
**UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL. AREA
DE TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE**



TESIS DOCTORAL:

**“APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LECHOS
INUNDADOS EN LA DESCONTAMINACIÓN DE LAS
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
CONSERVERA“**

JUAN CARLOS TORRES ROJO

Para la obtención del

GRADO DE DOCTOR

Directores :
**ERNESTO HONTORIA GARCÍA
FRANCISCO OSORIO ROBLES
AMALIO GARRIDO ESCUDERO**

GRANADA, 2007

UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES
Y PUERTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL. AREA
DE TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE

Memoria presentada por D. Juan Carlos Torres Rojo
para aspirar al grado de Doctor

Fdo: Juan Carlos Torres Rojo

Directores:

Fdo: D. Ernesto Hontoria García
Catedrático de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos
Universidad de Granada

Fdo: D. Francisco Osorio Robles
Prof. Titular de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos
Universidad de Granada

Director Honorífico

Fdo: D. Amalio Garrido Escudero
Director Cátedra de Ingeniería y Toxicología Ambiental
Universidad Católica de San Antonio. Murcia.

GRANADA, 2007

*A mis padres, a mi mujer y a mis hijos por el
apoyo que me han dado en todo momento*

RESUMEN

La necesidad de depurar las aguas residuales tanto las industriales como urbanas viene motivada por un incremento de la contaminación artificial causada por el estilo de vida de esta sociedad, junto a una proliferación de industrias en las proximidades de los núcleos urbanos.

La presión social cada día más creciente acerca de la contaminación del agua ha motivado la reacción de las Entidades Locales, que han legislado ordenanzas y decretos que convierten en exigencia la depuración en origen de las aguas residuales industriales.

Entre las alternativas del tipo de tratamiento, hoy en día ante la escasez y carestía de los terrenos disponibles obliga a la elección de tratamientos compactos que ocupen poca superficie como los lechos inundados.

El objetivo principal de este trabajo fue comprobar la aplicabilidad y optimizar los parámetros de diseño de un sistema de lechos inundados para conseguir un efluente adecuado que permita verter al alcantarillado el efluente de una industria agroalimentaria de preparación de zumos cítricos. Se utilizó arcilla expandida como material soporte, probando el flujo contracorriente y el co-corriente, así como diferentes niveles de aireación. La conclusión fue que el flujo co-corriente dio mejores resultados. En todos los casos los lavados se realizaron con frecuencia diaria. Como resultado final para una aireación de $10,47 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{m}^2$, la C_v (carga volumétrica) debe ser inferior a $64 \text{ Kg. DQO}/\text{m}^3/\text{día}$ para alcanzar un efluente con una concentración

máxima de DQO de 1100 mg O₂/L, encontrando que la carga hidráulica debe ser inferior a 0,99 m/h.

ABSTRACT

The necessity to treat industrial and domestic wastewaters it comes motivated by an increase of the pollution caused by the life style of this society, next to a increase of industrial operations near to the cities.

Every day the social pressure is increasing about the issues related to pollution of the water sources resulting in the reaction of the Local Governments , to regulate standars that require the treatment in origin of industrial waste waters.

Nowadays between the alternatives of the treatment types and taking into account the shortage and scarcity of lands available drives the selection to a compact treatments that requires small areas like the biological aerated filters process.

The main objective of this research study was to test the applicability and optimize the design parameters of a biological aerated filters process in order to obtain an optimal effluent from the citrus juice preparation industry, which would allow its drainage into the municipal sewer system acording standards. Expanded clay was used as a support material. After testing with both countercurrent and cocurrent flows and with different aeration levels, as well it was found that cocurrent flow was more efficient. In all test backwash was carried out on a daily basis. The results of our study showed that for an aeration of $10.47 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{m}^2$, the volumetric load should be less than $64 \text{ Kg. COD}/\text{m}^3/\text{d}$ in order to obtain an effluent with a maximum concentration of $1100 \text{ mg COD}/\text{L}$, and the hydraulic load should be less than $0.99 \text{ m}/\text{h}$.

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Generalidades	3
1.2.- Industria Conservera	15
1.3.- Procesos de lechos inundados	21
2.- OBJETIVOS DE LA TESIS	29
2.1.- Objetivo principal	31
2.2.- Objetivos secundarios	31
3.- SITUACIÓN ACTUAL DE LA TÉCNICA	33
3.1.- Metodología empleada en la Investigación Bibliográfica	35
3.2.- Consideraciones sobre el concepto de biopelícula	37
3.2.1.- Concepto	37
3.2.2.- Características físico-químicas y microbiológicas	39
3.2.3.- Formación de la biopelícula	41
3.3.- Descripción de los filtros biológicos inundados	43
3.4.- Evolución de los filtros biológicos inundados	47
3.5.- Los filtros biológicos inundados en el panorama de los procesos biológicos avanzados	49
3.6.- Experiencias recopiladas en distintas referencias bibliográficas	56
3.6.1.- Cargas de trabajo.....	57
3.6.2.- Rendimientos y niveles de depuración de salida.....	63
3.6.3.- Necesidades de aireación	69
3.6.4.- Necesidades del lavado	72
3.6.5.- Material de relleno.....	74
3.6.6.- Efecto de la temperatura.....	77
3.6.7.- Producción de fangos	79

3.7.- Presentación de algunas patentes y plantas pilotos experimentales	80
3.7.1.- BIOFOR (Ondeo-Degrémont)	81
3.7.2.- BIOCARBONE, BIOSTYR y BIOPUR (Veolia Waters)	83
3.8- Experiencias con filtros sumergidos en el tratamiento de efluentes industriales	89
4.- VARIABLES PREVIAS Y PARÁMETROS	97
4.1.- Variables Previas	99
4.1.1.- Caudal de agua.....	99
4.1.2.- Caudal de aire de proceso.....	99
4.1.3.- Contaminantes específicos.....	100
4.1.4.- Material de relleno	102
4.1.5.- Variables referidas al lavado.....	103
4.1.6.- Temperatura	103
4.2.- Parámetros	103
4.2.1.- Sólidos en Suspensión	103
4.2.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	104
4.2.3.- Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	105
4.2.4.- pH.....	105
4.2.5.- Conductividad	106
4.2.6.- Nitrógeno.....	106
4.2.7.- Fósforo	108
5.- MATERIALES Y MÉTODOS	111
5.1.- Características del efluente industrial	113
5.2.- Metodología analítica. Métodos de Ensayo	115
5.3.- Características de los materiales de relleno	116
5.4.- Medida del caudal de aire: Calibración de los aparatos de medición	118
5.4.1.- Características de los rotámetros utilizados	118
5.4.2.- Calibración de los rotámetros medidores del caudal de aire.....	119
5.4.3.- Unidades de medida del caudal de aire	126
5.5.- Automatización de la planta piloto	127
5.5.1.- Descripción del software.....	127

5.5.1.1.- Características generales del sistema	127
5.5.2.- Descripción de los automatismos	130
5.5.2.1.- Modos de funcionamiento	130
5.5.2.2.- Avería	131
6.- INVESTIGACIÓN DE CHOQUE.....	133
6.1.- Diseño y Puesta a punto de la planta piloto	135
6.1.1.- Introducción.....	135
6.1.2.- Diseño y descripción del funcionamiento	138
6.1.2.1.- Circuito de alimentación de agua bruta	143
6.1.2.2.- Circuito de aire de proceso	149
6.1.2.3.-Lavado del Reactor Biológico	150
6.2.- Plan de Trabajo	155
6.2.1.- Metodología para la toma de datos	155
6.2.1.1.- Toma de muestras	155
6.2.1.2.- Analítica de las muestras	155
6.2.2.- Fases de trabajo en la Investigación de choque	157
6.3.- Resultados Analíticos y Estudio sistemático de la relación entre Variables y Parámetros. Discusión	159
6.3.1.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 1: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 10,47 y 13,96 Nm ³ /m ² /h de aire (0,21 Kg O ₂ /h y 0,28 Kg O ₂ /h respectivamente) y flujo contracorriente	159
6.3.2.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 1	167
6.3.3.- Discusión y resultados de la Fase nº 1.....	177
6.3.4.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 2: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 20,94 y 24,44 Nm ³ /m ² /h de aire (0,42 Kg O ₂ /h y 0,49 Kg O ₂ /h respectivamente) y flujo contracorriente	178
6.3.5.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 2	187
6.3.6.- Discusión y resultados de la Fase nº 2.....	197
6.3.7.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 3: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 10,47 y 13,96 Nm ³ /m ² /h de aire (0,21 Kg O ₂ /h y 0,28 Kg O ₂ /h respectivamente) y flujo contracorriente	199

6.3.8.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 3	207
6.3.9.- Discusión y resultados de la Fase nº 3.....	217
6.3.10.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 4: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 20,94 y 24,44 Nm ³ /m ² /h de aire (0,42 Kg O ₂ /h y 0,49 Kg O ₂ /h respectivamente) y flujo contracorriente.....	218
6.3.11.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 4	227
6.3.12.- Discusión y resultados de la Fase nº 4.....	237
6.3.13.- Comparativa de resultados entre fases. Presentación gráfica	238
6.4.- Conclusiones previas.....	243
6.4.1.- Conclusiones principales	243
6.4.2.- Otras conclusiones	244
7.- MODIFICACIÓN DE LAS BASES DE PARTIDA	247
7.1.- Objetivos finales	249
7.2.- Variables y parámetros adoptados.....	250
7.2.1.- Variables	250
7.2.2.- Parámetros.....	250
7.3.- Modificaciones de la planta piloto	251
8.- DISEÑO DE LA NUEVA PLANTA PILOTO	255
8.1.- Introducción	257
8.2.- Diseño y descripción del funcionamiento	258
8.2.1.- Circuito de agua bruta.....	258
8.2.2.- Circuito de aire de proceso.....	259
8.2.3.- Circuito de lavado del Reactor Biológico	259
8.2.4.- Circuito de dosificación de nutrientes	261
8.2.5.- Circuito de Neutralización. Corrección de pH.....	261
8.2.6.- Toma de muestras	262

