

ESTUDIO DEL EFECTO DE INHIBIDORES DE LA ACTIVIDAD SULFATO REDUCTORA EN BACTERIAS ANAEROBIAS COMO SISTEMA DE MINIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE OLORES SÉPTICOS EN AGUAS RESIDUALES, ZONA LEVANTE (MURCIA)

Pedro J. Simón Andreu, Director técnico de la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de Murcia (Esamur)

Carlos Lardín Mifsut, Técnico de Explotación de la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de Murcia (Esamur)

Antonio V. Sánchez Betrán, Director Técnico, Red Control

Andrea Llorens Ros, Jefa planta EDAR Beniel, Red Control

1.- OBJETIVO

La emanación de olores sépticos en sistemas que conducen o tratan aguas residuales, es uno de los efectos desagradables de este tipo de tratamientos, los cuales son imprescindibles para devolver a las aguas empleadas en las actividades humanas o industriales, sus cualidades naturales para su reutilización o vertido a medios acuáticos naturales.

Es por esto que en la mayor parte de estas plantas se instalan sistemas más o menos complejos, enfocados a minimizar la percepción de los olores generados.

Una posible alternativa consiste en actuar sobre las bacterias responsables de la generación de dichos olores, entre las que destacan las bacterias sulfato reductoras (BSR) responsables de la formación de compuestos sulfurados (H_2S , mercaptanos...) causantes de los olores desagradables.

Los géneros de bacterias sulfato reductoras más habituales son los siguientes:

- Oxidantes incompletos del sustrato, que generan acetato como producto final. Crecimiento rápido (3-4 horas): *Desulfovibrio*, *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum*, *Desulfobulbus*, *Thermodesulfobacterium*.
- Oxidantes completos del sustrato a dióxido de carbono y sulfuro. Crecimiento lento (>20 horas): *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfosarcina*, *Desulfonema*, *Desulfobacterium*.
- Otros: *Desulfuromonas* (bacilos G-, anaerobio), *Campylobacter*: bacilos G-, aerobio facultativo).

Con el presente estudio intentaremos evaluar el efecto de diversos inhibidores de las BSR sobre las bacterias reductoras de sulfatos y causantes de la emanación de H_2S y THT (mercaptanos), habituales causantes de olores sépticos. Los inhibidores que se evalúan durante el estudio son los siguientes: Antraquinona, Ditiocarbamato (Thiram), Tiazolín y Molibdato de sodio.

2.- MATERIAL Y MÉTODO

Dada la complejidad de realizar el estudio en las instalaciones de depuración en servicio, el estudio se realiza en el laboratorio, de forma que se puede controlar el efecto de los inhibidores (foto-1)

El material empleado en el estudio ha sido el siguiente:

Para el mantenimiento de las muestras durante la fase de digestión de 2 semanas de cada ensayo se ha empleado un sistema de medición respirométrico OxiTop® Control (plataforma de agitación y botellas con cabezales OxiTop® Control, además. Las diferentes botellas, de 250ml de volumen y dotadas de un controlador OC 100 para medir mediante infrarrojos la presión y verificar así la generación de gases, están dotadas de una toma lateral sellada empleada tanto para la toma de muestras mediante jeringuilla, como para conectar el equipo de medición de gases (fotos-1 y 2)



Para la medida de gases se ha utilizado una sonda multiparamétrica de gases Dräger X-am®5000 con sensor para NH_4 , H_2S , metano y mercaptanos dotada de bomba de succión (foto-3)

Para la medida de sulfatos y sulfuros en disolución se emplea un equipo de filtración (embudo büchner y bomba de vacío), así como kits (LCK 353 de 40ppm-150ppm para sulfatos y LCK 653 de 0,1ppm a 2,0ppm para sulfuros) y espectrofotómetro de HACH LANGE modelo DR1900.

El conjunto se mantuvo en incubadora, permanentemente agitado y a temperatura constante de 22°C (Foto-4)



Foto-3. Tomando lectura de composición de gases



Foto-4: Sistema de botellas en la incubadora

Por último, los reactivos inhibidores empleados en el estudio, los cuales han sido: Antraquinona, Ditiocarbamato, Tiazolín y Molibdato de sodio (Foto-5).

