bacteria in the areas of greatest thermal impact (heat plumes), possibly as a result of the thermal "shock" produced in heat exchangers, as suggested in the literatura.

2. INTRODUCCIÓN:

Este trabajo se centra en la caracterización microbiológica de las aguas subterráneas del acuífero aluvial urbano de Zaragoza, a través principalmente de su contenido bacteriológico. Para ello se consideran los resultados del análisis de 31 muestras de agua subterránea obtenidas entre octubre/noviembre de 2016, situados homogéneamente en toda el área metropolitana de Zaragoza. Todos los datos utilizados en esta campaña fueron analizados previamente por el Laboratorio del Instituto Municipal de Salud Pública, del Ayuntamiento de Zaragoza. Se incluye también la recopilación de otros datos disponibles del acuífero y de las entradas y salidas de agua al mismo, tanto de bacterias como de parámetros físico-químicos indicativos de la presencia y abundancia de materia orgánica.

Teniendo en cuenta que el estudio de bacterias se encuentra dentro de la rama médico-sanitaria, en hidrogeología no es frecuente su estudio, sino más bien parámetros físico-químicos que sean indicativos de su presencia, entendida como contaminación del agua y no como consecuencias sanitarias.

Uno de los parámetros de contaminación más utilizado sería la DQO (Demanda Química de Oxígeno, pero también son de utilidad el Oxígeno Disuelto (OD) y el Carbono Orgánico Total (TOC en inglés). El parámetro que más se acerca a la realidad de la concentración bacteriana sería la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), muy utilizada en plantas de depuración de aguas residuales.

El acuífero aluvial urbano de Zaragoza, se ha dividido en 23 zonas que coinciden con las 23 zonas de saneamiento de las aguas residuales de la ciudad, (Fig. 3) el motivo es que una gran parte de la contaminación microbiológica se debe a las pérdidas de las conducciones de agua residuales de la ciudad (alcantarillado). Cada una de estas zonas confluye en un colector que lleva las aguas a una depuradora, así que puede considerarse cada zona como una unidad de vertido.

3. OBJETIVOS:

Con los datos aportados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), se pretende la caracterización microbiológica de las aguas subterráneas presentes en el acuífero aluvial de Zaragoza.

Se pretende caracterizar la variación espacial del contenido microbiológico en las aguas, bacterias especialmente, así como su relación con la temperatura, la profundidad del nivel freático y otras características hidrogeológicas del acuífero.

Se pretende también comparar los indicadores de contenido en materia orgánica del agua de los acuíferos con las aguas superficiales relacionadas con el mismo (Canal Imperial, ríos Ebro, Gállego y Huerva).

Para la consecución de estos objetivos:

1. Se definirá previamente, desde un punto de vista cualitativo, el sistema hidrogeológico subterráneo, correspondiente al acuífero aluvial de Zaragoza.
2. Se explicaran todos los parámetros utilizados para la descripción de las muestras ya sean biológicos o físico-químicos.
3. Posteriormente comenzaremos con el estudio de las muestras, observando las variaciones espacio-temporales de cada una de ellas, donde se destacaran los datos más representativos.
4. Complementaremos el estudio de las muestras con los datos obtenidos de la Confederación hidrológica del Ebro (CHE), donde el estudio de las aguas superficiales correspondiente a los diferentes ríos como el Ebro, Huerva, Gállego y Canal Imperial nos aportara una gran información para posteriores conclusiones.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO.

La ciudad de Zaragoza se encuentra ubicada en el sector centro-occidental de la Depresión del Ebro. El clima es de tipo Mediterráneo continentalizado, con una temperatura media anual de 15° y una precipitación media de 350 mm/año. (IGME, 1990-1991)

La ciudad de Zaragoza se sitúa bajo dos grandes masas de aguas subterráneas. El aluvial del Ebro en el tramo comprendido entre la desembocadura del río Jalón y la localidad de Gelsa, y el aluvial del río Gállego. Ambos presentan una naturaleza detrítica con porosidad intergranular, ligadas a los distintos niveles de terrazas asociadas a su vez a formaciones aluviales y de glacia. (Garrido et al. 2010)

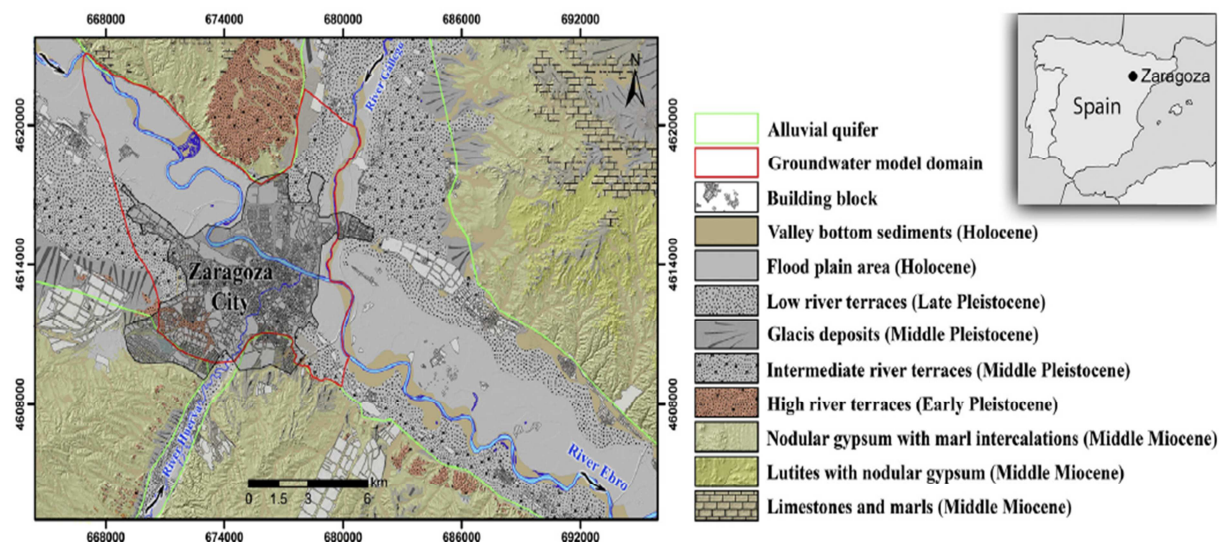


Figura 1: Situación geográfica y geológica del área de estudio, la cual abarca el área metropolitana de Zaragoza en el sector central de la cuenca del río Ebro (España), tomada de García-Gil et al. (2018).

Desde el punto de vista geológico los materiales que afloran son Mioceno (Terciario) y principalmente Cuaternario

Los depósitos terciarios están constituidos por materiales detríticos, formados por capas de margas y esquisto, intercalados con la “Formación de yeso de Zaragoza” (Quirantes, 1978; Salvany et al., 2007). Estos materiales culminan con relieves calcáreos, correspondientes a las zonas más elevadas de la zona (La Muela). Son de permeabilidad reducida y conforman el nivel de base de los acuíferos superficiales.

Por otro lado los depósitos Cuaternarios forman parte de las diferentes terrazas, situadas longitudinalmente con respecto a los diferentes ríos, siendo estos el Ebro, Gállego y Huerva. (Dirección de Hidrogeología y aguas subterráneas e IGME, 2004). Los materiales corresponden a gravas con cantos, arenas y limos con morfología de terrazas, glacis y cauces activos.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ACUÍFERO

La ciudad de Zaragoza se asienta sobre dos importantes unidades acuíferas o masas de agua subterránea, (Garrido et al. 2010) con una superficie de 632km² (Dirección general del agua e IGME, sf).

El acuífero aluvial se desarrolla sobre un conjunto de terrazas superpuesta que le dan una potencia media de más de 30m de espesor. El acuífero está conectado hidráulico con el río Ebro y los ríos Gállego y Huerva. En la zona urbana de Zaragoza, tanto el Gállego como el Huerva son ríos influentes, es decir que pierden agua a través de su cauce. Por el contrario el río Ebro es predominantemente afluente, y solo en momentos de avenidas se convierte en influente. La recarga del acuífero es principalmente por los excedentes de riego aplicado en cultivos próximos, todos ellos recargados con aguas del río Ebro a través del Canal Imperial de Aragón.