9.- PUESTA A PUNTO DE LA PLANTA PILOTO MODIFICADA	265
9.1.- Montaje y Puesta en marcha de la planta piloto modificada	267
9.2.- Plan de Trabajo	269
9.2.1.- Introducción.....	269
9.2.2.- Metodología para la toma de datos	269
9.2.3.- Fases de trabajo de la investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto.....	270
9.2.3.1.- Introducción.....	270
9.2.3.2.-Fases 1 y 2. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3- 7 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 1) y co-corriente (Fase 2)	273
9.2.3.3.- Fases 3 y 4. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3- 7 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 3) y co-corriente (Fase 4)	273
9.2.3.4.- Fases 5 y 6. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3- 7 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 5) y co-corriente (Fase 6)	274
9.2.3.5.- Fases 7 y 8. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2- 5 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 7) y co-corriente (Fase 8)	274
9.2.3.6.- Fases 9 y 10. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2- 5 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 9) y co-corriente (Fase 10)	274
9.2.3.7.- Fases 11 y 12. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2- 5 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 11) y co-corriente (Fase 12)	275
9.3.- Análisis de los resultados analíticos	276

9.3.1- Introducción.....	276
9.3.2- Análisis de los resultados analíticos	276
9.3.2.1.- Fases 1 y 2. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 1) y co-corriente (Fase 2)	277
9.3.2.2.- Fases 3 y 4. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 3) y co-corriente (Fase 4)	278
9.3.2.3.- Fases 5 y 6. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 5) y co-corriente (Fase 6)	278
9.3.2.4.- Fases 7 y 8. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 7) y co-corriente (Fase 8)	280
9.3.2.5.- Fases 9 y 10. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 9) y co-corriente (Fase 10)	281
9.3.2.6.- Fases 11 y 12. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 11) y co-corriente (Fase 12)	282
9.3.3.- Comparativa de resultados entre fases. Presentación gráfica.....	283
9.4.- Conclusiones básicas de la investigación seguida durante la puesta a punto de la planta piloto modificada.....	288
10.- INVESTIGACIÓN DE FONDO	291
10.1.- Establecimiento de las bases de partida.....	293
10.1.1- Introducción	293
10.1.2.- Establecimiento de las bases para diseñar un Plan de Trabajo.....	293
10.1.2.1.- Material de relleno.....	294

10.1.2.2.- Flujo contracorriente y co-corriente.....	294
10.2.- Plan de Trabajo	296
10.2.1- Metodología para la toma de datos	296
10.2.1.1.- Toma de las muestras.....	296
10.2.1.2.- Analítica de las muestras	296
10.2.2.- Fases de trabajo en la Investigación de Choque	297
10.3.- Resultados Analíticos y Estudio sistemático de la relación entre Variables y Parámetros. Discusión	299
10.3.1.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 1: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O ₂ /h-10,47 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes.....	299
10.3.2.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 1	308
10.3.3.- Discusión y resultados de la Fase nº 1.....	319
10.3.4.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 2: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O ₂ /h-24,44 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes.....	322
10.3.5.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 2	331
10.3.6.- Discusión y resultados de la Fase nº 2.....	342
10.3.7.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 3: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O ₂ /h-10,47 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes.....	344
10.3.8.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 3	353
10.3.9.- Discusión y resultados de la Fase nº 3.....	364
10.3.10.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 4: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,488	

Kg O ₂ /h-24,44 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes	368
10.3.11.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 4	377
10.3.12.- Discusión y resultados de la Fase nº 4.....	388
10.3.13.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 5: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O ₂ /h-10,47 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes	389
10.3.14.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 5	398
10.3.15.- Discusión y resultados de la Fase nº 5.....	409
10.3.16.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 6: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O ₂ /h-24,44 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes	411
10.3.17.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 6	420
10.3.18.- Discusión y resultados de la Fase nº 6.....	431
10.3.19.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 7: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O ₂ /h -10,47 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes	433
10.3.20.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 7	442
10.3.21.- Discusión y resultados de la Fase nº 7.....	453
10.3.22.- Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 8: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O ₂ /h -24,44 Nm ³ /m ² /h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes	457
10.3.23.- Caracterización estadística de los resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 8	466
10.3.24.- Discusión y resultados de la Fase nº 8.....	477
10.3.25.- Comparativa de resultados entre fases. Presentación gráfica	481
11.- ESTUDIO DEL LAVADO	489

12.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE	489
13.- CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS REINVESTIGACIÓN	
13.1 – Conclusiones y Recomendaciones	493
13.2 – Líneas futuras de Investigación	494
ANEJOS	497
ANEJO I.- Barrido bibliográfico	497

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 3.1.- Esquema de las funciones vitales de una biopelícula fija a una superficie (Zhang and Bishop,1994)	38
Fig. 3.2.- Esquema de una biopelícula y ésta vista mediante microscopía electrónica de barrido de superficie (Lewandowsky et al.;1995)	39
Fig. 3.3.- Etapas en la formación de una biopelícula	41
Fig. 3.4.- Porcentaje de eliminación de DQO en filtro biológico aireado en función de la carga hidráulica (J.P. Canler y J.M. Perret ;1994)	60
Fig. 3.5.- Cambios en la concentración de DQO del efluente en filtro biológico aireado en función de la carga en DQO volumétrica aplicada (J.P. Canler y J. M. Perret; 1994).....	61
Fig. 3.6.- Frecuencia acumulada de efluentes residuales con Biocarbón como tratamiento secundario (F. Rogalla y J. Sibony, 1992)	66
Fig. 3.7.- Frecuencia acumulada de efluentes residuales con Biocarbón como tratamiento terciario (F. Rogalla y J. Sibony, 1992)	67
Fig. 3.8.- Eliminación de DQO en función de la velocidad de aireación (G. Ryher et al.,1992)	71
Fig. 3.9.- Efectos de la temperatura en la nitrificación usando un filtro BIOSTYR (Datos aportados por la empresa patentadora; 1992)	79
Fig. 3.10.- Diagrama de flujo en un proceso BIOFOR	82
Fig. 3.11- Diagrama de flujo en un proceso BIOCARBÓN	85
Fig. 3.12- Dimensiones de un biofiltro BIOCARBÓN.....	86
Fig. 3.13- Diagrama de flujo en un proceso BIOSTYR	87
Fig. 3.14- Sección Isométrica de un lecho BIOSTYR	88
Fig. 5.1.- Balsa de Homogeneización de la empresa “Agrumexport”	114
Fig. 5.2.- Vista general de la planta de fangos activos de la empresa “Agrumexport”	115
Fig. 5.3.- Detalle de pantalla principal del Scada de control	128
Fig. 5.4.- Detalle del Scada: Control de “marcha-paro”	129
Fig. 5.5.- Detalle del Scada: Control de electroválvulas	129
Fig. 5.6.- Detalle del Scada: Protocolos de Automatización	130

Fig. 6.1.- Detalle de material de relleno: arcilla FILTRALITE	137
Fig. 6.2.- Detalle de diferentes tipos arcilla expandida FILTRALITE	137
Fig. 6.3.- Esquema de prototipo de lecho filtrante	140
Fig. 6.4.- Diagrama de flujo en la planta piloto	141
Fig. 6.5.- Vista general lecho inundado	142
Fig. 6.6.- Vista interior lecho inundado. Ventana metacrilato	142
Fig. 6.7.- Vista general de la planta piloto	143
Fig.- 6.8.- Detalle de depósito de almacenamiento de agua bruta	145
Fig. 6.9.- Detalle de bomba de alimentación de agua bruta	145
Fig. 6.10.- Detalle de depósitos de alimentación de agua al lecho	146
Fig. 6.11.- Detalle de bombas dosificadoras de agua al lecho	146
Fig. 6.12.- Vista interior planta piloto	147
Fig. 6.13.- Vista frontal de la planta piloto	147
Fig. 6.14.- Detalle de rotámetro y manómetro de aire de proceso	148
Fig. 6.15.- Detalle de soplante de aire de proceso	150
Fig. 6.16.- Detalle soplante de aire de proceso	150
Fig. 6.17.- Detalle soplante y bomba de lavado	152
Fig. 6.18.- Detalle soplante de aire de lavado	153
Fig. 6.19.- Detalle de variador de frecuencia de la soplante de aire de lavado.....	153
Fig. 8.1.- Detalle de difusor de membrana de silicona	153
Fig. 8.2.- Detalle de sistema de aireación del lavado	260
Fig. 8.3.- Esquema de prototipo de lecho filtrante	263
Fig. 8.4.- Diagrama de flujo en la planta piloto	264

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1.- Relaciones causa-efecto de algunos contaminantes del agua.....	7
Cuadro 1.2.- Valores máximos instantáneos de los valores de contaminación.....	14
Cuadro 1.3.- Proceso de elaboración de zumos, zumos concentrados, aceites esenciales y harinas de frutos	18
Cuadro 1.4- Usos del Agua	20
Cuadro 3.1- Clasificación de los procesos biológicos (Steve Couper-Harrison Grierson Consultants Limited. 2004)	50
Cuadro 3.2- Clasificación de los procesos biológicos avanzados en función del estado de la biomasa (V. Lazarova y J. Manem; 1994)	52
Cuadro 3.3- Procesos biopelícula de lecho fijo a escala industrial (V. Lazarova y J. Manem; 1994)	58
Cuadro 3.4- Procesos biopelícula de lecho móvil a escala industrial (V. Lazarova y J. Manem; 1994).....	59
Cuadro 3.5.- Rendimientos a obtener según datos de proyecto de filtros biológicos aireados (J.P. Canler y J.M. Perret; 1994).....	63
Cuadro 3.6.- Resultados obtenidos en filtros biológicos aireados usados como tratamiento secundario (J.P. Canler y J.M. Perret; 1995).....	64
Cuadro 3.7.- Resultados obtenidos en filtros biológicos aireados usados en dos etapas, como tratamiento secundario aireado y terciario sin aireación (G. Carrand y C. Bonaf; Degremont.1992)	65
Cuadro 3.8.- Resultados obtenidos con Biostyr--tratamiento terciario (F. Rogalla y J. Sibony. 1991)	68
Cuadro 3.9.- Necesidades de aireación de proceso según distintas fuentes	70
Cuadro 3.10.- Necesidades de aire y agua de lavado según distintas fuentes	72
Cuadro 3.11.- Producción de fangos en biofiltros según distintas fuentes	80
Cuadro 3.12.- Características básicas de las distintas patentes presentadas	83
Cuadro 5.1.- Caracterización del efluente proporcionado por la industria cítrica "Agrumexport"	111