- La **antraquinona** se utiliza para inhibir las bacterias sulfato reductoras y metanogénicas en la digestión del ganado vacuno. Es un compuesto químico que bloquea las bacterias que emplean sulfato en su proceso metabólico, deteniendo así la producción de sulfuro. Se trata de un compuesto orgánico aromático, derivado del antraceno. Sus sinónimos en la industria y el comercio son 9,10-antraceno diona, antraceno-9,10-quinona... Es un polvo cristalino amarillento o de un color que varía del gris claro al gris verdusco. Es insoluble en agua y alcohol, pero se disuelve fácilmente en nitrobenzono y anilina. Químicamente es bastante estable en condiciones normales. Los derivados naturales de la antraquinona son glucósidos con acción laxante y purgante sumamente potente. En la terapéutica farmacológica, la antraquinona pertenece a la categoría de catárticos y se usan en la terapia contra el estreñimiento. Se encuentra en las hojas, vainas, raíces y semillas de diversas plantas como el Senna, el rubiarbo y la frángula.
- Los compuestos **ditiocarbamatos** comprenden una serie de sustancias que tienen una estructura química relacionada con la de los insecticidas y herbicidas carbamatos y su acción plaguicida se ejerce casi exclusivamente contra hongos. El grupo comprende varias subclases, entre ellos los bis-ditiocarbamatos (Thiram). Ordinariamente se formulan como polvos, polvos mojables, gránulos, pastas o suspensiones acuosas, y se presentan comercialmente con estos nombres: Antracol, Arasan, Bavisitín, Dithane M-45, Ferbam, Manzate, Manzin, Novazeb, Polygram Combi, Polyram DF, Vondozeb, Zineb, Ziram.
- **Tiazolín** (o dihidrothiazoles) son un grupo de compuestos isómeros heterocíclicos que contienen azufre y nitrógeno en su anillo. No se encuentran de forma aislada. Los compuestos habituales son 1,3-thiazoles, 1,3-thiazolines, y 1,3-thiazolidines. Se suelen presentar en forma de cristales, de solubilidad parcial en agua.
- El **molibdato** influye sobre la sulfato reducción alterando el crecimiento celular de las bacterias sulfato reductoras, al competir en el sistema de transporte de sulfato interfiriendo con la formación de adenosin fosfosulfato (APS) por parte de la enzima ATP sulfúrilasa, que cataliza el primer paso en la vía de reducción desasimilatoria del sulfato. El molibdato de sodio es una forma alterada químicamente del elemento mineral sodio. El sodio es una sal natural, y el molibdato de sodio se utiliza en la industria alimentaria como fertilizante y como suplemento nutricional para la salud. Se utiliza también en la industria para evitar la corrosión, ya que es un inhibidor anódico no oxidante. Es soluble en agua.



Foto-5: Inhibidores utilizados en el estudio

El estudio se ha dividido en 2 fases:

- **Fase 1:** La muestra elegida por tener mayor actividad sulfato reductora se utiliza para evaluar los reactivos inhibidores a diferente concentración comparándolos frente a un blanco. Durante 2 semanas cada ensayo (inhibidor) se analizan diariamente sulfatos y sulfuros en el líquido y H₂S, mercaptanos. También se realizaron mediciones de NH₃ y CH₄ con la sonda de gases, pero los resultados fueron "0" en todas ellas por lo que no se muestran las mediciones.
- **Fase 2:** En esta fase se compara los cuatro inhibidores a la dosis óptima a la cual se ha detectado mayor actividad sulfato reductora en la fase anterior y también frente a un blanco. Del mismo modo que las otras fases, durante 2 semanas se analizan diariamente sulfatos y sulfuros en el líquido y H₂S, mercaptanos y metano en gas.

3.- RESULTADOS

Previamente fueron caracterizados los influentes de las depuradoras de Santomera, Fortuna, Beniel y Abanilla, así como muestras de fango biológico procedente de la purga de fango en exceso. Se buscó la mayor presencia tanto de sulfatos como de actividad sulfatorreductora. Para esto último se dejaron las muestras 5 días en agitación en incubadora a 22°C y en botellas herméticamente cerradas.

La concentración de sulfatos fue similar en los cuatro casos, detectándose una mayor actividad sulfatorreductora en los fangos frescos purgados de las EDARs de Abanilla y Beniel. Optamos por hacer la siguiente fase con el fango fresco purgado de esta última depuradora.

3.1.- Fase 1:

En el estudio aplicamos diferentes concentraciones de cada inhibidora una muestra de fango purgado de la EDAR de Beniel. En todos los casos, además del inhibidor estudiado se hará un ensayo blanco, para ver su evolución en paralelo.

Los ensayos se configuran según los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Duración del ensayo: 2 semanas
- Configuración: Botellas control AN WTW
- Temperatura: 22°C
- Volumen de muestra: 164 ml

En cada ensayo la muestra se midió diariamente sulfatos y sulfuros en el líquido y H₂S, mercaptanos, amoníaco y metano en gas. De estos dos últimos gases no hubo ningún valor positivo a lo largo de todo el estudio, por lo que no los tendremos en cuenta.

Inhibidor: ANTRAQUINONA

ANTRAQUINONA

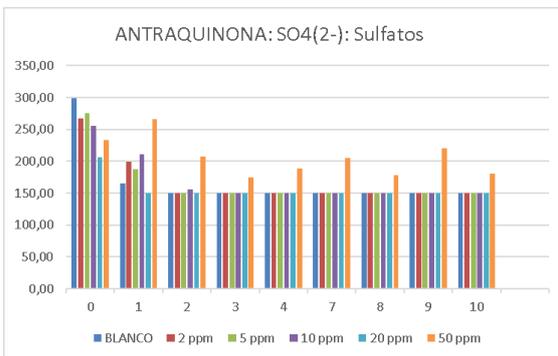
SO4(2-)	0	1	2	3	4	7	8	9	10
BLANCO	299,10	165,10	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
2 ppm	267,70	198,80	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
5 ppm	275,70	187,90	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
10 ppm	255,70	211,20	155,50	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
20 ppm	206,50	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
50 ppm	233,20	266,00	208,00	175,00	189,00	205,00	178,00	220,00	180,00

S (2-)	0	1	2	3	4	7	8	9	10
BLANCO	0,10	0,10	0,95	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2 ppm	0,10	0,10	1,06	0,46	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
5 ppm	0,10	0,14	0,61	1,74	0,10	0,57	0,10	0,10	0,10
10 ppm	0,10	0,10	0,18	2,00	0,10	0,71	0,10	0,10	0,10
20 ppm	0,10	0,10	0,20	1,43	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
50 ppm	0,10	0,18	0,65	2,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