El acuífero aluvial tiene notables variaciones de espesor, hecho relacionado con la activa karstificación que se produce en el sustrato evaporítico (Sánchez Navarro et al., 2004), destacando grosso modo dos grandes surcos rellenos por más de 40 m de sedimento, uno en la parte sur de la

ciudad y otro a lo largo del río Gállego. El río Ebro tiene su cauce sobre un delgado relleno cuaternario de menos de 20 m de potencia, que presenta frecuentes irregularidades locales que dan como resultado la existencia de zonas con espesores de menos de 5 m, junto a pequeños surcos de más de 50 m. Los parámetros hidrogeológicos del acuífero aluvial son notablemente elevados, siendo frecuentes valores de transmisividad de 2500-3000 m²/día, excepcionalmente se han medido valores de más de 20000 m²/día (Garrido et al. 2010).

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO: DATOS UTILIZADOS Y SU TRATAMIENTO

5.1 DATOS MICROBIOLÓGICO (BACTERIAS)

En la tabla 1 se muestran los resultados de los análisis realizados por los Laboratorio del Instituto Municipal de Salud Pública, del Ayuntamiento de Zaragoza. La campaña de muestreo se realizó entre octubre/noviembre de 2016 mediante toma de agua en la red de piezómetros que monitoriza en el acuífero aluvial de Zaragoza

La selección de los tipos de organismos a considerar en el análisis obedece al interés en valorar la contaminación bacteriana del acuífero considerado.

Las *Bacterias Coliformes*, *Streptococos fecales*, *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens* se encuentran dentro del ser humano, y otros seres vivos de sangre caliente, alojándose dentro del intestino y siendo expulsadas a través de las heces. “Su medición puede indicar cuál es la fuente de contaminación: un rango mayor de 4 es indicativo de contaminación fecal humana, un rango menor a 0,7 sugiere contaminación por una fuente no humana”. (APHA, 1995)

Otras bacterias presentes como *Staphylococcus aureus* o *Pseudomonas aeruginosa* también se hospedan dentro de seres vivos, más comúnmente en los humanos. Con respecto a la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, esta no tiene por qué ser un parásito, ya que podemos encontrarla en el suelo comportándose como desnitrificante “La importancia de esta, se incrementó al observar la capacidad de inhibición respecto a las coliformes, siendo los indicadores de contaminación de agua más usados en el mundo, se corre un gran riesgo de consumir agua con índice de coliformes cero los cuales podrían estar inhibidos por Pseudomonas” (Soares, 1996).

La bacteria *Salmonella* incluida dentro de la familia Enterobacteriaceae, se trasmite en especial por alimentos de origen animal. Esta habita normalmente en la superficie de los huevos, o la piel de alimentos en contacto con la tierra como frutas, verduras..., por lo que la presencia de esta en las aguas subterráneas puede ser debido a cercanía de zonas agrícolas o ganaderas.

Por último la presencia de Legionella, en concreto la más importante de esta familia *Legionella pneumophila* puede estar causado por la disposición de un centro hospitalario cerca de la zona de muestreo, ya que la presencia de esta bacteria en el agua subterránea, generalmente es causada por seres vivos infectados. Se trata de bacterias que viven en aguas estancadas, puede encontrarse en un rango muy elevado de temperatura, sin embargo su temperatura ideal es superior a los 35°C, su crecimiento se ve favorecido por la presencia de materia orgánica, la cual aumenta conforme lo hace la temperatura.

5.2 DATOS FÍSICO-QUÍMICOS INDICADORES DE PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA

La caracterización microbiológica del agua, puede realizarse indirectamente valorando su contenido en material orgánica (viva o muerta). Existen parámetro físico y físico-químicos que fácilmente pueden ser medidos y dan una indicación de esa presencia de material orgánico y por tanto de contaminación del agua. Estos parámetros son los siguientes:

5.2.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Se trata de un parámetro que indica la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias y otros microorganismos. Este consumo de oxígeno se obtiene por la degradación de la materia orgánica presente en la muestra. El cual ocurre en un plazo de 5 días a una temperatura de 20°C. El valor DBO es una medida indirecta de la suma de todas las sustancias orgánicas biodegradables del agua, utilizándose para medir el grado de contaminación de las aguas, expresado en (mg/l). En la mayoría de las aguas presentes en el planeta (ríos, lagos, acuíferos...) se pueden utilizar este parámetro, sin embargo las aguas potables al presentan un nivel bajo de materia oxidable, no se podrá utilizar este parámetro, se deberá utilizar otro que se ajuste a sus condiciones.

5.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se trata de un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas. Este parámetro se obtiene a través de medios químicos, dando el resultado entre 90 minutos y 3 horas, no los 5 días que necesitábamos para obtener DBO₅. Se utiliza para medir el grado de contaminación, expresada en (mgO₂/l). Se trata de un método aplicable a aguas con una cantidad apreciable de materia orgánica como lagos, ríos, acuíferos..., no es aplicable en aguas potables debido a la escasez de materia orgánica. La DQO varía en función de las características de la materia, la cantidad, las posibilidades de oxidación...presentes en la muestra. Además de depender del lugar donde nos encontremos, teniendo en cuenta que cuanto mayor contenido en DQO que obtengamos mayor contaminación presenta la muestra.

5.2.2 Oxígeno disuelto (OD)

Se trata de un parámetro que mide cantidad de oxígeno disuelto en agua. El oxígeno disuelto que encontramos en el agua proviene de numerosas fuentes, sin embargo la principal es el aire atmosférico. Este proceso se considera natural y continuo, es decir existe un intercambio continuo de oxígeno entre el agua y el aire. Otra de las fuentes que nos proporciona mayor contenido de oxígeno disuelto, son las plantas acuáticas cuando realizan la fotosíntesis, ya que se trata de un proceso donde captan dióxido de carbono y expulsan oxígeno. Otros factores que afectan al contenido de OD son la salinidad, la altitud (debido a la presión), temperatura...

La temperatura es uno de los factores más destacables a la hora de estudiar la cantidad de oxígeno disuelto en agua. (Fig. 2)

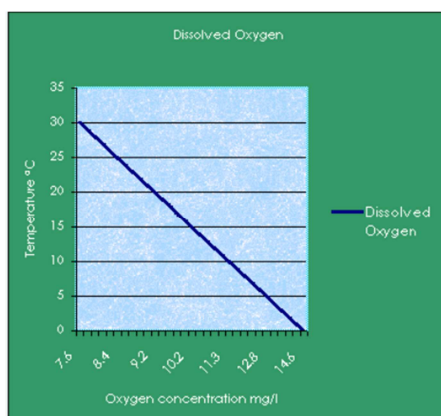


Figura 2: Grafica temperatura frente al oxígeno disuelto, en <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>

La cantidad de oxígeno disuelto en agua puede usarse como indicador del grado de contaminación, Los niveles altos de oxígeno disuelto indican una mejor calidad del agua, sin embargo niveles bajos indicarían elevada presencia de material orgánica.

Carbono orgánico total (TOC en inglés)

Se trata de un parámetro que mide el contenido de carbono que forma parte de un compuesto orgánico presente en las aguas superficiales. Existen muchas sustancias naturales y artificiales que causan un aumento de TOC en el ambiente, sin embargo están pueden llegar a ser descompuesta por microorganismos, durante el proceso de consumo del oxígeno. Este parámetro se usa principalmente para valorar la calidad de las aguas en un lugar concreto. Calculándose mediante la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica.

Los datos de parámetros físico-químicos se han obtenido en la página web de la confederación hidrográfica del Ebro, y corresponden a la red de calidad de aguas superficiales. Son datos de las siguientes estaciones: Canal Imperial, Río Gallego en su tramo final, Río Huerva tramo final, Río Ebro desde Huerva al Gallego y por último el Aluvial del Ebro en la ciudad de Zaragoza.

Como el número de datos disponible es elevado, y para el objetivo del trabajo es suficiente, se muestra los valores medios (Fig. 17), máximos y mínimos (Fig. 16) obtenidos en cada uno de los puntos considerados.

Tabla 1: Datos bacteriológicos, aportados por el IGME.