Cuadro 5.2.- Características físico-químicas de la arcilla expandida-ARLITA.(T.D. Kent, C. S. B. Fitzpatrick and S. C. Williams. School of Water Sciences, Cranfield University, 1996).....	117
Cuadro 5.3.- Resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro de medición de aire de proceso	120
Cuadro 5.4.- Resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro de medición de aire de lavado.....	123
Cuadro 5.5.- Resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro de medición de agua bruta	125
Cuadro 6.1.- Síntesis de las tomas de muestras realizadas, indicando muestreo y periodicidad.....	156
Cuadro 6.2.- Síntesis de las fases de trabajo en la investigación de choque	158
Cuadro 6.3.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).....	160
Cuadro 6.4.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).....	161
Cuadro 6.5.- Fase nº 1 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	164
Cuadro 6.6.- Fase nº1 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	165
Cuadro 6.7.- Fase nº 1 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado	166
Cuadro 6.8.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.....	168
Cuadro 6.9.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricasde entrada al lecho inundado.....	168
Cuadro 6.10.- Fase nº1 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	169
Cuadro 6.11.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado	169
Cuadro 6.12.- Fase nº1 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).....	170
Cuadro 6.13.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.....	170
Cuadro 6.14.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	180

Cuadro 6.15.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).....	181
Cuadro 6.16.- Fase nº 2 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	184
Cuadro 6.17.- Fase nº 2 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.....	185
Cuadro 6.18.- Fase nº 2 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado.....	186
Cuadro 6.19.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.....	188
Cuadro 6.20.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.....	188
Cuadro 6.21.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.....	189
Cuadro 6.22.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.....	189
Cuadro 6.23.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).....	190
Cuadro 6.24.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.....	190
Cuadro 6.25.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).....	200
Cuadro 6.26.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).....	201
Cuadro 6.27.- Fase nº 3 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	204
Cuadro 6.28.- Fase nº 3 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.....	205
Cuadro 6.29.- Fase nº 3 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado.....	206
Cuadro 6.30.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.....	208
Cuadro 6.31.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.....	208
Cuadro 6.32.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.....	209

Cuadro 6.33.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.....	209
Cuadro 6.34.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	210
Cuadro 6.35.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado	210
Cuadro 6.36.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	220
Cuadro 6.37.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	221
Cuadro 6.38.- Fase nº 4 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)	224
Cuadro 6.39.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.....	225
Cuadro 6.40.- Fase nº 4 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado	226
Cuadro 6.41.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	228
Cuadro 6.42.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	228
Cuadro 6.43.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	229
Cuadro 6.44.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.....	229
Cuadro 6.45.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	230
Cuadro 6.46.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado	230
Cuadro 9.1.- Síntesis de las fases de trabajo de la Investigación en la investigación seguida en la Puesta a punto de la nueva planta Piloto	272
Cuadro 10.1.- Síntesis de las tomas de muestras realizadas, indicando muestreo y periodicidad.....	297
Cuadro 10.2.- Síntesis de las fases de trabajo en la investigación de fondo.....	298
Cuadro 10.3.- Fase nº 1 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	300

Cuadro 10.4.- Fase nº 1 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	301
Cuadro 10.5.- Fase nº 1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)	304
Cuadro 10.6.- Fase nº1 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación ...	305
Cuadro 10.7.- Fase nº 1 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado	306
Cuadro 10.8.- Fase nº 1 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de la CARM	307
Cuadro 10.9.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.....	309
Cuadro 10.10.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	309
Cuadro 10.11.- Fase nº1 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	310
Cuadro 10.12.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.....	310
Cuadro 10.13.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).....	311
Cuadro 10.14.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado	311
Cuadro 10.15.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	323
Cuadro 10.16.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	324
Cuadro 10.17.- Fase nº 2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	327
Cuadro 10.18.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	328
Cuadro 10.19.- Fase nº 2 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado	329
Cuadro 10.20.- Fase nº2 (I. Fondo): Conformidad de los resultados	330
Cuadro 10.21.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	332
Cuadro 10.22.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	332

Cuadro 10.23.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	333
Cuadro 10.24.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado	333
Cuadro 10.25.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	334
Cuadro 10.26.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado	334
Cuadro 10.27.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	345
Cuadro 10.28.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).....	346
Cuadro 10.29.- Fase nº 3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	349
Cuadro 10.30.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	350
Cuadro 10.31.- Fase nº3 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.....	351
Cuadro 10.32.- Fase nº 3 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de la CARM	352
Cuadro 10.3.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	354
Cuadro 10.34.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.....	354
Cuadro 10.35.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	355
Cuadro 10.36.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado	355
Cuadro 10.37.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	356
Cuadro 10.38.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.....	356
Cuadro 10.39.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).....	369
Cuadro 10.40.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).....	370

Cuadro 10.41.- Fase nº 4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	373
Cuadro 10.42.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	374
Cuadro 10.43.- Fase nº 4 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado	375
Cuadro 10.44.- Fase nº 4 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de la CARM.....	376
Cuadro 10.45.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	378
Cuadro 10.46.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	378
Cuadro 10.47.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	379
Cuadro 10.48.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.....	379
Cuadro 10.49.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).....	380
Cuadro 10.50.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado	380
Cuadro 10.51.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	390
Cuadro 10.52.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	391
Cuadro 10.53.- Fase nº 5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).....	394
Cuadro 10.54.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	395
Cuadro 10.55.- Fase nº 5 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado	396
Cuadro 10.56.- Fase nº 5 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de la CARM.....	397
Cuadro 10.57.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	399
Cuadro 10.58.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	399

Cuadro 10.59.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	400
Cuadro 10.60.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado	400
Cuadro 10.61.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	401
Cuadro 10.62.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.....	402
Cuadro 10.63.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).....	412
Cuadro 10.64.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).....	413
Cuadro 10.65.- Fase nº 6 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)	416
Cuadro 10.66.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.	417
Cuadro 10.67.- Fase nº 6 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.....	418
Cuadro 10.68.- Fase nº 6 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de la CARM.....	419
Cuadro 10.69.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	421
Cuadro 10.70.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	421
Cuadro 10.71.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.....	422
Cuadro 10.72.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.....	422
Cuadro 10.73.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).....	423
Cuadro 10.74.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.....	423
Cuadro 10.75.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	434
Cuadro 10.76.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).....	435

Cuadro 10.77.- Fase nº 7 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)	438
Cuadro 10.78.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	439
Cuadro 10.79.- Fase nº 7 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado	440
Cuadro 10.80.- Fase nº 7 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 dela CARM	441
Cuadro 10.81.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.....	443
Cuadro 10.82.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.....	443
Cuadro 10.83.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	444
Cuadro 10.84.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado	444
Cuadro 10.85.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	445
Cuadro 10.86.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado	445
Cuadro 10.87.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).....	458
Cuadro 10.88.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	459
Cuadro 10.89.- Fase nº 8 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)	462
Cuadro 10.90.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación	463
Cuadro 10.91.- Fase nº 8 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado	464
Cuadro 10.92.- Fase nº 8 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de la CARM.....	465
Cuadro 10.93.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado	467
Cuadro 10.94.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado	467

Cuadro 10.95.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado	468
Cuadro 10.96.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado	468
Cuadro 10.97.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)	469
Cuadro 10.98.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.....	469
Cuadro 12.1.- Síntesis Análisis de la Varianza para DBO ₅ ,salida - Sumas de Cuadrados de Tipo III.	494
Cuadro 12.2.- Contraste múltiple de rangos para DBO ₅ de salida según FASE.....	495
Cuadro 12.3.- Síntesis Análisis de la Varianza para DQO,salida - Sumas de Cuadrados de Tipo III.	498
Cuadro 12.4.- Contraste múltiple de rangos para DQO de salida según FASE	499
Cuadro 12.5.- Síntesis Análisis de la Varianza para SS,salida - Sumas de Cuadrados de Tipo III.	501
Cuadro 12.6.- Contraste múltiple de rangos para SS de salida según FASE	502
Cuadro 12.7.- Síntesis Análisis de la Varianza para DQO,salida - Sumas de Cuadrados de Tipo III.	505
Cuadro 12.8.- Contraste múltiple de rangos para DQO de salida según FASE	506
Cuadro 12.9.- Síntesis Análisis de la Varianza para SS,salida - Sumas de Cuadrados de Tipo III.	508
Cuadro 12.10.- Contraste múltiple de rangos para SS de salida según FASE.....	509

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1.- Fase nº 1 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo	162
Gráfico 6.2.- Fase nº 1 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo.....	162
Gráfico 6.3.- Fase nº 1 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo.....	163
Gráfico 6.4.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida.....	172
Gráfico 6.5.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida.....	172
Gráfico 6.6.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.....	173
Gráfico 6.7.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida	173
Gráfico 6.8.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida.....	174
Gráfico 6.9.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	174
Gráfico 6.10.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	175
Gráfico 6.11.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	175
Gráfico 6.12.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.....	176
Gráfico 6.13.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.....	176
Gráfico 6.14.- Fase nº 2 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo	182
Gráfico 6.15.- Fase nº 2 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo.....	182
Gráfico 6.16.- Fase nº 2 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo)	183
Gráfico 6.17.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida.....	192
Gráfico 6.18.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida.....	192
Gráfico 6.19.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.....	193
Gráfico 6.20.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida	193
Gráfico 6.21.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida.....	194
Gráfico 6.22.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	194
Gráfico 6.23.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	195
Gráfico 6.24.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	195

Gráfico 6.25.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS	196
Gráfico 6.26.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO	196
Gráfico 6.27.- Fase nº 3 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo.....	202
Gráfico 6.28.- Fase nº 3 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo	202
Gráfico 6.29.- Fase nº 3 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo	203
Gráfico 6.30.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida	212
Gráfico 6.31.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida	212
Gráfico 6.32.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida	213
Gráfico 6.33.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida.....	213
Gráfico 6.34.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida	214
Gráfico 6.35.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.....	214
Gráfico 6.36.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS	215
Gráfico 6.37.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	215
Gráfico 6.38.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS	216
Gráfico 6.39.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO	216
Gráfico 6.40.- Fase nº 4 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo.....	222
Gráfico 6.41.- Fase nº 4 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo	222
Gráfico 6.42.- Fase nº 4 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo)	223
Gráfico 6.43.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida	232
Gráfico 6.44.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida	232
Gráfico 6.45.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.	233
Gráfico 6.46.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida.....	233
Gráfico 6.47.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida	234
Gráfico 6.48.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.....	234
Gráfico 6.49.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS	235
Gráfico 6.50.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	235