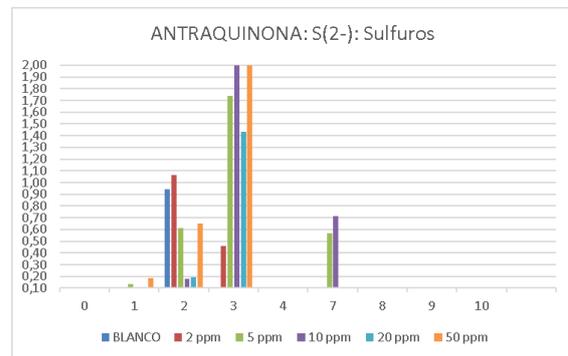
H2S	0	1	2	3	4	7	8	9	10
BLANCO	0,00	2,00	8,60	19,60	3,50	1,50	2,30	0,00	0,00
2 ppm	0,00	0,00	10,80	28,60	12,80	0,00	2,20	0,80	0,00
5 ppm	0,00	0,00	14,50	54,50	31,00	1,10	6,30	0,00	0,00
10 ppm	0,00	0,00	18,80	78,00	44,60	0,00	34,20	2,20	0,00
20 ppm	0,00	0,50	11,20	42,60	14,90	0,00	2,70	1,40	1,40
50 ppm	0,00	0,00	14,30	39,80	26,60	0,00	6,90	2,20	0,60

THT	0	1	2	3	4	7	8	9	10
BLANCO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
5 ppm	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
10 ppm	0,00	0,00	0,50	2,50	3,00	0,00	2,00	0,00	0,00
20 ppm	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	0,00	2,00	0,00	1,00
50 ppm	0,00	0,00	0,00	2,00	2,50	0,00	2,50	0,00	1,50

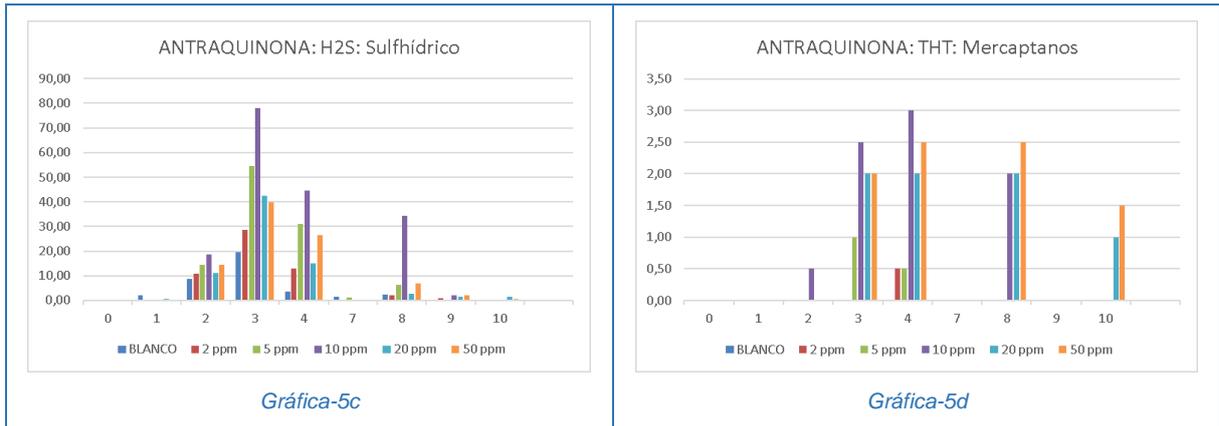
Tabla-5



Gráfica-5a



Gráfica-5b



Los resultados obtenidos empleando el inhibidor (Antraquinona) se muestran en la tabla-5 y gráficas de 5a a 5d. La concentración a la que se produce la mayor inhibición del proceso de reducción de los Sulfatos es con 50ppm. A menores concentraciones se reduce el Sulfato al cabo de 2-3 días.

Inhibidor: TIAZOLIN

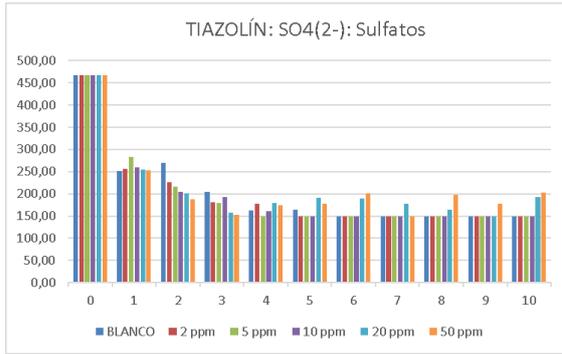
TIAZOLÍN											
SO4(2-)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BLANCO	468,00	251,70	269,50	204,40	162,10	164,40	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
2 ppm	468,00	256,20	225,90	181,40	177,30	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
5 ppm	468,00	283,20	216,30	179,30	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
10 ppm	468,00	259,60	204,10	193,40	160,60	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
20 ppm	468,00	254,90	201,10	157,20	180,00	191,00	189,00	178,00	165,00	150,00	193,00
50 ppm	468,00	252,90	188,00	153,10	175,00	178,00	201,00	150,00	198,00	177,00	203,00