MUESTA	T (°C)	DQO (mgO2/l)	TABC36 (ufc/ml)	TABC22 (ufc/ml)	BC (nmp/100ml)	EC (nmp/100ml)	PA (ufc/100ml)	EF (ufc/100ml)	CP (ufc/100ml)	SA (ufc/100ml)	S	LPS (ufc/l)	AVL
GS-1	20,4	4,6	89	120	8	3	14		4	10	-	0	-
GS-2	24,1	1,2	12	10	9	0	13	0	0	0	-	0	SI
GS-3	20,3	1,2	680	740	330	0	40	120	1	6	-	0	SI
GS-4	24,8	0,6	8	31	12	0	2	0	0	8	-	0	SI
GS-5	25,4	1,4	52	21	2	0	5	0	0	1	-	0	SI
GS-6	23,7	0,6	56	63	1	0	2	0	0	0	-	0	SI
GS-7	18,5	4,8	>1000	>1000	>2400	770	500	1300	260	300	-	0	SI
GS-8	17,4	0,8	150	230	15	0	23	0	0	1	-	0	SI
GS-9	17,5	0,6	43	41	1	0	6	4	0	3	-	0	SI
GS-11	19,8	1,6	2	19	13	0	10	20	0	30	-	0	SI
GS-16	17	1,2	1000	1500	>2400	76	60	360	60		-	0	SI
GS-19	17,2	1,2	39	25	0	0	9	0	0	20	-	0	SI
GS-48	22,8	0,4			4	1	61		0	1	-	0	SI
GS-49	18,8	3	320	460	26	0	23		0		-	0	SI
GS-50	16,8	0,6	110	160	9	0	80	2	1	4	-	20	SI
GS-51	19,7	0,5	140	160	10	0	40	3	0	0	-	0	SI
GS-52	19,4	2,5	1500	2000	1,4	3	60		0		-	0	SI
GS-53	17,9	1,2	330	370	36	0	130	34	0		-	0	SI
GS-54	27,1	0,8	3,2	200	12	0	41	1	0	0	-	20	SI
GS-55	23,7	0,6			33	1	13		0	40	-	0	SI
GS-56	16,5	0,6	1400	2300	170	52	80	160	7	50	-	0	SI
GS-60	16,3	1,2	31	160	19	0	53	13	1	1	-	0	SI
GS-61	18,1	0,4	0	97	0	0	0	0	0	0	-	0	-
GS-62	17	0,8			60	2	23		2	10	SI	0	SI
GS-65	18,8	1	110	220	31	24	1	770	0	0	-	0	SI
GS-67	17,8	0,8	18	400	13	1	190	2	170	0	-	0	SI
GS-68	17,8	1,8	250	410	19	0	160	30	1	8	-	0	SI
GS-70	18,3	0,5	2300	1900	350	10	450	190	48	0	-	0	SI
GS-72	18,4	0,4	79	260	210	0	3	42	0	0	-	0	SI
GS-73	18,5	0,5	140	480	690	0	130	34	2		-	0	SI
GS-75	18,3	0,6	16	210	86	0	980	4	3	0	-	0	SI

Abreviaturas: T temperatura, DQO demanda química de oxígeno, TABC36 total de bacterias aerobias a 36°C, TABC22 total de bacterias aerobias a 22°C, BC *Bacterias coliformes*, EC *Escherichia coli*, PA *Pseudomonas aeruginosa*, EF *Estreptococos fecales*, CP *Clostridium perfringens*, SA *Staphylococcus aureus*, S *Salmonella*, LPS *Legionella pneumophila* serogrupo y AVL *Amebas de vida libre*

Tabla 2: Promedio de los parámetros físico-químicos correspondiente a cada estación.

	Canal Imperial	Río Gallego último tramo	Río Huerva último tramo	Río Ebro desde Huerva al Gallego	Aluvial del Ebro
DQO	8,4326	38,3484	19,2056	10,0095	-
DQO-P	2,9555	17,8333	3,4666	-	0,6965
Oxígeno disuelto	9,547	11,2564	7,5494	9,3052	6,8373
DBO5	4,0294	12,0661	7,1218	-	-
Materia orgánica	14,75	22,3621	19,773	-	4,0421

5.3 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Todos los datos se han representado espacialmente mediante GIS (Arcview), obteniendo una representación de los valores que en cada punto de muestra corresponden a cada variable considerada; estas representaciones pueden verse desde la figura 4 a 14.

El plano de la figura 3 muestra las 23 zonas de saneamiento de la ciudad de Zaragoza, disponiendo información en 10 de ellas (zonas con puntos de muestreo), aunque son unos números reducidos representa la mayor parte del acuífero aluvial urbano de Zaragoza

En las tablas 1 y 2 aparecen los resultados tanto microbiológicos como de parámetros físico-químicos (demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅)), en tablas Excel, donde serán comparados los resultados obtenidos de diferentes años.

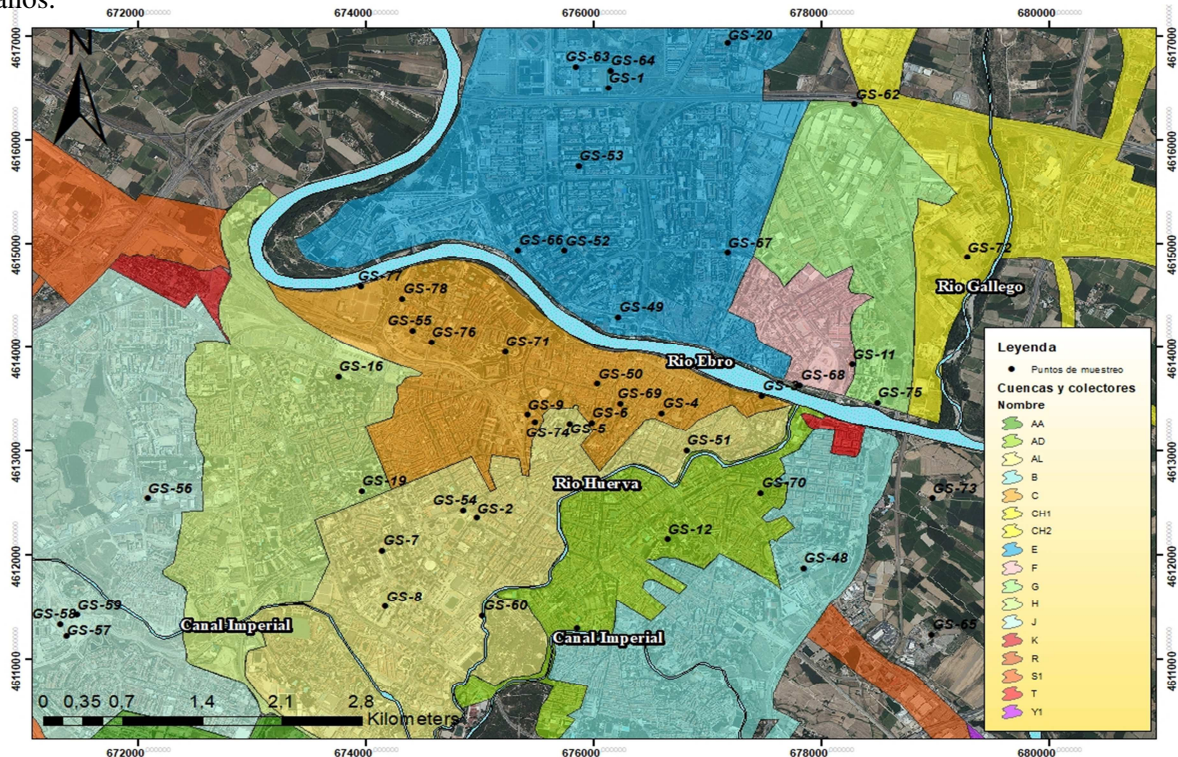


Figura 3: Zonas de saneamiento de la ciudad de Zaragoza, junto a los puntos de muestreo.