Gráfico 6.51.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.....	236
Gráfico 6.52.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.....	236
Gráfico 6.53.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de DQO	240
Gráfico 6.54.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de SS	240
Gráfico 6.55.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de DBO ₅	241
Gráfico 6.56.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de DQO	241
Gráfico 6.57.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de SS	242
Gráfico 6.58.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de DBO ₅	242
Gráfico 9.1.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de DQO.....	285
Gráfico 9.2.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de SS	285
Gráfico 9.3.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de DQO.....	286
Gráfico 9.4.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de SS	286
Gráfico 9.5.- Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de DQO.....	287
Gráfico 9.6.- Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de SS	287
Gráfico 10.1.- Fase nº 1 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.....	302
Gráfico 10.2.- Fase nº 1 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo	302
Gráfico 10.3.- Fase nº 1 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo	303
Gráfico 10.4.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida	313
Gráfico 10.5.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida	313
Gráfico 10.6.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida	314
Gráfico 10.7.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.....	314
Gráfico 10.8.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	315
Gráfico 10.9.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	315
Gráfico 10.10.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.....	316

Gráfico 10.11.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	316
Gráfico 10.12.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.....	317
Gráfico 10.13.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.....	317
Gráfico 10.14.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.....	318
Gráfico 10.15.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.....	318
Gráfico 10.16.- Fase nº 2 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo	325
Gráfico 10.17.- Fase nº 2 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.....	325
Gráfico 10.18.- Fase nº 2 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo)	326
Gráfico 10.19.- Fase nº 2 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.....	336
Gráfico 10.20.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.....	336
Gráfico 10.21.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.....	337
Gráfico 10.22.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	337
Gráfico 10.23.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	338
Gráfico 10.24.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	338
Gráfico 10.25.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	339
Gráfico 10.26.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	339
Gráfico 10.27.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.....	340
Gráfico 10.28.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.....	340
Gráfico 10.29.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.....	341
Gráfico 10.30.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.....	341
Gráfico 10.31.- Fase nº 3 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo	347
Gráfico 10.32.- Fase nº 3 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.....	347
Gráfico 10.33.- Fase nº 3 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.....	348
Gráfico 10.34.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.....	358
Gráfico 10.35.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.....	358
Gráfico 10.36.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.....	359

Gráfico 10.37.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	359
Gráfico 10.38.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	360
Gráfico 10.39.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	360
Gráfico 10.40.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	361
Gráfico 10.41.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS	361
Gráfico 10.42.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO	362
Gráfico 10.43.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	362
Gráfico 10.44.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS	363
Gráfico 10.45.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO	363
Gráfico 10.46.- Fase nº 4 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo	371
Gráfico 10.47.- Fase nº 4 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo	371
Gráfico 10.48.- Fase nº 4 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo	372
Gráfico 10.49.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida	382
Gráfico 10.50.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida	382
Gráfico 10.51.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida	383
Gráfico 10.52.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	383
Gráfico 10.53.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	384
Gráfico 10.54.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	384
Gráfico 10.55.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	385
Gráfico 10.56.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS	385
Gráfico 10.57.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO	386
Gráfico 10.58.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	386
Gráfico 10.59.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS	387
Gráfico 10.60.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO	387
Gráfico 10.61.- Fase nº 5 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo	392
Gráfico 10.62.- Fase nº 5 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo	392

Gráfico 10.63.- Fase nº 5 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.....	393
Gráfico 10.64.- Fase nº 5 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.....	403
Gráfico 10.65.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.....	403
Gráfico 10.66.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.....	404
Gráfico 10.67.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	404
Gráfico 10.68.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	405
Gráfico 10.69.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	405
Gráfico 10.70.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	406
Gráfico 10.71.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	406
Gráfico 10.72.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.....	407
Gráfico 10.73.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.....	407
Gráfico 10.74.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.....	408
Gráfico 10.75.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.....	408
Gráfico 10.76.- Fase nº 6 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo	414
Gráfico 10.77.- Fase nº 6 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.....	414
Gráfico 10.78.- Fase nº 6 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo)	415
Gráfico 10.79.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.....	425
Gráfico 10.80.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.....	425
Gráfico 10.81.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.....	426
Gráfico 10.82.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	426
Gráfico 10.83.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	427
Gráfico 10.84.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	427
Gráfico 10.85.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	428
Gráfico 10.86.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	428
Gráfico 10.87.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.....	429
Gráfico 10.88.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.....	429

Gráfico 10.89.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS	430
Gráfico 10.90.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO	430
Gráfico 10.91.- Fase nº 7 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.....	436
Gráfico 10.92.- Fase nº 7 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo	436
Gráfico 10.93.- Fase nº 7 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo	437
Gráfico 10.94.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida	447
Gráfico 10.95.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida	447
Gráfico 10.96.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida	448
Gráfico 10.97.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	448
Gráfico 10.98.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	449
Gráfico 10.99.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida	449
Gráfico 10.100.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.....	450
Gráfico 10.101.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS	450
Gráfico 10.102.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO	451
Gráfico 10.103.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO	451
Gráfico 10.104.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS	452
Gráfico 10.105.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO	452
Gráfico 10.106.- Fase nº 8 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.....	460
Gráfico 10.107.- Fase nº 8 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo	460
Gráfico 10.108.- Fase nº 8 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo).....	461
Gráfico 10.109.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida	471
Gráfico 10.110.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida	471
Gráfico 10.111.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida	472
Gráfico 10.112.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida	472
Gráfico 10.113.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida	473
Gráfico 10.114.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.....	473

Gráfico 10.115.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO	474
Gráfico 10.116.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.....	474
Gráfico 10.117.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.....	475
Gráfico 10.118.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.....	475
Gráfico 10.119.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.....	476
Gráfico 10.120.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.....	476
Gráfico 10.121.- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DQO	482
Gráfico 10.122.- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de SS	482
Gráfico 10.123.-Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DBO ₅	483
Gráfico 10.124.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de DQO	483
Gráfico 10.125.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de SS	484
Gráfico 10.126.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de DBO ₅	484
Gráfico 10.127.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM Niveles de salida de DQO	485
Gráfico 10.128.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM Niveles de salida de SS.....	485
Gráfico 10.129.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM Niveles de salida de DBO ₅	486
Gráfico 12.1.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. DBO ₅ salida	496
Gráfico 12.2.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. DQO salida.....	500
Gráfico 12.3.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. SS salida	503
Gráfico 12.4.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. DQO salida.....	507
Gráfico 12.5.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. SS salida	510

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- GENERALIDADES

El agua es un bien necesario y escaso, existiendo múltiples referencias históricas alusivas al tema. Uno de los aspectos más elementales en la metodología de asedio durante la ya dilatada historia de las guerras en el mundo, ha sido el control del abastecimiento del agua a las ciudades.

Por citar algunos casos épicos consta en los Anales de la Historia cómo Hernán Cortés (Siglo XVI) precipitó la asfixia del pueblo azteca, encerrado en su capital Tenochtitlán, fortaleciendo su posición con el dominio del acueducto de Chapultepec (símbolo de la magnífica técnica ingenieril de esta civilización precolombina).

Trasladados a épocas más recientes, el documento que plasma para siempre, dejando constancia escrita de una verdad tan sólida y constatable, es la Carta Europea del Agua (promulgada por el Consejo de Europa en su reunión de Estrasburgo en Mayo de 1.967). Los principios básicos enunciados son:

- Sin agua no hay vida posible.
- Los recursos de agua no son inagotables.
- El agua es de patrimonio común y se hace necesaria su protección.

La autodepuración de los ríos y, en general, de la naturaleza, consiste en la lucha de ésta contra su propia contaminación por vías físicas, químicas o biológicas (Depuración de aguas residuales; A. Hernández, 1.994). De hecho, cuando en nuestro siglo aparecen las primeras Estaciones Depuradoras a gran escala, construidas a partir de conocimientos teóricos más desarrollados, el hombre se limita a trasladar a espacios controlados y reducidos lo que encuentra en el paso de siglos de observación, y que la naturaleza le ha transmitido; son por tanto modelos reducidos.

La captación y drenaje de aguas pluviales data de tiempos antiguos; en cambio, las aguas residuales sólo empiezan a recogerse de una forma más sistemática desde el siglo XIX (anteriormente se repetía con frecuencia la imagen de vecinos vertiendo a la vía pública sus aguas de desecho y siendo evacuadas gracias a la pendiente de la calle).

En nuestros días, asistimos a una contaminación masiva del agua, víctima del estatus de vida practicada en la sociedad moderna. Se entiende por contaminación: " la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica" (Art. 233 redactado por R.D. 849/1986 y modificado por R.D. 1315/1992 en el que se modifica parcialmente el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los Títulos

Preliminar, I, IV, V, VI y VII de Ley 29/1985 de Aguas, y habiendo tenido en cuenta las referencias al texto refundido de la Ley de Aguas contenidas en el Reglamento, que han sido introducidas en sustitución de las anteriores referencias a la Ley 29/1985, de Aguas, según lo recogido en el anexo del R.D. 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el R.D. 849/1986, de 11 de abril.

La contaminación, puede ser de origen natural o artificial, según sea producida sin la intervención del hombre y la influencia de sus actividades o debido a su presencia. Se acostumbra en todos los campos medioambientales a despreciar la contaminación natural y, en muchos casos, no lo es.

A su vez la sociedad moderna constituye un gigantesco aparato de producción de residuos, tanto sólidos como líquidos (sin considerar los gaseosos generados en la industria), y las principales causas que agravan y desbordan el problema de la contaminación en nuestro siglo son:

- Las dotaciones para los distintos usos del agua se han multiplicado en los últimos años; se ha pasado de 20 litros por habitante equivalente y día de agua potable en 1.880, a 300 o más litros en los últimos años.
- La presión demográfica ha constituido una característica básica de este siglo, alcanzando nuestro país los 44 millones de habitantes frente a los 16 millones de 1.880.