S (2-)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BLANCO	0,10	2,00	0,54	1,97	0,34	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2 ppm	0,10	2,00	1,92	1,95	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
5 ppm	0,10	2,00	2,00	2,00	2,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
10 ppm	0,10	2,00	2,00	2,00	0,37	2,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
20 ppm	0,10	2,00	2,00	1,90	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
50 ppm	0,10	2,00	2,00	2,00	2,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

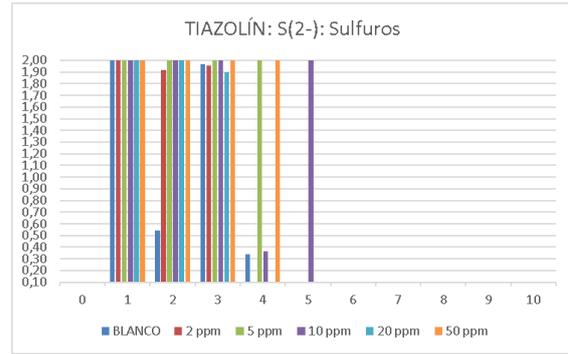
H2S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BLANCO	0,00	35,40	14,20	7,90	3,20	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00
2 ppm	0,00	27,60	28,00	38,40	3,20	0,00	0,00	16,80	0,00	0,00	0,00
5 ppm	0,00	34,20	30,00	39,40	7,70	0,00	0,00	1,10	4,40	1,20	0,00
10 ppm	0,00	37,40	27,80	10,50	0,00	0,00	0,00	1,50	4,40	20,90	3,00
20 ppm	0,00	45,40	13,00	10,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 ppm	0,00	39,80	18,90	9,30	32,60	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

THT	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BLANCO	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 ppm	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 ppm	0,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10 ppm	0,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20 ppm	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 ppm	0,00	10,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

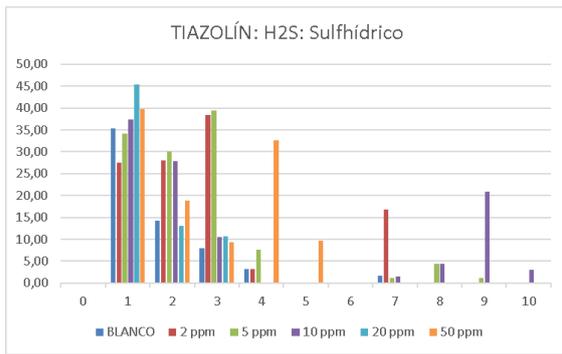
Tabla-6



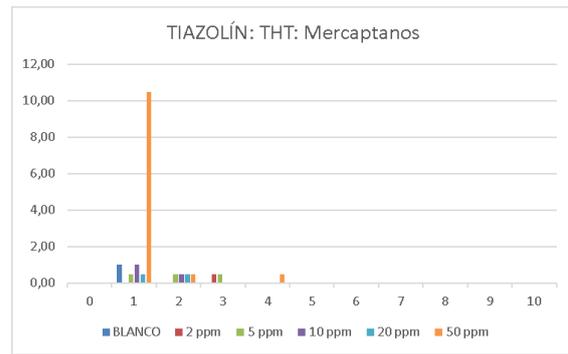
Gráfica-6a



Gráfica-6b



Gráfica-6c



Gráfica-6d

En el caso de Tiazolín (tabla-6 y gráficas de 6a a 6d), se detecta presencia de Sulfatos que aún no se han reducido tanto a dosis de 20ppm como con 50ppm. De esta forma y dado que los valores medidos son similares, tomaremos como referencia la dosis de 20ppm.

Inhibidor: DITIOCARBAMATO (THIRAM)

DITIOCARBAMATO (THIRAM)

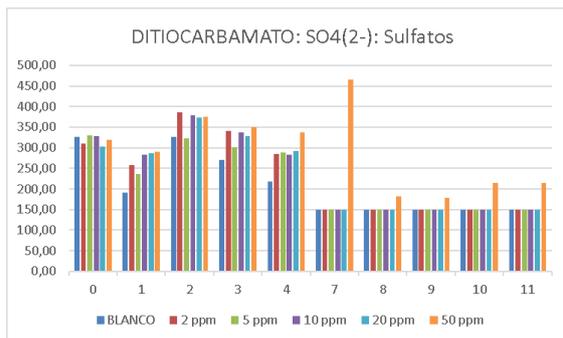
SO4(2-)	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	326,70	190,40	326,50	270,20	218,20	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
2 ppm	310,00	257,50	386,10	341,60	284,20	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
5 ppm	330,60	236,20	322,20	300,40	287,80	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
10 ppm	327,70	283,90	379,50	336,80	283,40	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
20 ppm	303,50	286,40	373,10	328,20	291,60	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
50 ppm	318,50	290,80	374,60	350,00	337,70	465,00	182,20	178,20	215,20	215,20

S (2-)	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,21	0,60	0,10	0,10	0,10
2 ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,80	0,20	0,10	0,10	0,10
5 ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,22	0,10	0,10	0,10
10 ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
20 ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
50 ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