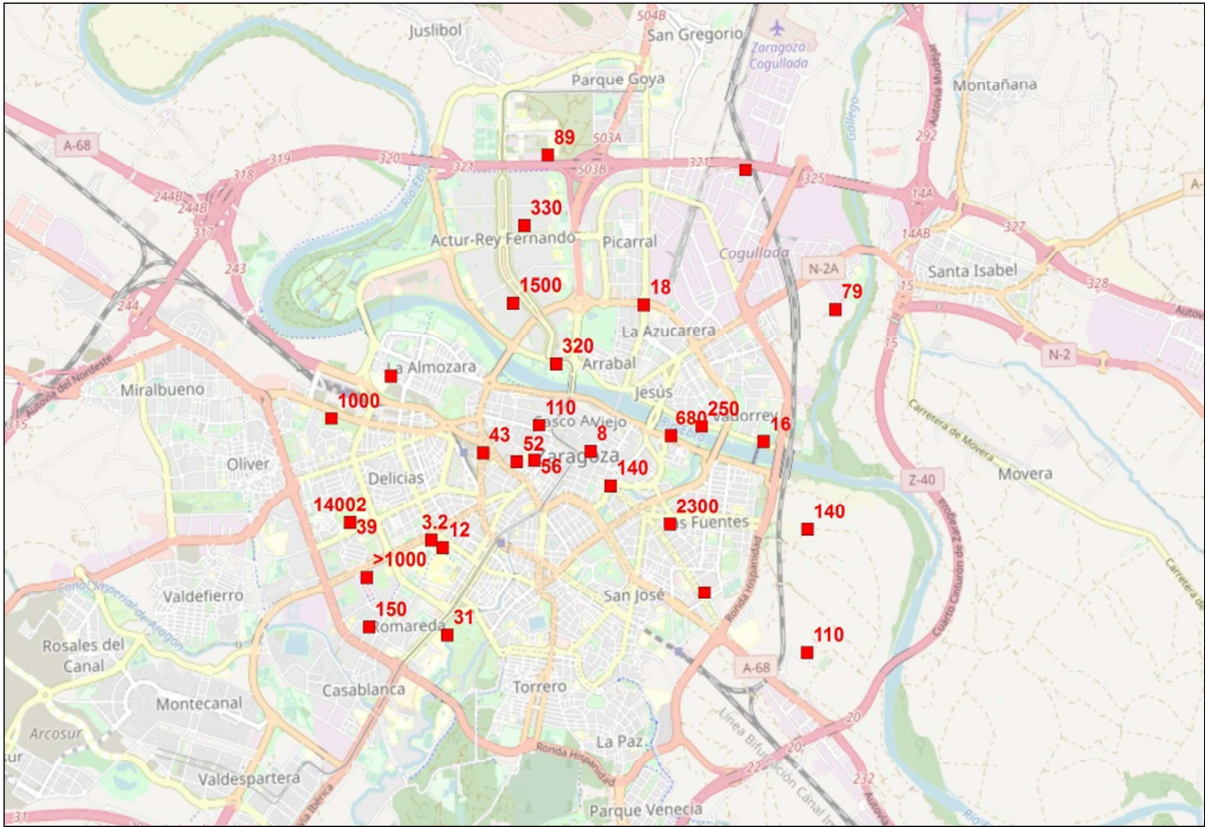


Figura 4: Contenido en bacterias aerobias a 36°C (ufc/ml).

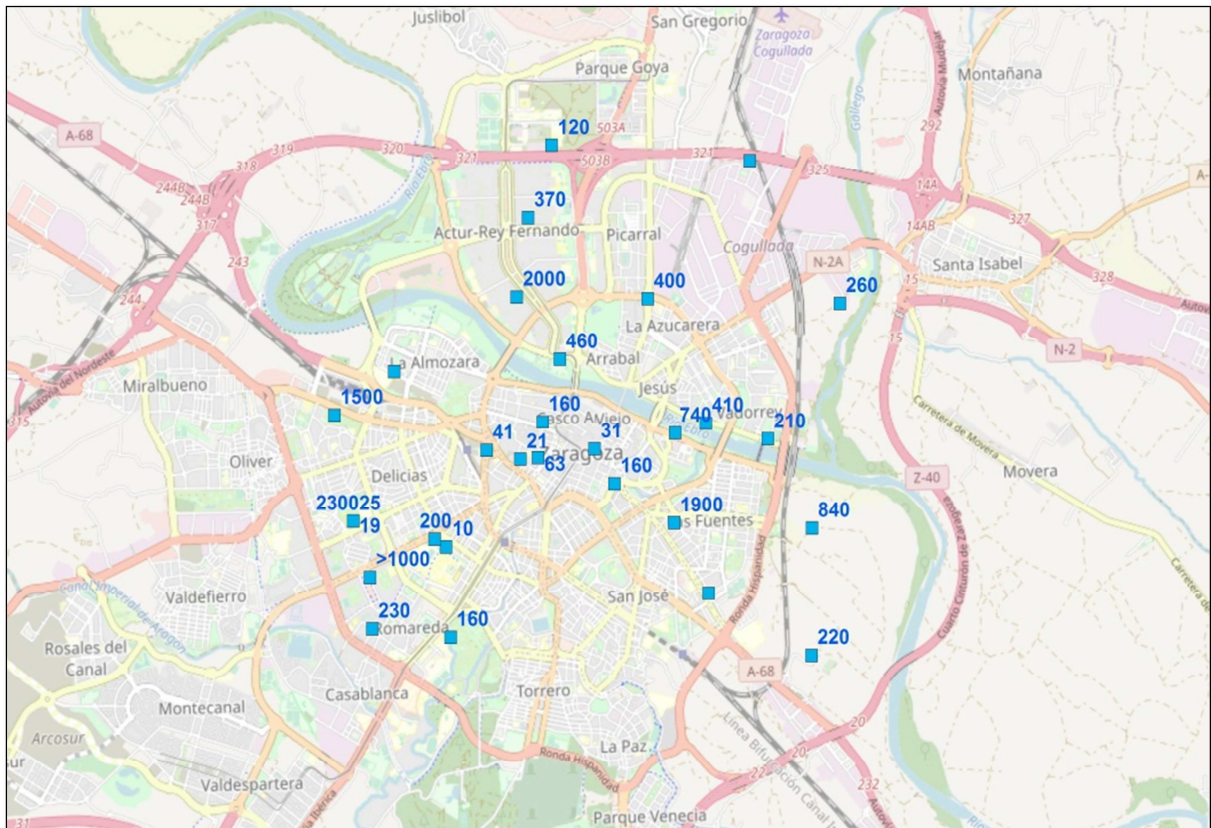


Figura 5: Contenido en bacterias aerobias a 22°C (ufc/ml).

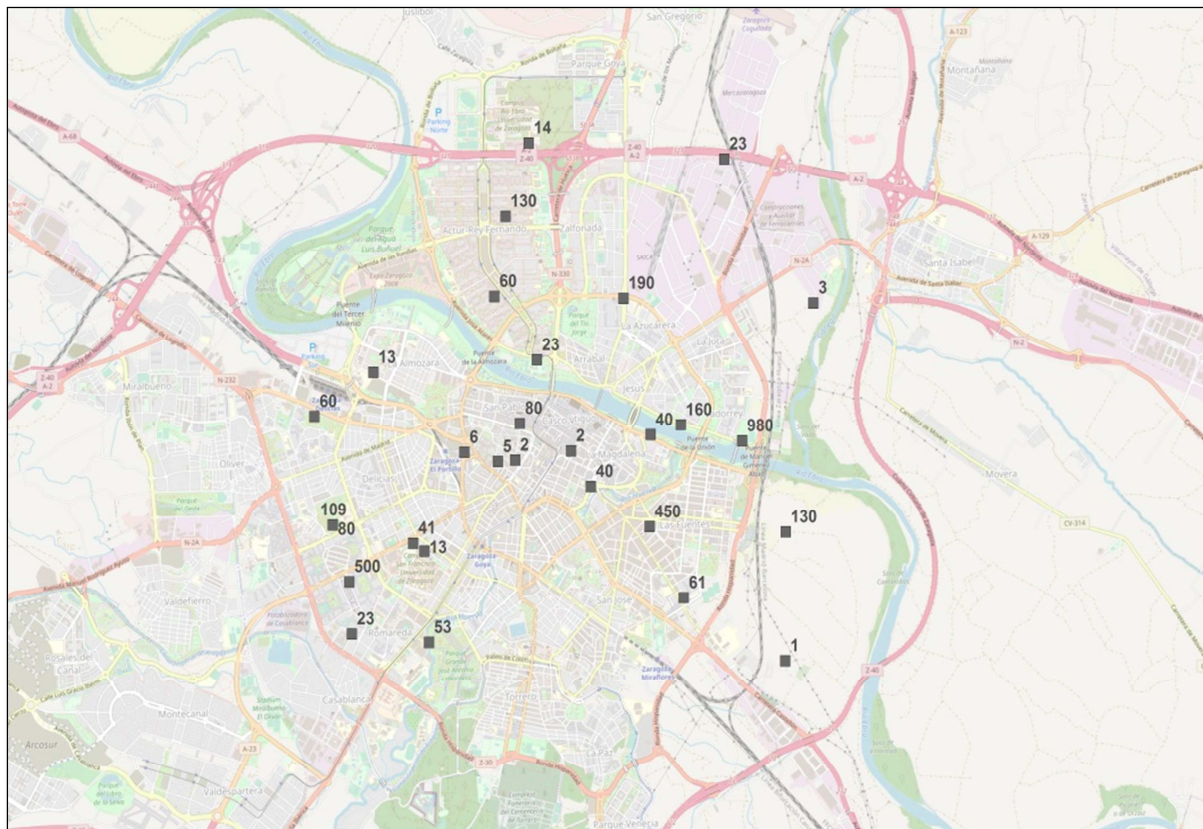


Figura 8: Contenido de *Pseudomonas aeruginosa* (ufc/100 ml).