El agua residual puede definirse como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden

agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, ed. de 1.995).

La contaminación de la que es portadora el agua residual produce diversos efectos perniciosos, de variada índole (medioambiental, económica y sociocultural), entre los que destacan (M. Takasaki, H. Kim, A. Sato, M. Okada y R. Sudo; Japón, 1.992):

- Disminución de recursos hídricos disponibles.
- Inaptitud para distintos usos: consumo humano, industria, agricultura, pesca, actividades recreativas, animales, etc...
- Minimización del poder autodepurador de los cauces receptores.

En el siguiente cuadro se presentan las más importantes relaciones causa-efecto, que se producen como consecuencia de ciertos componentes del agua residual.

Cuadro 1.1.- Relaciones causa-efecto de algunos contaminantes del agua.

CAUSA CONTAMINANTE	EFEECTO ORIGINADO
Descomposición de materia orgánica	Gases malolientes
Microorganismos patógenos	Enfermedades
Nutrientes	Eutrofización
Compuestos tóxicos	Varios

Los inventarios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) muestran la importancia del problema, y ponen de manifiesto que el agua es un vehículo de enfermedades; fenómeno que se agudiza, en los países subdesarrollados del Tercer Mundo.

La depuración consiste en la eliminación de la contaminación e impurezas del agua, utilizando procesos físicos, químicos y biológicos (Depuración de aguas residuales; A. Hernández, 1.994).

La concienciación general sobre la necesidad de la depuración ha sido creciente a lo largo de nuestro siglo. Uno de los hitos fundamentales acontecidos

sobra el tema, en el ámbito mundial, es la celebración de la Cumbre de Río, ya en la década de los noventa.

Se llega al punto en que se concluye, por parte de todos los sectores sociales y foros de opinión, la NECESIDAD DE DEPURAR. La reacción es la puesta en marcha de los mecanismos articulados por los poderes legislativos de los distintos países, los cuales transcriben en leyes esa corriente popular.

Es decir, al principio, la necesidad de depuración es una idea que existe en la conciencia general de la sociedad, pero al final se convierte en una exigencia plasmada en Normativas.

La Unión Europea ha generado un derecho medioambiental que, a consecuencia de nuestra adhesión a la Comunidad Europea, es de aplicación en España. El Acta única Europea (1986) incorporó el medio ambiente al acervo comunitario consagrando como principios de actuación la prevención, la corrección en la fuente, quien contamina paga y el de subsidiariedad. El Tratado de Maastricht (1992), entre otros, introdujo el objetivo de desarrollo sostenible. El Tratado de Amsterdam (1997) y, en general, todas las actuaciones comunitarias en los últimos años han desarrollado e impulsado esta política.

Estos nuevos planteamientos y valores de la sociedad actual están presentes en las normas del derecho positivo. La Constitución Española recoge el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona y manda a los poderes públicos que velen por la utilización racional de los recursos naturales.

La Directiva 91/271/CEE, del Consejo, de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, establece que los Estados miembros adoptarán medidas para garantizar el tratamiento correcto del vertido, establece fechas concretas y niveles de calidad de las aguas depuradas de acuerdo con el medio receptor y la importancia de la correspondiente aglomeración urbana.

La Ley 1/2001, de 20 de Julio por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, prevé medidas para mejorar la calidad de las aguas continentales.

La Unión Europea también ha establecido instrumentos de carácter económico para el fomento de las infraestructuras necesarias. La implantación y aplicación de fondos estructurales y de cohesión constituye un apoyo decisivo e imprescindible para las acciones de saneamiento y depuración que acometen las Administraciones públicas. Potenciadas por estas ayudas comunitarias, las Administraciones locales y, en el caso que nos atañe, la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia han ejecutado, o están ejecutando, importantes infraestructuras para el tratamiento de las aguas residuales urbanas en consonancia con las exigencias de la sociedad.

Dicha Directiva también encomienda velar porque el vertido de aguas residuales industriales en sistemas colectores e instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas se someta a la normativa previa y/o a autorizaciones específicas por parte de la autoridad competente o de los organismos adecuados.

Dicha Normativa se incorpora al Ordenamiento español por Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, y desarrollado por Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, modificado a su vez por Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, donde

explícitamente se dispone LA NECESIDAD DE TRATAMIENTO PREVIO DEL VERTIDO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES para:

- Proteger la salud del personal que trabaje en los sistemas de colectores y en las instalaciones de tratamientos.
- Garantizar que los sistemas de colectores, las instalaciones de tratamiento y los equipos correspondientes no se deterioren.
- Garantizar que los vertidos de las instalaciones de tratamiento no tengan efectos nocivos sobre el medio ambiente y no impidan que las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad de la normativa vigente.
- Garantizar que los fangos puedan evacuarse con completa seguridad de forma aceptable desde la perspectiva medioambiental.

Asimismo, la Administración del Estado ha intervenido en la realización y financiación de estructuras, declaradas de interés general del Estado y, posteriormente de forma más ordenada, mediante las actuaciones previstas en el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales, aprobado por acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995. Este plan, además de realizar el diagnóstico de la cuestión en España, determina los objetivos y límites de la actuación futura, las medidas de fomento de reducción progresiva de la carga contaminante, los programas de infraestructuras y su financiación.

Tal y como queda recogido en el Plan, un sistema de depuración se compone de diversas etapas o procesos. Básicamente, estas etapas se corresponden con, un pretratamiento, un tratamiento primario, un tratamiento secundario y, en su caso, un

tratamiento terciario, quedando perfectamente definido cada uno de los procesos en dicha Normativa.

La esencia de esta Normativa radica en la consecución de efluentes que cumplan los requisitos establecidos en el ANEXO I “ **Requisitos de los vertidos de aguas Residuales** “, cuadro 1 del R.D. 509/1996 y Cuadro 2 del ANEXO I, redactado por R.D. 2116/1998, 2 de Octubre por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de Marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de Diciembre por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Una vez que el agua abandona la Estación Depuradora, según el uso posterior al que se vaya a destinar el agua tratada, los niveles de depuración exigidos serán diferentes, de tal modo que esta Ley (que no hace más que trasladar a la Ley española la Directiva Europea 91/271 CEE), supone los requisitos mínimos exigidos en el momento en que el agua se vierte de la Estación Depuradora.

Los usos posteriores en base al Borrador de Real Decreto, por el que se establecen las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas, que pueden distinguirse son:

- Usos urbanos
- Usos agrícolas
- Usos industriales
- Usos recreativos

- Usos Ambientales

Ya a nivel autonómico y concretamente en Murcia, donde se va a realizar esta TESIS DOCTORAL, el agua es el recurso natural más escaso donde la vida y la actividad socioeconómica han dependido siempre de su disponibilidad. Por ello, la cuenca del río Segura, cuenta con innumerables obras hidráulicas, tales como presas, cauces, embalses de regulación, acueductos para trasvasar agua de otras cuencas y obras de defensa contra avenidas; sin ellas no se entendería el desarrollo del regadío, la agricultura, el turismo.

Las características físicas naturales y, principalmente, las escasas lluvias propias del clima semiárido proporcionan recursos hídricos muy limitados a la Región de Murcia que son insuficientes para atender las demandas generadas por la agricultura principalmente y, por tanto, para la satisfacción de las necesidades del calendario de riegos.

El importante desarrollo urbanístico y el crecimiento de las poblaciones ocurrido durante los últimos años, ha incrementado a su vez la demanda de agua para abastecimiento urbano como lógica respuesta al progreso económico, el aumento de calidad de vida de los ciudadanos y la intensificación del turismo especialmente en el litoral regional son causantes, entre otros, de este aumento.

Los cambios socioculturales en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia han generado reivindicaciones en cuanto a una nueva cultura de conservación y protección del recurso agua, y de desarrollo económico en equilibrio con el medio ambiente: es la cultura del desarrollo sostenible. Su implantación se considera necesaria para aumentar la calidad de vida de todos los ciudadanos, y por ello nuestra

sociedad a través de políticas del agua debe fomentar el ahorro, la reutilización y la lucha contra la contaminación.

Fruto de la concienciación ciudadana aparece La Ley 1/1995, de 8 de marzo, de Protección del Medio Ambiente de la Región de Murcia, que es una importante referencia de la política de defensa del medio ambiente, y en particular, de la calidad de las aguas. Esta Ley regula, entre otros aspectos, los planes de incentivos a las inversiones para reducir la contaminación, para la recuperación y reutilización de los residuos, y establece los mecanismos de adecuación de las industrias a las exigencias medioambientales. También regula en su artículo 55.3 las condiciones de los vertidos al alcantarillado, señalando que, en desarrollo de la misma, el Gobierno Regional fijará los componentes excluidos de los vertidos y las concentraciones máximas admisibles, así como cualquier otra circunstancia que, para cumplir con estos objetivos, deberá ser incorporada a las ordenanzas municipales de vertido a las redes de alcantarillado. El cumplimiento de los referidos mandatos de desarrollo normativo justificaron la aprobación del Decreto 16/1999, de 22 de abril, sobre vertidos de aguas residuales industriales al alcantarillado publicado en el Boletín Oficial de La Región de Murcia, cuyo objeto se circunscribe a la regulación de los vertidos al alcantarillado de aguas residuales industriales.

La esencia de este Decreto radica en la consecución en los vertidos tolerados, valores de contaminación inferiores a los valores máximos instantáneos tal y como queda reflejado en el ANEXO III del Decreto 16/1999.

Cuadro 1.2.- Valores máximos instantáneos de los valores de contaminación.