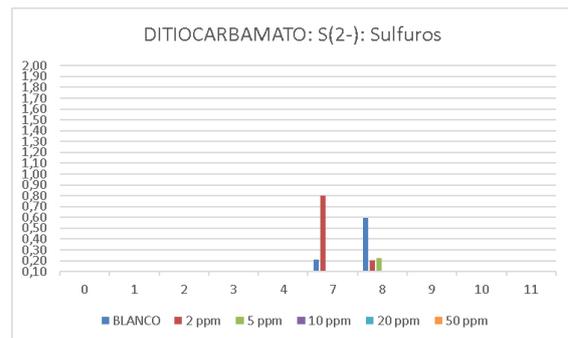
H2S	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	0,00	0,00	0,00	1,40	1,20	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00
2 ppm	0,00	0,00	0,00	1,80	1,30	27,20	2,35	0,00	0,00	0,00
5 ppm	0,00	0,00	0,90	2,50	2,30	8,60	4,90	0,00	0,00	0,00
10 ppm	0,00	0,00	0,80	2,80	4,10	7,60	5,60	0,00	0,00	0,00
20 ppm	0,00	0,00	1,90	1,60	1,50	5,50	5,50	6,30	0,00	2,20
50 ppm	0,00	0,00	0,90	2,20	2,20	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00

THT	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
5 ppm	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
10 ppm	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
20 ppm	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 ppm	0,00	0,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00