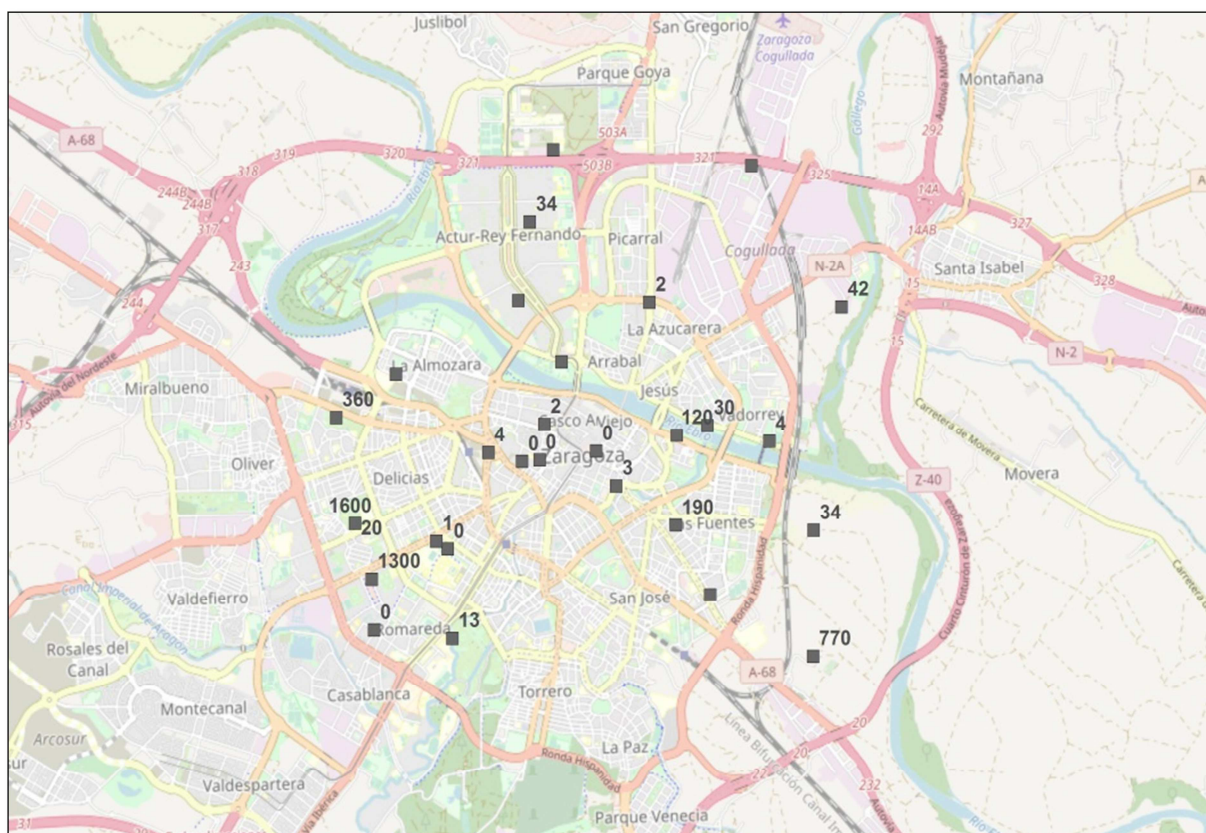


Figura 9: Contenido de *Streptococcus* fecales (ufc/100 ml).

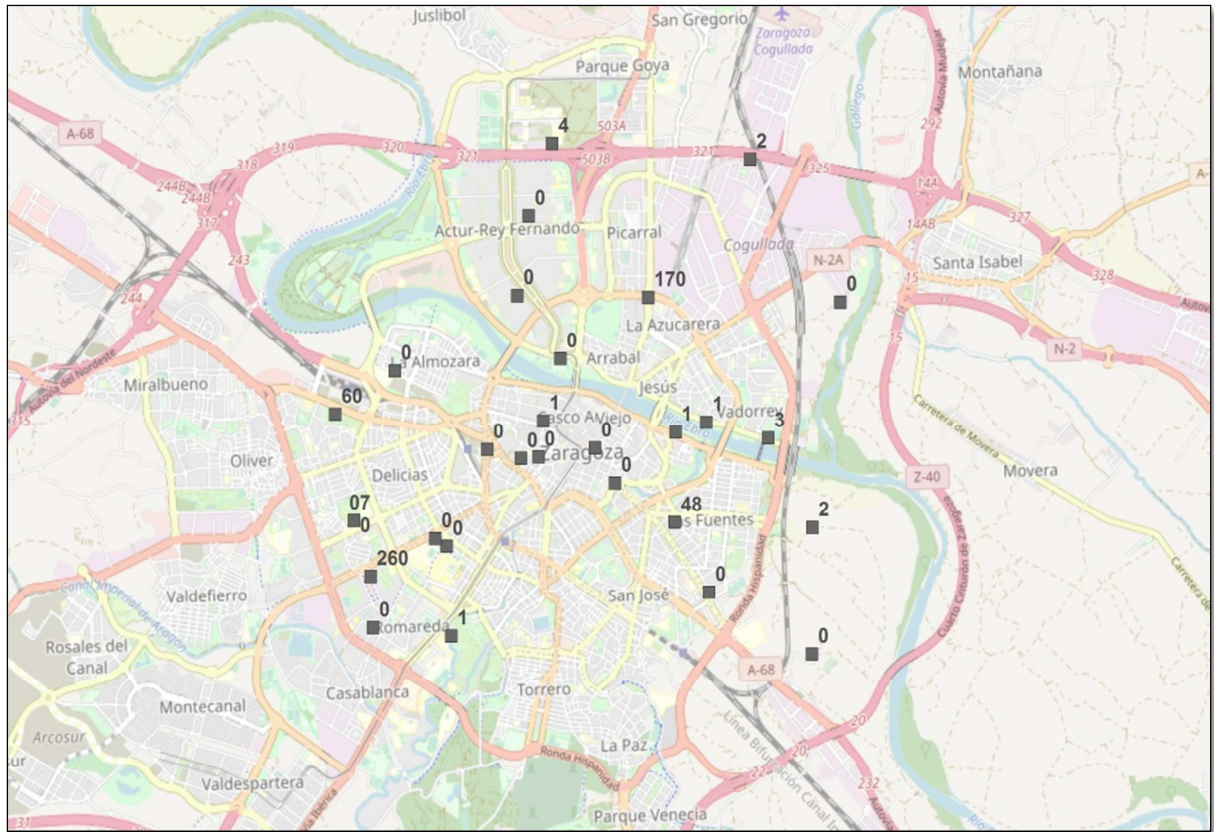


Figura 10: Contenido de Clostridium perfringens (ufc/100 ml).