Temperatura	<40°C
pH (intervalo)	5,5-9,5 unidades
Conductividad	5.000 µS/cm
Sólidos en suspensión	500 mg/l
Aceites y grasas	100 mg/l
DBO ₅	650 mg/l
DQO	1.100 mg/l
Aluminio	20 mg/l
Arsénico	1 mg/l
Bario	20 mg/l
Boro	3 mg/l
Cadmio	0,5 mg/l
Cianuros	5 mg/l
Cobre	5 mg/l
Cromo Total	5 mg/l
Cromo hexavalente	1 mg/l
Estaño	4 mg/l
Fenoles totales	2 mg/l
Fluoruros	15 mg/l
Hierro	10 mg/l
Manganeso	2 mg/l
Mercurio	0,1 mg/l
Níquel	10 mg/l
Plata	0,1 mg/l
Plomo	2 mg/l
Selenio	1 mg/l
Sulfuros	5 mg/l
Toxicidad	25 Equitox.m ³
Zinc	5 mg/l
N total (Kjeldhal)	50 mg/l

El Decreto 16/1999, de 22 de abril, sobre Vertidos de Aguas Residuales Industriales al alcantarillado, complementado por las correspondientes ordenanzas municipales, que desarrolla esta materia es uno de los instrumentos básicos para garantizar el tratamiento de las aguas residuales en las instalaciones públicas.

Hacer referencia también la Ley 3/2000, de 12 de julio, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia e Implantación del Canon de Saneamiento (BORM, de 29 Julio). Esta Ley instaura el marco jurídico que permitirá el efectivo saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas generadas en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y garantizará una actuación coordinada y eficaz de las distintas administraciones públicas competentes en la materia regulando el régimen económico-financiero preciso para asegurar el funcionamiento de las instalaciones de saneamiento y depuración.

Por último y como continuación de la voluntad que existe en la Región de Murcia de minimización del uso del recurso del agua se ha aprobado la Ley 6/2006 de 21 de Julio, sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

1.2.- INDUSTRIA CONSERVERA

El desarrollo industrial de la Región de Murcia ha sido muy importante en los últimos años. Sin embargo, la modernización e incremento de la producción de los sectores industriales no ha evolucionado al mismo ritmo que la demanda de adaptación medioambiental, principalmente en cuanto a la implantación de instalaciones de depuración en origen. La industria regional, fundamentalmente asociada a la agricultura (Industria Conservera), es una gran consumidora de agua y

sus residuos líquidos incorporan altas cargas de contaminantes que, aunque biodegradables en su mayoría, exigen una depuración muy enérgica en origen, y que requiere mejorar la actual y, en algunos casos, debe tenerse en cuenta la introducción de cambios en los procesos productivos en orden a la disminución del consumo de agua.

En el caso que nos ocupa estudiar, es garantizar el tratamiento de los vertidos producidos por el sector de la conserva en la Región de Murcia, que constituye un sector de gran importancia, debido principalmente a la gran variedad y a la calidad de sus productos y al prestigio que tienen en el mercado Nacional e Internacional.

Dentro de la industria de la conserva las más significativas son las empresas dedicadas a la elaboración de zumos, zumos concentrados, pulpas, aceites esenciales y harina deshidratada procedente de las cortezas y las pulpas de los cítricos.

Estos vertidos altamente biodegradables son los principales causantes (por volumen evacuado y alta carga orgánica) de sobrecargas en las redes de alcantarillado municipales, al incumplir en algunos casos las concentraciones máximas instantáneas establecidas en el Decreto 16/1999 (principalmente DQO, DBO₅, SS y pH) sobre vertidos de aguas residuales al alcantarillado.

A título meramente informativo se describen a continuación los procesos de fabricación de zumos, que están caracterizados por las siguientes etapas:

Lavado:

Durante este proceso la fruta sufre un lavado y un cepillado, a la vez que se realiza la selección de la misma, desechándose la que no se encuentre en condiciones correctas.

Exprimición

La exprimición se realiza sobre el fruto entero, o sobre el fruto después de haberse producido el raspado del epicarpio (piel) para la obtención de los aceites esenciales. Si el exprimido se hace sobre el fruto completo se obtendrá por un lado el zumo bruto y por otro una emulsión de los aceites esenciales junto con el agua.

Tamización

El zumo obtenido se somete a un tamizado para la obtención de un zumo con menor cantidad de sólidos y por otro lado la pulpa que ha sido separada.

Desaireación

Este proceso se realiza para la obtención de un zumo en el que no estén alteradas las características organolépticas (olor, sabor, degradación de vitaminas); ésto se consigue mediante la acción del vacío, eliminándose los gases disueltos y el oxígeno que se encuentran en el zumo.

Pasteurización

Con este proceso se consigue la inactivación microbiana y enzimática del zumo; en este proceso se somete el zumo a elevadas temperaturas durante un corto período de tiempo. A partir de aquí el zumo puede estar ya listo para su envasado.

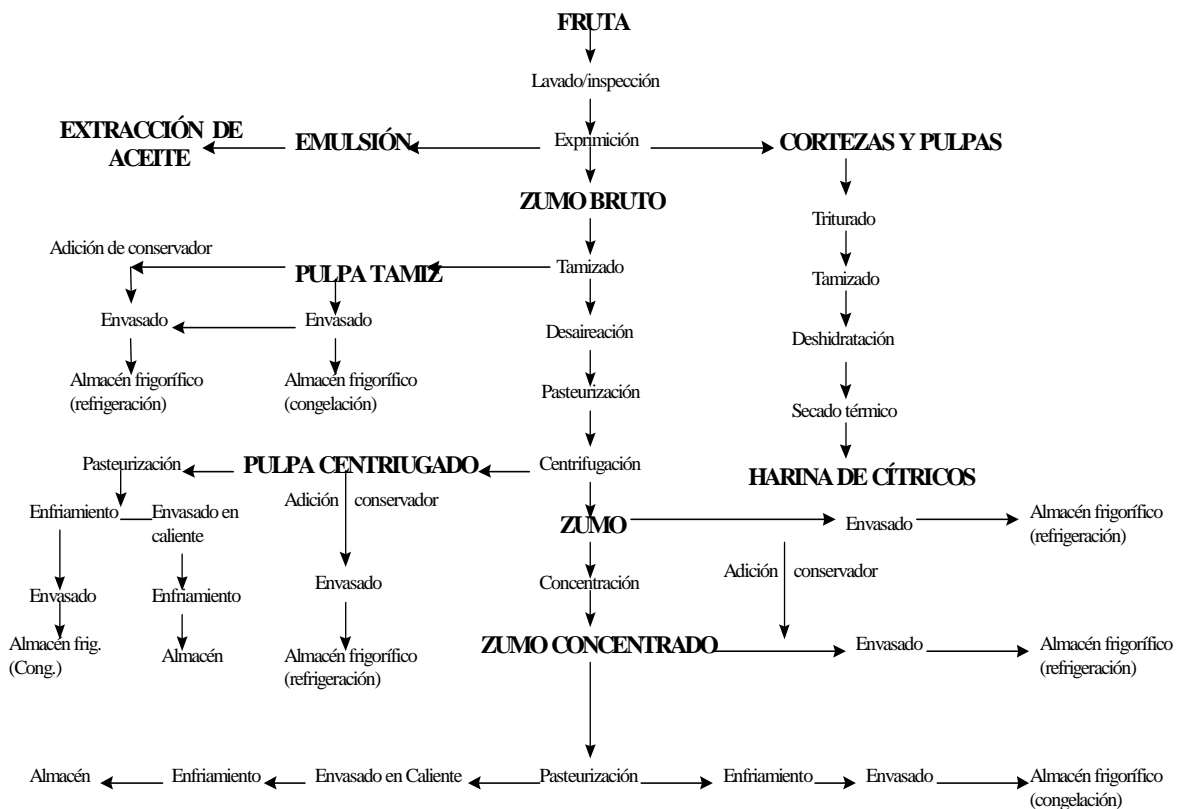
Centrifugación

Posteriormente, el zumo se puede someter a otro proceso de centrifugado, para obtener un zumo con una baja cantidad de sólidos insolubles obteniéndose así un zumo de mayor calidad. A continuación se realizaría la pasteurización.

Concentración

Con ello se trata de eliminar parte del agua de constitución, hasta el grado de concentración deseado mediante la aplicación de calor y vacío.

Cuadro 1.3- Proceso de elaboración de zumos, zumos concentrados, aceites esenciales y harinas de frutos.



Trituración

Para la obtención de las harinas de Naranja y limón deshidratadas, se realiza una trituración de las cortezas y las pulpas. Una vez trituradas se hacen pasar por un tamiz para realizar posteriormente la deshidratación del producto obtenido mediante prensado y realizar finalmente un secado térmico.

Envasado

Tras la pasteurización se envasa en caliente en recipientes herméticos.

A continuación se describen los principales usos del agua dentro del propio proceso productivo así como su procedencia y características del vertido:

Agua de refrigeración y Agua para la generación de vapor

Este agua no se gasta en el proceso, sólo se vierte el agua procedente de las purgas, necesitándose tratamiento previo de descalcificación para que no se produzcan incrustaciones y obstrucciones en las conducciones. El agua que se utiliza en el proceso es en su mayoría agua subterránea procedente de pozos y algo de la red de Abastecimiento, dependiendo del uso que se le da a ésta.

El proceso de descalcificación se lleva a cabo por medio de resinas de intercambio iónico. La regeneración de la resina producirá una importante cantidad de sales que ocasionarán un considerable aumento en la conductividad del agua.

Agua de lavado de la materia prima

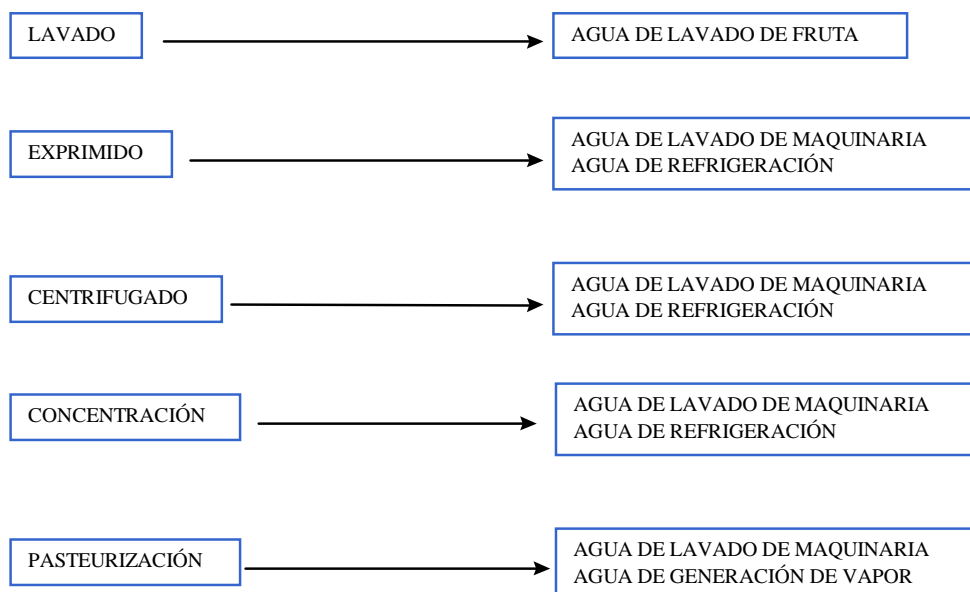
Éste es el agua que se utiliza para el lavado de la fruta y constituye el mayor volumen de agua gastada, y por ello se suele utilizar agua subterránea dado el considerable ahorro económico.