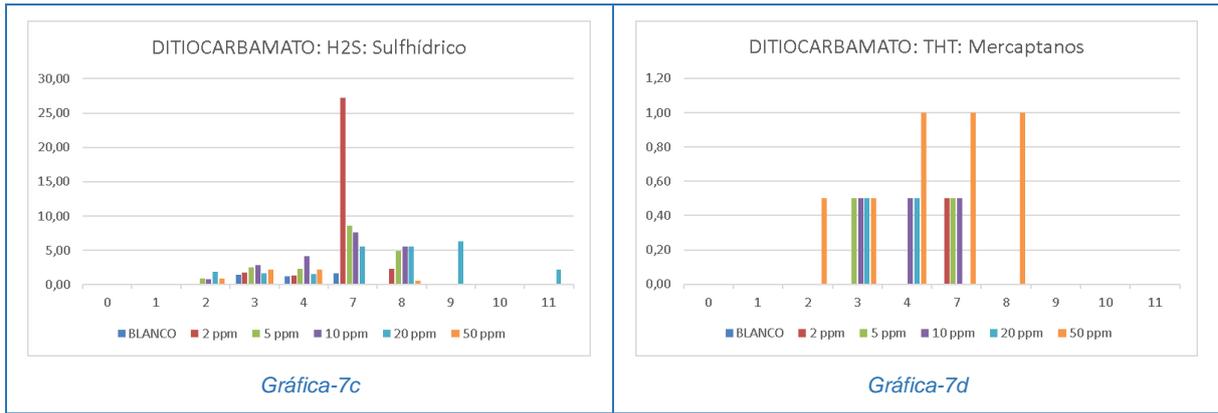
Tabla-7



Gráfica-7a



Gráfica-7b

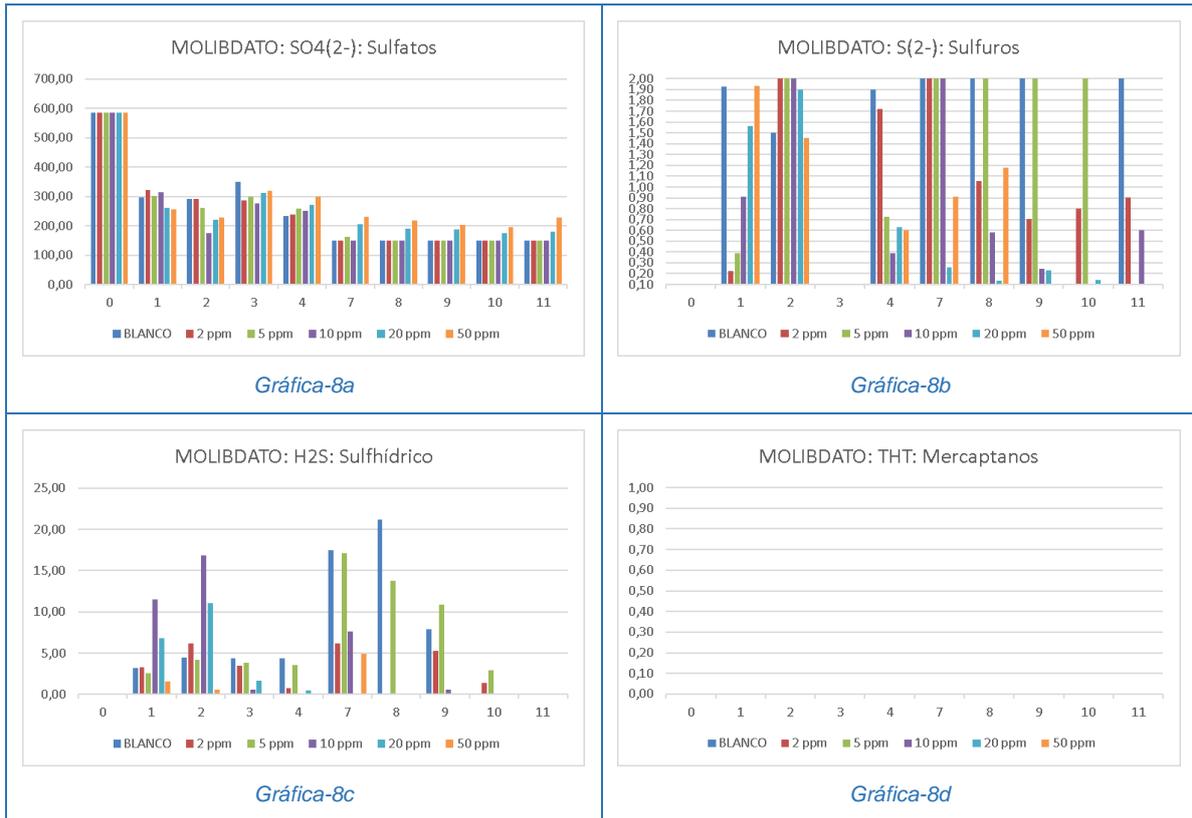


Con el inhibidor Ditiocarbamato (tabla-7 y gráficas de 7a a 7d), se obtienen valores de Sulfatos no reducidos tanto a 20ppm, como a 50ppm de dosis. Pese a que son similares, la mayor concentración la hemos obtenido con 50ppm, por lo que usaremos esta dosis para la siguiente fase del estudio.

Inhibidor: MOLIBDATO de SODIO

MOLIBDATO DE SODIO										
SO ₄ (2-)	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	585,50	297,50	292,60	350,20	234,20	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
2 ppm	585,50	322,50	291,90	288,20	239,90	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
5 ppm	585,50	301,70	261,40	299,10	259,80	162,20	150,00	150,00	150,00	150,00
10 ppm	585,50	314,40	176,10	277,60	251,60	150,00	151,60	150,00	150,00	150,00
20 ppm	585,50	260,60	220,70	311,20	270,80	206,20	190,10	188,60	174,70	179,70
50 ppm	585,50	256,70	228,80	319,70	299,80	230,50	218,40	204,80	196,90	228,00
S (2-)	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	0,10	1,93	1,50	0,10	1,90	2,00	2,00	2,00	0,10	2,00
2 ppm	0,10	0,22	2,00	0,10	1,72	2,00	1,06	0,70	0,80	0,90
5 ppm	0,10	0,39	2,00	0,10	0,72	2,00	2,00	2,00	2,10	0,10
10 ppm	0,10	0,91	2,00	0,10	0,39	2,00	0,58	0,24	0,10	0,60
20 ppm	0,10	1,56	1,90	0,10	0,63	0,26	0,14	0,23	0,14	0,10
50 ppm	0,10	1,93	1,46	0,10	0,60	0,91	1,18	0,10	0,11	0,10
H ₂ S	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	0,00	3,20	4,50	4,40	4,40	17,50	21,20	7,90	0,00	0,00
2 ppm	0,00	3,30	6,20	3,50	0,80	6,20	0,00	5,30	1,40	0,00
5 ppm	0,00	2,60	4,20	3,80	3,60	17,10	13,80	10,90	2,90	0,00
10 ppm	0,00	11,50	16,80	0,60	0,00	7,60	0,00	0,60	0,00	0,00
20 ppm	0,00	6,80	11,10	1,70	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 ppm	0,00	1,60	0,60	0,00	0,00	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00
THT	0	1	2	3	4	7	8	9	10	11
BLANCO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla-8



Por último, en la tabla-8 y gráficas de 8ª a 8f se presentan los resultados obtenidos con el Molibdato de sodio. Se ha detectado menor inhibición en la reducción de sulfatos a partir de 20ppm, en concentración muy similar a la aplicación de 50ppm de inhibidor. Así, tomaremos como dosis de referencia la primera (20ppm de Molibdato).

En resumen, finalizada la fase-1 determinamos las siguientes concentraciones de cada reactivo a la cual se produce la mayor inhibición de la actividad sulfato reductora de las bacterias.

- 50ppm de Antraquinona
- 20ppm de Tiazolín
- 50ppm Thiram (Ditiocarbamato)
- 20ppm Molibdato

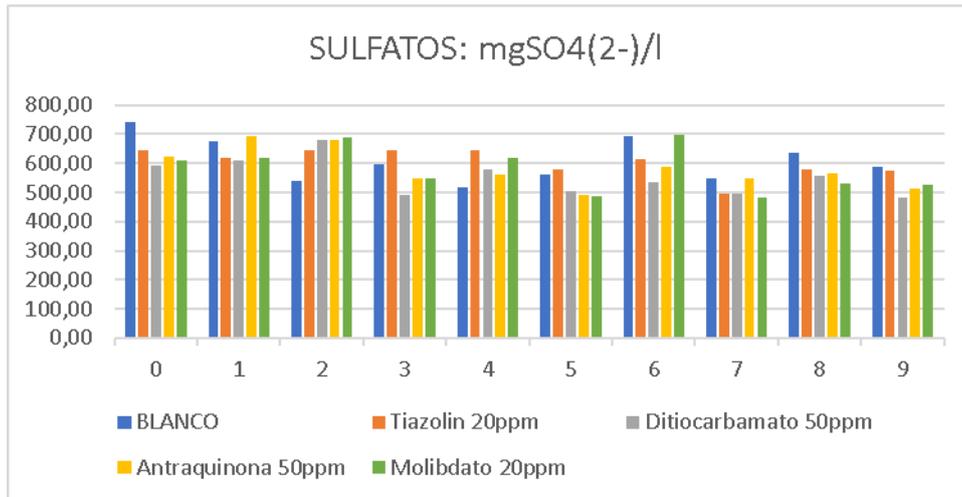
3.2.- Fase 2:

En esta fase compararemos la dosis con mejores resultados obtenida en la fase anterior para cada inhibidor, de forma que podamos determinar cuál de ellos es el que da mejores resultados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada caso:

SULFATOS (mgSO4(2-)/l)										
INHIBIDOR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BLANCO	741,90	676,50	539,10	594,70	515,40	559,70	692,90	549,40	636,30	585,90
Tiazolin 20ppm	646,80	616,40	643,40	646,80	646,80	578,50	614,40	493,50	577,70	574,10
Ditiocarbamato 50ppm	592,80	608,60	679,00	491,20	577,80	505,90	536,40	494,20	556,60	482,50
Antraquinona 50ppm	624,90	693,30	679,00	546,30	560,60	491,50	587,40	546,60	566,30	512,50
Molibdato 20ppm	607,60	619,00	687,60	548,20	618,30	486,90	699,60	482,10	532,10	525,80

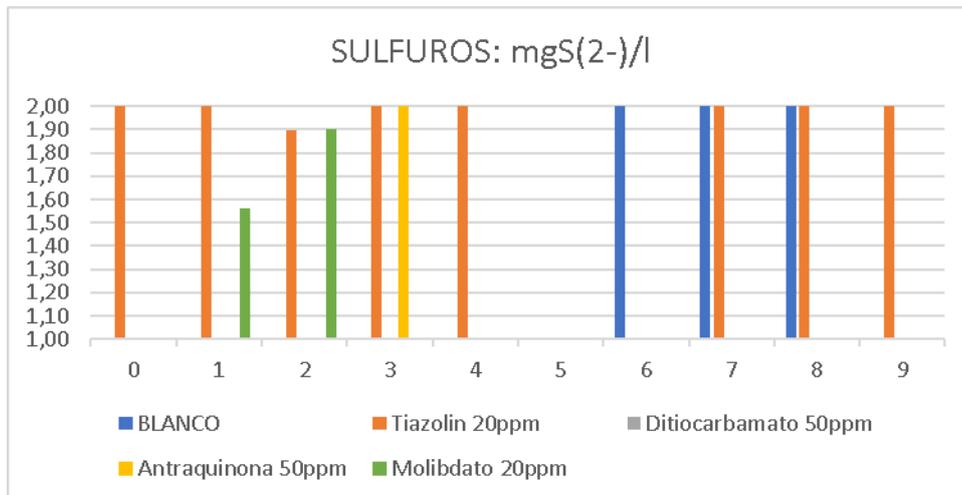
Tabla-9



Gráfica-9

SULFUROS (mgS(2-)/l)										
INHIBIDOR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BLANCO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,49	2,00	2,00	2,00	0,10
Tiazolin 20ppm	2,00	2,00	1,90	2,00	2,00	0,10	0,10	2,00	2,00	2,00
Ditiocarbamato 50ppm	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Antraquinona 50ppm	0,10	0,18	0,65	2,00	0,10	0,20	0,20	0,60	0,50	0,50
Molibdato 20ppm	0,10	1,56	1,90	0,17	0,63	0,26	0,20	0,23	0,19	0,17

Tabla-10



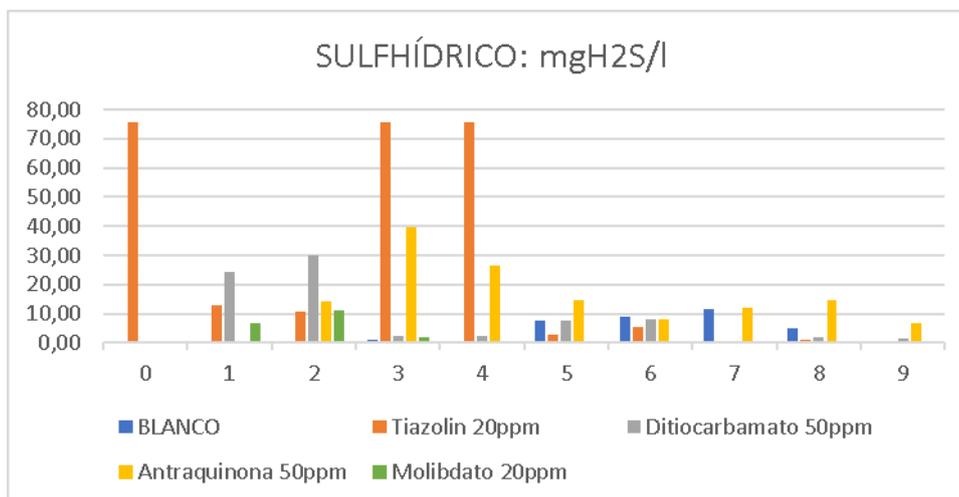
Gráfica-10

En lo referente a la reducción de Sulfatos (tabla-9 y gráfica-9) no se aprecia una tendencia clara, detectándose una ligera reducción en su concentración en los cuatro inhibidores probados. No obstante, los resultados respecto a los sulfuros (tabla-10 y gráfica-10) sí que muestran aun resultado más positivo.

Tal y como se observa, tanto con el Tiazolín como con la Antraquinona se obtiene valores de sulfuros elevados a lo largo de todo el estudio. Frente a estos valores, los obtenidos con el Molibdato son más positivos, siendo elevados al inicio pero reduciéndose bruscamente a partir del 4º-5º día. En el caso del Ditiocarbamato, no se ha apreciado presencia de sulfuros significativa en todo el periodo analizado.