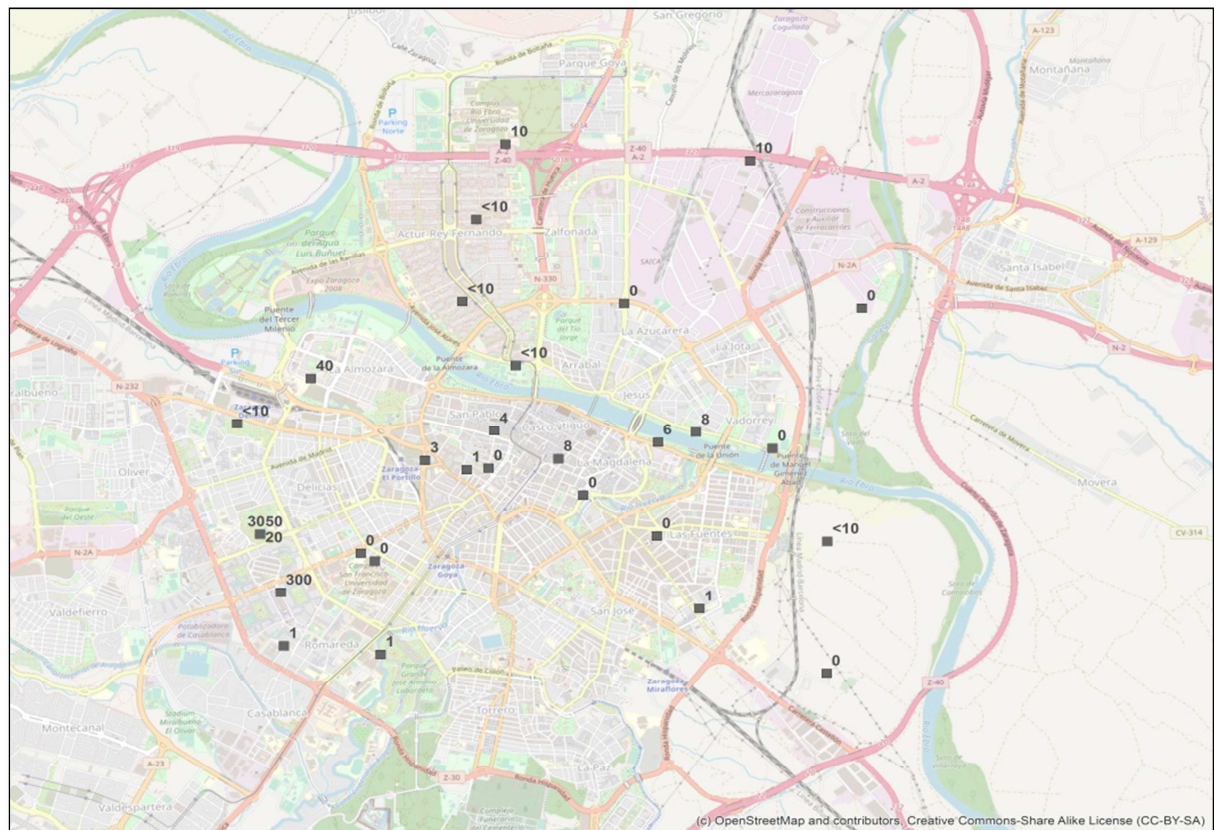


Figura 11: Contenido de Staphylococcus aureus (ufc/100 ml).

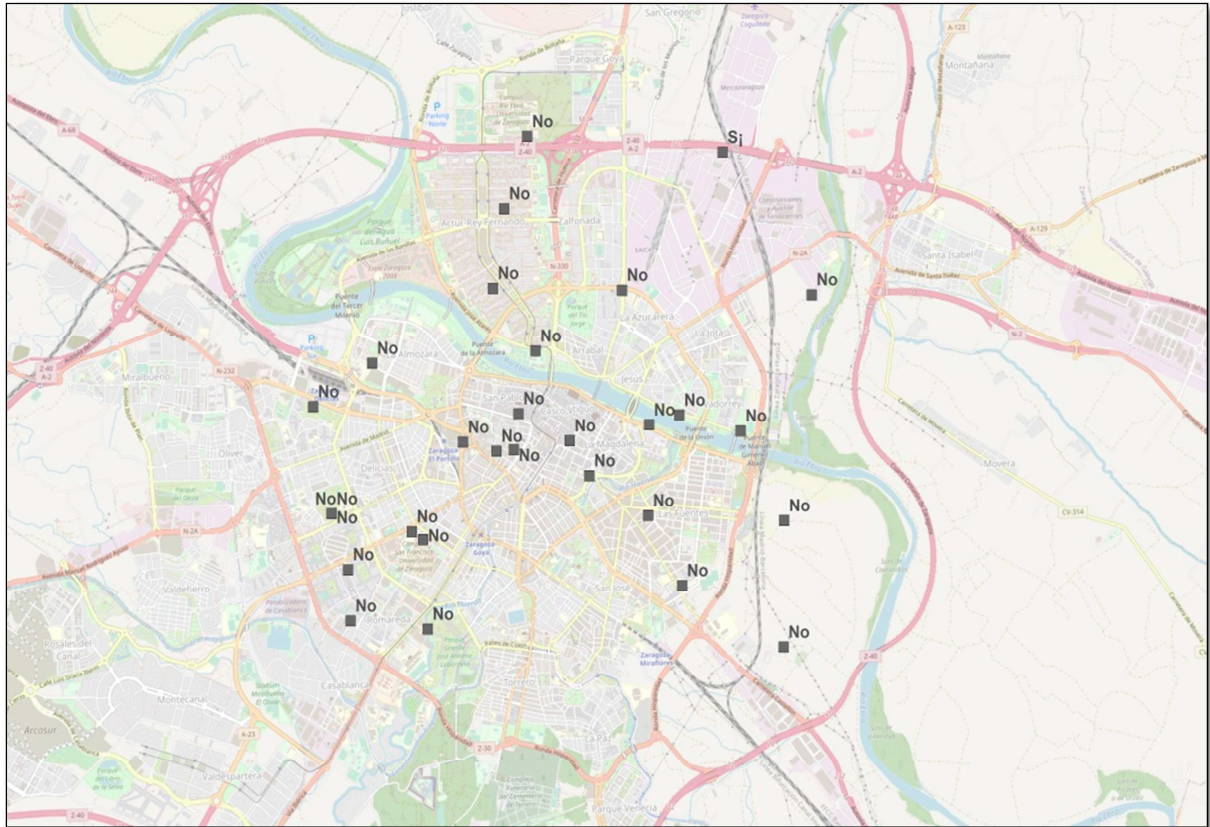


Figura 12: Contenido de Salmonella (recuento en 1l).

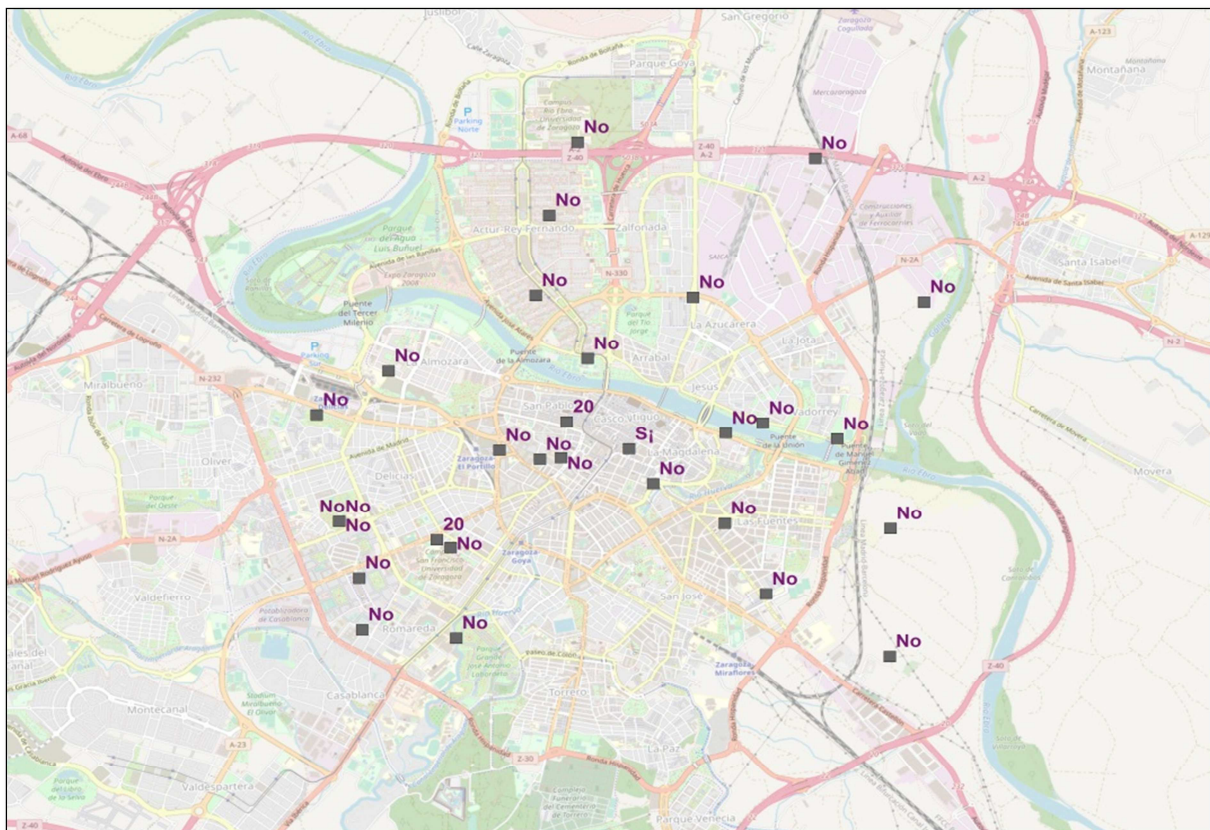


Figura 13: Contenido de Legionella (recuento en 1l).