Este agua está cargada de una gran cantidad de sólidos en suspensión, pero su grado de contaminación no será muy elevado.

Agua de lavado de maquinaria y derrames efectuados en el proceso

El agua de lavado de maquinaria será un agua con una gran carga orgánica (elevada DBO₅), con una cantidad muy alta en sólidos en suspensión y con un pH ácido, debido al arrastre de los derrames que se llevan a cabo en el proceso de producción.

Cuadro 1.4- Usos del Agua.



Como se ha visto los efluentes procedentes de estas industrias tienen una considerable carga orgánica con una gran cantidad de Sólidos en Suspensión, DBO₅, y DQO, así como valores de pH ácido. Por ello para el tratamiento de estas aguas en las empresas que corrigen sus vertidos se realiza en primer lugar una homogeneización del vertido y neutralización del pH y posteriormente un tratamiento biológico por fangos activos de aireación prolongada para reducir la materia orgánica disuelta.

1.3.- PROCESOS DE LECHOS INUNDADOS

La tecnología de depuración avanza en cuanto a la perfección de los tratamientos propiamente dichos en orden a incrementar la calidad del efluente y a la disminución del impacto ambiental causado (olores, fangos, impacto visual) lo que se traduce en una mejora constante del diseño de las plantas de depuración de aguas y del tratamiento y destino de los fangos.

La elección de un tipo u otro de tratamiento de las aguas residuales industriales y, dentro de cada tratamiento, el tipo de proceso a elegir, es muy complejo y son numerosos los condicionantes que han de evaluarse. Las principales características que deben perseguirse en un sistema de depuración industrial son las siguientes:

- Necesidad mínima de superficie.
- Posibilidad de cubrición.
- Intervalo amplio de caudal y de altas cargas aplicables, especialmente aquellas con elevada presencia de materia orgánica disuelta (Azúcares, carbohidratos solubles...)

- Adaptación a variaciones inesperadas de caudal.
- Reducida afectación de los procesos (sobre todo, de tipo químicos y biológicos) por las características del agua a tratar.
- Efluentes de calidad adecuada.
- Reducida producción de fangos.
- Mínimo impacto ambiental: olores, intrusión visual, etc.
- Fiabilidad y estabilidad de funcionamiento y explotación.
- Facilidad para futuras ampliaciones, es decir, compatibilidad con otros sistemas de depuración, así como carácter modular de las instalaciones.

En definitiva, toda la casuística anterior obliga a buscar PROCESOS COMPACTOS que ocupen poca superficie, sean fácilmente ubicables y permitan su cubrición (G. Rhyner, B. Birou, H. Gros; Suiza, 1992).

El estudio de sistemas que cumpliesen los condicionantes anteriores constituyó la razón fundamental que enfocó las investigaciones de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada, pionera en la línea del “Aprovechamiento de la biopelícula en los lechos inundados”, y especialmente para las aguas residuales urbanas, y que será también la razón que enfoque la Investigación del tratamiento de los efluentes biodegradables de las industrias conserveras.

A finales de la década de los ochenta (Octubre de 1989), se inicia la primera investigación en España con la firma de un convenio, en el que participa O.T.V., EMPROACSA y FAB; la primera, perteneciente al grupo francés Compañía General de Aguas, como empresa constructora; la segunda como empresa de Gestión y Explotación; y la Fundación Agustín de Bethencourt como centro de investigación vinculado a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

Esta primera planta piloto se montó en Peñarroya en 1989. En base a la experiencia adquirida en estos estudios, se diseña la Estación Depuradora a escala real en El Puerto de Santa María con este sistema de depuración.

En 1991, con el traslado del investigador principal Dr. D. Ernesto Hontoria las investigaciones se ubican en las Estaciones Depuradoras de Granada, participando activamente EMASAGRA, y dejando de participar las anteriores empresas, con el concurso activo de la Administración.

Son varias las Tesis Doctorales sobre Filtros Biológicos Aireados Inundados, dentro de esta Cátedra, que se encuentran en marcha o acabadas.

Aparte de las consideraciones esgrimidas con anterioridad, las investigaciones de la Cátedra pretendieron, desde su inicio, la consecución de sistemas que obviarán las principales desventajas que han presentado los sistemas de fangos activados en la dilatada experiencia de explotación que acumulan.

Con fecha 8 de Mayo de 2.002 se procedió a la firma de un convenio de colaboración entre La Universidad de Granada, a través del Departamento de

Ingeniería Civil y la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia (EMUASA) con su grupo de investigación de “ Destrucción de Contaminantes”, dirigido por el Dr. Amalio Garrido, donde se sentaron las bases de estudio de la aplicación de los procesos de lechos inundados al sector agroalimentario de Murcia.

En efecto, uno de los procesos biológicos más clásicos y extendidos por todo el mundo es el de fangos activados. Algunas realizaciones de este tipo están ya documentadas antes de la Primera Guerra Mundial (Arden y Lockett; 1914). Su estudio ha sido ya cultivado durante una larga serie de años y el conocimiento de su cinética y demás casuística es muy vasto en el momento actual.

El procedimiento consiste en provocar el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (fangos activados) en un depósito agitado y aireado (balsa de aireación) y alimentado con el agua a tratar. Posteriormente, estos flóculos son eliminados en un clarificador.

Entre las principales desventajas apuntadas, se tienen (Gilles Carrand y C. Bonaf; Francia, 1991):

- Necesidad de grandes superficies, en particular para el proceso de clarificación.
- Por lo anterior, dificultad de integración en el medio ambiente, que obliga a alejar las instalaciones de la estructura urbana.
- Mayores costes de los colectores.

- Defectuosa decantabilidad de los fangos del biológico por escasa densidad de los mismos (bulking), que provoca con gran frecuencia el retorno de fangos al cauce receptor, junto con el efluente tratado.
- Reaccionan con dificultad a las variaciones de carga hidráulica.
- La inercia del sistema es considerable, por simple cuestión de escala.

Los filtros biológicos aireados inundados son reactores que contienen un material soporte de relleno, donde las bacterias crecen formando una película en la estructura del material, que se encuentra sumergido. Disponen de aireación forzada, suministrada mediante equipos mecánicos y necesitan lavados periódicos con agua y aire, cuya finalidad es eliminar las partículas que progresivamente van atascando el filtro al ser retenidos al paso del agua, al tiempo que se controla el desarrollo de la biomasa que constituye la película o biopelícula, al objeto de evitar anaerobiosis en la misma.

Las principales ventajas reportadas en numerosos documentos bibliográficos acerca de los filtros biológicos inundados son (R. Pujol, J. P. Canler y A. Iwena; Francia, 1992 -H. Gras, J. Álvarez; Sulzer, 1992, Hontoria, E. y Zamorano M., 1992; Hontoria, E. y Osorio F., 1998):

- Crecimiento rápido de la biopelícula, que redundaría en una gran flexibilidad frente a las cargas contaminantes variables.
- Admite cargas contaminantes de entrada muy elevadas, lo que redundaría en menores necesidades de espacio para el tratamiento biológico.

- Retención mecánica de las materias en suspensión, que implica una posible supresión del clarificador secundario.
- Menor necesidad de superficie (consecuencia de los dos puntos anteriores).
- Utilizados en procesos de nitrificación, permiten independizarse de la edad del fango, pues no existe peligro de lavados hidráulicos; los lavados de biopelícula están controlados y son voluntarios.
- Gran estabilidad del proceso.
- Carácter modular del procedimiento, que permite ajustar fácilmente las distintas etapas con distintos objetivos o adaptarse fácilmente a las variaciones estacionales, o de otro tipo, de caudal o carga contaminante.
- Fácil adaptación a Estaciones Depuradoras existentes, y que necesitan una remodelación por sobrecarga o adecuar sus vertidos a las nuevas normas con imperativos más exigentes, que se vienen promulgando últimamente en todos los países; en particular los europeos, que han transcrito las Directivas Europeas a su propia Normativa (E.H. Harsman, P.J. Roeleved, J.H. Rensink; Holanda, 1997).
- Efluentes menos contaminados, lográndose altos rendimientos de eliminación en los distintos parámetros contaminantes (referidos tanto a materia orgánica como a materia nitrogenada).
- Reducida producción de fangos, al tiempo que desaparecen los efectos de bulking.

- Minimización de ruido y olores, así como impactos visuales, pues su reducido espacio necesario permite su cubrición, o incluso su ubicación subterránea.
- Gran tolerancia hacia muchos inhibidores.
- Proporciona buenos resultados, incluso cuando se presentan bajas relaciones DBO_5/DQO en el afluente.

Estas ventajas señaladas son las que se intentará eviten las principales desventajas que han presentado los sistemas de fangos activados en la dilatada experiencia de explotación que acumulan tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas, y las industriales.

Las conclusiones obtenidas hasta el momento, fruto de las experiencias acumuladas en el curso de las distintas investigaciones de esta Cátedra se han ceñido mayoritariamente en la investigación del uso de esta tecnología de lechos inundados para el tratamiento de efluentes urbanos, y es por ello que se desconoce el comportamiento de los lechos en el tratamiento de efluentes industriales procedentes de un sector tan arraigado en la Región de Murcia como es el del sector Conservero y en especial el cítrico , y poder estudiar si se alcanzan plenamente todos los objetivos marcados. Esos objetivos que, no son otros, sino los que propicien el diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Industriales (E.D.A.R.I) , que aúnen las ventajas y condicionantes descritos anteriormente, junto al cumplimiento de la Normativa vigente al respecto.