SULFHÍDRICO (mgH ₂ S/l)										
INHIBIDOR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BLANCO	0,00	0,00	0,60	0,90	0,00	7,50	9,15	11,60	4,80	0,00
Tiazolin 20ppm	75,50	13,00	10,70	75,50	75,50	2,80	5,40	0,70	1,10	0,00
Ditiocarbamato 50ppm	0,00	24,40	30,20	2,20	2,20	7,70	8,20	0,00	2,00	1,30
Antraquinona 50ppm	0,00	0,00	14,30	39,80	26,60	14,50	8,10	12,20	14,80	6,93
Molibdato 20ppm	0,00	6,80	11,10	1,70	0,50	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00

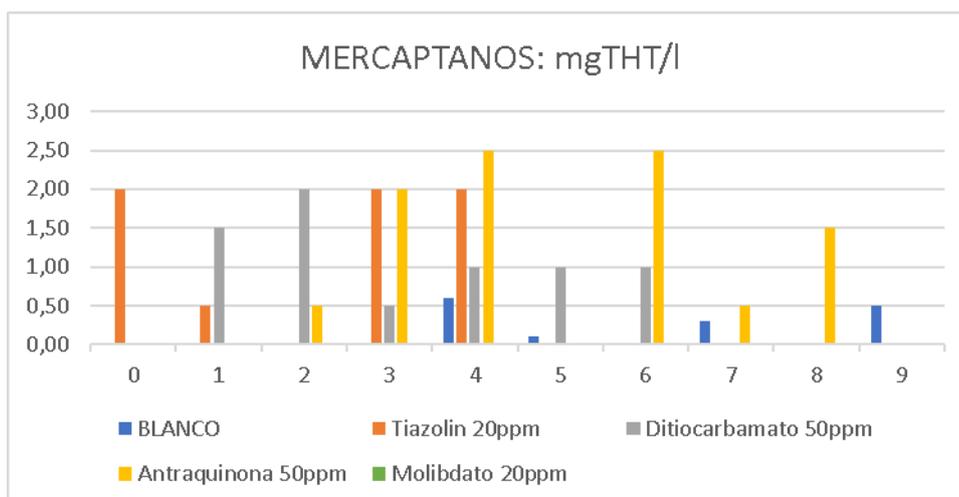
Tabla-11



Gráfica-11

MERCAPTANOS (mgTHT/l)										
INHIBIDOR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BLANCO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,10	0,00	0,30	0,00	0,50
Tiazolin 20ppm	2,00	0,50	0,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ditiocarbamato 50ppm	0,00	1,50	2,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Antraquinona 50ppm	0,00	0,00	0,50	2,00	2,50	0,00	2,50	0,50	1,50	0,00
Molibdato 20ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla-12



Gráfica-12

Respecto a la presencia de derivados del azufre: Sulfhídrico (tabla-11 y gráfica-11) y Mercaptanos (tabla-12 y gráfica-12), moléculas directamente relacionadas con la generación de olores desagradables, con el único inhibidor con el que no aparecen a partir de la 4ª semana en ninguna de las mediciones realizadas fue con Molibdato. Con el resto de inhibidores ha habido presencia de estas moléculas prácticamente hasta la última semana de estudio, si bien los valores eran muy irregulares.

4.- CONCLUSIONES

En todos los casos, los resultados han mostrado una gran irregularidad. Es posible que para realizar el estudio con mayor nivel de fiabilidad haya que partir de volúmenes de muestra netamente superiores. El motivo principal parece estar en que, al haberse utilizado unos volúmenes más limitados, la generación de gases ha sido proporcionalmente muy reducida, siendo difícil cuantificar de forma fiable las concentraciones de los diferentes gases.

Así mismo se ha podido observar que el proceso de reducción de los sulfatos dista mucho de ser lineal a lo largo del tiempo, no detectándose de forma evidente el consiguiente aumento en los sulfuros tras la reducción de los primeros. Una vez más es posible que esta irregularidad se deba más a lo reducido del volumen de muestra.

Pese a estas consideraciones, con los datos obtenidos es posible realizar las siguientes apreciaciones:

- Tanto la Antraquinona a 50 ppm, cómo el Tiazolín a 20 ppm no parecen tener efecto como inhibidores de las bacterias sulfato reductoras. Con ambos hay presencia de H_2S y THT a lo largo de todo el estudio.
- Con el Ditiocarbamato (Thiram) a 50 ppm de concentración parece inhibirse la producción de sulfuros desde el primer instante. Sin embargo, Hay presencia tanto de H_2S como de THT a lo largo de todo el estudio, por lo que no parece que sea un buen inhibidor de cara a la reducción de olores sépticos.
- El molibdato es el agente inhibidor que ha dado mejores resultados. Empleado a 20ppm de concentración tiene un evidente efecto inhibidor sobre la generación de sulfuros, aunque en menor medida que el Thiram. Por otro lado se aprecia como aunque en las primeras semanas hay aparición de H_2S , este compuesto se reduce drásticamente hasta desaparecer a partir de la 5ª semana. Así mismo no ha habido presencia de mercaptanos en ningún momento.

Tras el análisis de resultados no se ha encontrado ningún efecto en las bacterias sobre el proceso de formación de amoníaco, ni metano, pese a que estos compuestos fueron monitorizados en todas las muestras.