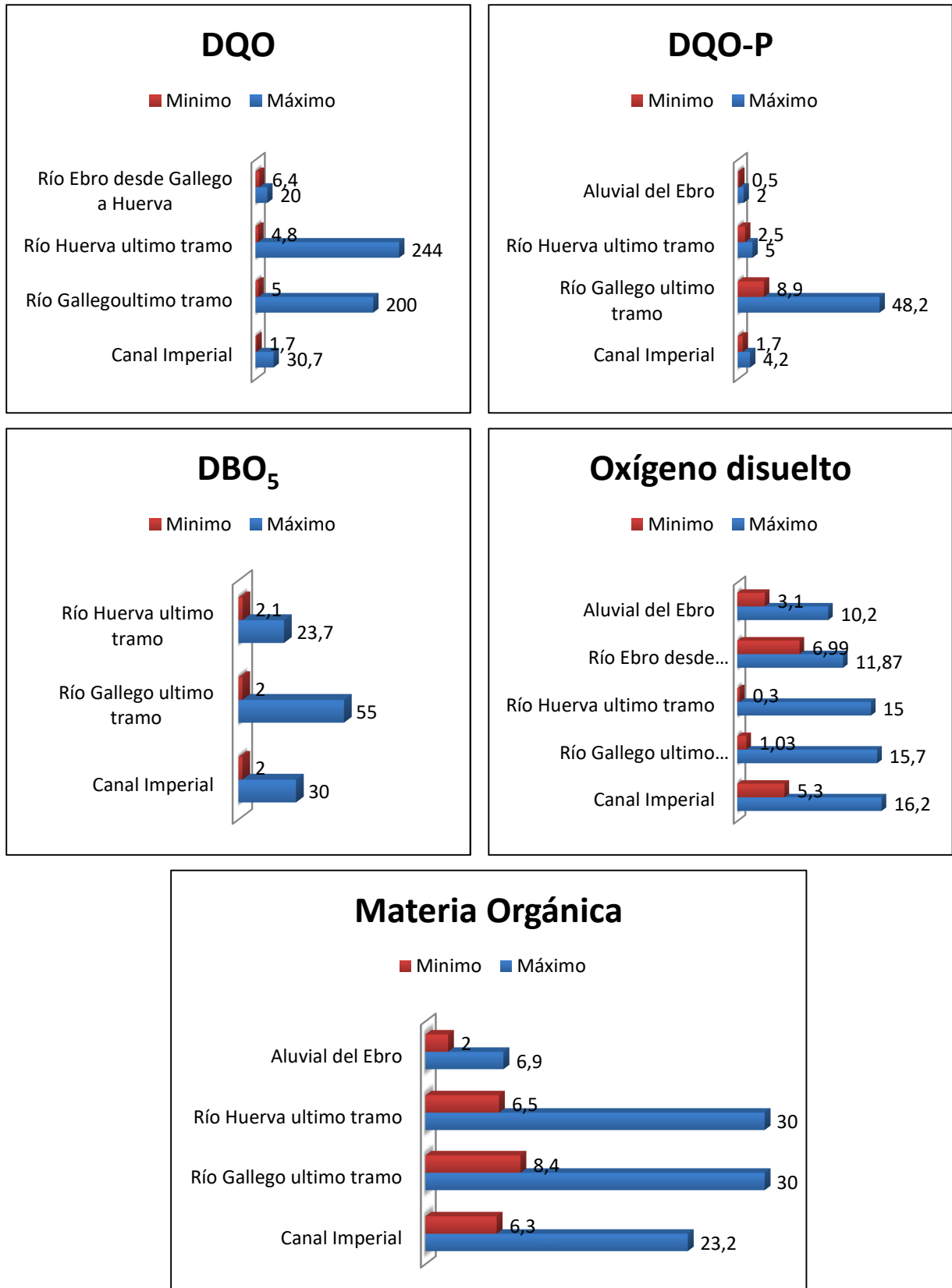


Figura 16: Máximos y mínimos de los parámetros físico-químicos de las diferentes estaciones de aguas superficiales.

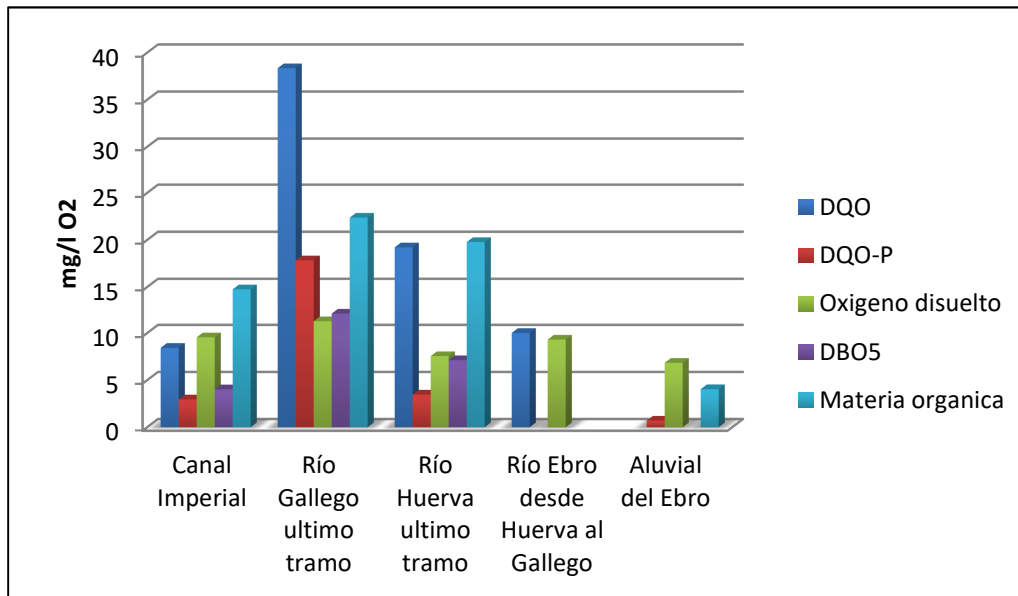


Figura 17: Promedio de los parámetros físico-químicos, de diferentes estaciones de las aguas superficiales.

6. RESULTADOS

El tratamiento y representación de los datos microbiológicos del acuífero, junto con los parámetros físicos y químicos, tanto del acuífero como de los ríos Ebro, Gállego y Huerva, así como del Canal Imperial de Aragón permiten alcanzar los siguientes resultados:

Los recuentos de bacterias aerobias tanto a 22°C (criófilas) como a 36°C (mesófilas) muestran una presencia generalizada de las mismas, si bien en valores que en órdenes de magnitud no difieren de las observadas en las aguas superficiales de los ríos relacionados con el acuífero. Para ambos recuentos los valores más altos se localizan en la zona Delicias-Romareda y en el barrio de Las Fuentes en las proximidades al río Huerva, con valores superiores a 2000 ufc/ml. Los valores más bajos se localizan en el centro urbano de la ciudad, con valores inferiores a 50 ufc/ml.

El recuento de bacterias Coliformes muestran un predominio espacial de valores bajos, inferior a 15 nmp/100ml, si bien existen zonas con valores anormalmente elevados como son los observado en la zona Delicias-Romareda (GS-7 y GS-16) y puntos cercanos a los ríos Ebro, Gállego y Huerva.

Especialmente relevante son los datos sobre presencia de la bacteria *Escherichia coli*, prácticamente ausente en las aguas del acuífero en todo el centro de la ciudad, quedando su presencia limitada de forma muy marcada a la zona Delicias-Romareda, con valores que superan los 500 (nmp/100ml).

Las *Pseudomonas aeruginosa* están presentes en todas las aguas analizadas del acuífero, volviendo a observarse los valores más bajos en el centro de la ciudad (menos de 10 ufc/ml). Los valores más elevados se localizan en las zonas marginales del acuífero, como son Delicias-Romareda (valores de 500 ufc/ml) y las zonas próximas a los ríos Ebro, Huerva y Gállego.

La distribución de la cantidad de *Streptococos* fecales en las aguas del acuífero, vuelve a ser coincidente con lo comentado anteriormente. La zona centro está prácticamente ausente, mientras que alcanza valores relevantes en las zona Delicias-Romareda y en menor medida en puntos de observación cercanos a los ríos citados.

La bacteria *Clostridium perfringens* se encuentra prácticamente ausente en la mayor parte de las aguas del acuífero, quedando su presencia limitada a la zona Delicias-Romareda y localmente a las proximidades del río Huerva, y Actur (río Ebro).

También la bacteria *Staphylococcus aureus* se encuentra prácticamente ausente en la mayor parte de las aguas del acuífero, volviendo a quedar su presencia limitada a la zona Delicias-Romareda.

En relación con la presencia o ausencia de otras bacterias, se analizaron la *Salmonella* que es negativa en todo el acuífero (excepto, un punto localizado en el polígono Cogullada), y *Legionella*, también ausente en la mayor parte del acuífero, pero si detectada en tres puntos: junto al hospital Clínico y en dos puntos del centro de la ciudad. Romareda, siempre en valores muy bajos. Finalmente, se consideran las amebas de vida libre, que están presentes en las aguas subterráneas en todos los puntos muestreados.

Entre los parámetros físico-químicos, es de interés la DQO, que como puede verse es en general baja o muy baja (valores inferiores a 1 mgO₂/l, lo que indica un contenido muy bajo en materia orgánica y en sustancias oxidable para las aguas subterráneas. Los puntos con mayor DQO se corresponden con los de mayor proliferación de bacterias, lo que muestra el interés de este indicador.

Finalmente destacar como influye el aumento de la temperatura del agua del acuífero por las explotaciones geotérmica someras, en la tipología de bacterias en el agua. En la figura 15 se ha relacionado el número de bacterias obtenidas a 36° (bacterias mesófilas) frente a las obtenidas a 22°C (bacterias criófilas), como puede verse ese aumento de temperatura hace que en un acuífero que en condiciones naturales tendría bacterias criófilas casi exclusivamente, se pasa por el aumento de la temperatura a cada vez un porcentaje mayor de bacterias mesófilas.

Todo ello, sin poder afirmar que el aumento de temperatura del agua suponga un aumento del número de bacterias, ya que se observa lo contrario. En las zonas de mayor de incidencia térmica de la geotermia somera (zona Centro de la ciudad), el número de bacterias es especialmente bajo. Recientes trabajos (García-Gil, 2018), consideran esta disminución en el número de bacterias como ocasionada por un “shock” térmico, debido a los intercambiadores de calor de los equipos de climatización utilizados en la geotermia somera.

7. CONCLUSIONES

Los datos microbiológicos (bacterias) y los parámetros físico-químicos disponibles tanto de las aguas subterráneas del acuífero aluvial urbano de Zaragoza como del Canal Imperial y los ríos relacionados con el acuífero, indican unos valores que, en general, y en órdenes de magnitud no difieren ostensiblemente.

El recuento de bacterias en las aguas subterráneas muestra su presencia generalizada siempre en valores que pueden considerarse habituales de los medios hídricos naturales actuales.

El acuífero aluvial urbano de Zaragoza, se localiza bajo un ambiente fuertemente antropizado como corresponde a una ciudad, dando lugar por ello a determinadas zonas con una presencia notablemente mayor de bacterias. Estas zonas se localizan en áreas marginales del acuífero (poco espesor saturado, flujo de agua muy limitado), y también en relación con aguas superficiales infiltradas de los ríos Huerva y Gállego, en el río Ebro, también por posible relación con colectores que vierten ocasionalmente al río.

La importante explotación geotérmica somera de este acuífero supone una singularidad que se manifiesta en las características microbiológicas de las aguas del siguiente modo:

- Favoreciendo, al menos porcentualmente, el desarrollo de las bacterias mesófilas frente a las criófilas.
- Evidenciando una reducción en la cantidad de bacterias en las zonas de mayor impacto térmico (plumas de calor), posiblemente como consecuencia del “shock” térmico producido en los intercambiadores térmicos, como sugiere la bibliografía.

8. AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda e implicación de mi tutor, José Ángel Sánchez Navarro, el cual ha despertado en mí gran interés por la hidrogeología. Por otra parte, debo agradecer la ayuda incondicional del profesor Domingo Carbonel Portero, que sin su ayuda aun estaría elaborando el trabajo de fin de grado.

Finalmente debo agradecer el apoyo constante de toda mi familia, amigos y pareja, ya que han sido un pilar fundamental en este largo camino, que llega a su fin.

9. BIBLIOGRAFÍA

APHA (American Public Health Association) 1995. Standard methods for the Examination of water and waste water. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment federation Green berg, AE Clesceri L S, Eaton AD (eds) 18th edition 1100p

Dirección de Hidrogeología y aguas subterráneas & IGME (2004). Una aproximación metodológica y conceptual al estudio de la interacción de la ciudad con el medio hídrico subterránea desde el punto de vista de la calidad del agua. Hidrogeología urbana: La ciudad de Zaragoza.

García-Gil, A., Gasco-Cavero, S., Garrido, E., Mejías, M., Epting, J., Navarro-Elipe, M., Alejandre, C & Sevilla-Alcaine, E. (2018). Decreased waterborne pathogenic bacteria in an urban aquifer related to intense shallow geothermal exploitation. *Science of the Total Environment*, 633, 765-775.

Garrido, E., Sánchez Navarro, J. A., & Coloma, P. (2010). Aprovechamiento geotérmico somero del acuífero aluvial urbano de Zaragoza: primeros resultados. *Geogaceta*, (49), 115-118.

IGME (1990-1991): Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000 2ª serie. Hojas 383

Dirección general del agua e IGME (sf). Demarcación Hidrográfica del Ebro. Masa de agua subterránea. 091.058 aluvial del Ebro: Zaragoza.

Quirantes, J., (1978). Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros. 200. Institución Fernando el Católico.

Salvany, J.M., García-Veigas, J., Ortí, F., (2007). Glauberite–halite association of the Zaragoza Gypsum Formation (Lower Miocene, Ebro Basin, NE Spain). *Sedimentology* 54, 443–467.

Sánchez Navarro, J.A; Jiménez, N., Galve, P., Asta, M.P. Gómez, L. y Fuentes, J. (2004). Estudio hidrogeológico de la subsidencia en el entorno de Zaragoza. Ayuntamiento de Zaragoza , 43 p.

Soares, P.; Silva, C. & Da Cruz, O. (1996). Pseudomonas aeruginosa como indicador en análisis bacteriológicas de aguas de abastecimiento público. *Associacao Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental*. Río de Janeiro. 64p

PÁGINAS WEB CONSULTADAS:

Carbono orgánico total. (20 de junio de 2020). *En Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Carbono_organico_total&id=127086196&wpFormIdentifier=titleform

Demanda biológica de oxígeno. (30 de agosto de 2019). *En Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno&oldid=118742757

Demanda química de oxígeno. (19 de noviembre de 2019). *En Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Demanda_qu%C3%ADmica_de_ox%C3%ADgeno&id=121424961&wpFormIdentifier=titleform

GRAF (sf). Demanda biológica de oxígeno (DBO5). Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de <https://www.grafiberica.com/depositos-soterrados/como-recuperar-agua-de-lluvia/lexico/demanda-biologica-de-oxigeno-dbo5.html>

Kenbi (sf). ¿Qué es la DQO y la DBO?. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de http://www.kenbi.eu/kenbipedia_3.php

Legionella. (2 de noviembre de 2020). *En Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Legionella>

LENNTECH (en línea). ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua?. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>

Medidordeph (5 de agosto de 2014). Oxígeno disuelto. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de <https://medidordeph.com/blog/2014/08/oxigeno-disuelto/>

Salmonella. (7 de noviembre de 2020). *En Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Salmonella>