Esta Tesis Doctoral viene motivada por la pretensión de ser una continuación de las Investigaciones precedentes y una nueva aportación en la búsqueda de una solución a toda la problemática expuesta anteriormente con un enfoque de tratamiento de efluentes industriales altamente biodegradables procedentes de sector cítrico.

Finalmente, se concluye la conveniencia de la realización de esta Tesis Doctoral, bajo el título de: “**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LECHOS INUNDADOS EN LA DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA CONSERVERA**”, que intenta sintetizar los diversos aspectos tratados en este trabajo.

2.- OBJETIVOS

2.1.- OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal es comprobar, y en su caso optimizar el funcionamiento del proceso de lechos inundados en la industria agroalimentaria : En particular en la del sector de elaboración de jugos cítricos.

2.2.- OBJETIVOS SECUNDARIOS

Para alcanzar el objetivo principal es necesario definir los parámetros de diseño y operación para un proceso de este tipo que permita conocer :

- La idoneidad así como el comportamiento del relleno a la variabilidad de estas aguas industriales, con particularidad al pH.
- La optimización del material de relleno investigando con diferentes granulometrías.
- El rendimiento del proceso en la reducción de DBO₅, DQO y SS.

- La optimización de los parámetros de diseño para las variaciones de carga del agua.
- La minimización de costes de explotación.
- La confirmación de la insuficiencia de concentraciones de nutrientes en el agua a tratar para el desarrollo del proceso biológico, al igual que ocurre con otros efluentes procedentes de la industria agroalimentaria y que suelen requerir el aporte de cantidades adicionales de nitrógeno y fósforo para el correcto funcionamiento de los procesos biológicos de fangos activados de aireación prolongada.

3.- SITUACIÓN ACTUAL DE LA TÉCNICA

3.1.- METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica se ha ido poniendo al día a la vez que se desarrollaba la investigación de la presente tesis. Las principales Bibliotecas y Servicios de documentación a los que se han acudido son las siguientes:

- Biblioteca General de la Universidad de Murcia.
- Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químicas de La Universidad de Murcia.
- Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada.
- Servicio de documentación del Área de Tecnologías del Medio Ambiente del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Granada.

- Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid.

Las más importantes Bases de Datos a las que se ha tenido acceso a través de las Instituciones y Servicios enumerados anteriormente fueron las siguientes:

- AFEE -73 (Association Francaise pour L 'Etude des Eaux; Francia).
- AQUALINE -25 (Water Research Center; Reino Unido).
- COMPENDEX -4 (Engineering Information Inc.; Estados Unidos).
- ENVIROLINE -11 (Environment Information Center; Estados Unidos).
- POLLUTION -18 (Cambridge Scientific Ababstracts; Estados Unidos).
- CAPLUS (American Chemical Society).
- MEDLINE (U.S. National Library of Medicine).
- SCI (Science Citation Index; Estados Unidos).

Las principales palabras clave con las que se ha accedido a las Bases de Datos y demás búsquedas han sido:

- Biofilm Reactor.
- Submerged bed.
- Biological Filter
- Aerated Submerged Biological Filter.

- Fixed Film Reactor.
- Submerged Fixed-Film Reactor.

Aparte de artículos obtenidos a través de Bases de Datos, ha resultado muy productiva la consulta de la Documentación de distintos Congresos y Jornadas, así como de Revistas periódicas, tales como "*Water Science & Technology*" y "*Water Research*". Otras revistas consultadas en esta Investigación son: "*Journal of the Institution of Water and Environment Management* o *Aplied Biochemistry and Biotechnology*".

3.2.- CONSIDERACIONES SOBRE EL CONCEPTO DE BIOPELÍCULA

3.2.1. – Concepto

Las biopelículas son conjuntos de microorganismos que están dispuestos en forma de capas en los que sus polímeros extracelulares hacen la unión (Characklis and Wilderer,1989). Hay procesos biológicos donde los microorganismos se fijan en la superficie de un material o medio o soporte, y estos crean una capa con alto contenido en agua y una gran concentración de biomasa que recubren el soporte y que se denomina " Biopelícula fija". Se puede considerar como agrupaciones de células simples o microcolonias embebidas en una matriz polimérica de origen microbiano, formada sobre un sustrato (Zhang and Bishop,1994), las cuales les permiten realizar sus funciones vitales de forma más selectiva y permitiéndoles a la vez captar una mayor concentración de nutrientes.

La característica principal de esta asociación de células consiste en que estos microorganismos están unidos a la superficie de un sólido que actúa de soporte.

Las películas biológicas, que son células inmovilizadas, tienen un interés cada vez más importante en procesos utilizados en el control de la contaminación, tales como filtros percoladores, lechos inundados, lechos fluidificados, contactores biológicos rotativos, etc. Estos procesos de biopelícula son simples, fiables y estables debido a que esa inmovilización natural permite una retención y acumulación de biomasa excelente, sin necesidad de otros sistemas de separación de sólidos (Rittmannan and McCarty, 2001).

Fig. 3.1.- Esquema de las funciones vitales de una biopelícula fija a una superficie. (Zhang and Bishop,1994)

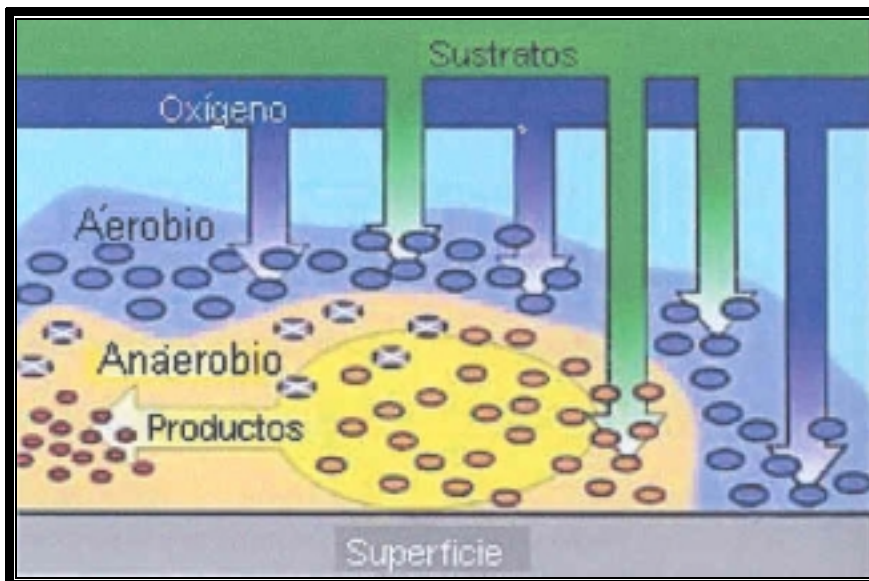
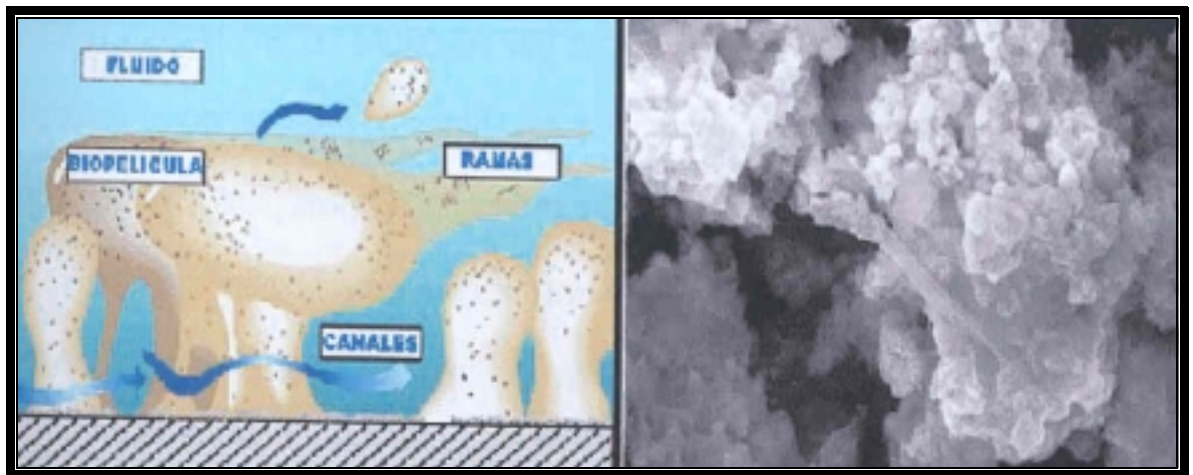


Fig. 3.2.- Esquema de una biopelícula y ésta vista mediante microscopía electrónica de barrido de superficie (Lewandowsky et al.;1995)



3.2.2. – Características físico-químicas y microbiológicas

Existen varias hipótesis que intentan explicar la estructura de las biopelículas:

- Para algunos autores como Bishop (1996), se considera como sistemas estratificados que crecen de forma perpendicular al soporte y en donde habría una transferencia de masas desde la capa superficial a la capa interna.
- Lewandowsky et al. (1995), las consideran sistemas tridimensionales donde existen estructuras heterogéneas, con canales que están llenos de agua y por donde circulan los nutrientes.
- Winmpennng y Calasauti (1997), indican que además de los otros modelos existe otro que es las de biopelículas densas. En función de la

concentración de nutrientes la estructura de la biopelícula será más o menos densa.

El crecimiento de toda la biopelícula será el resultado de la transferencia de masas y su posterior transformación por parte de los componentes de la biopelícula. Los nutrientes circularán a través de ella de dos modos, uno sobre los canales o las capas superficiales mediante difusión o convección y en las capas interiores o celulares mediante fenómenos de transportes de masas (Beer and Stoodley, 1995).

Respecto a la composición química de las biopelículas lo primero que hay que destacar es que son sistemas muy hidratados, que facilitarán a la postre la transferencia de nutrientes. La biopelícula está compuesta por microorganismos, sustancias poliméricas extracelulares (EPS), cationes multivalentes, partículas orgánicas, inorgánicas en estado coloidal o disuelto. El principal responsable de la integridad funcional y estructural de la biopelícula es el EPS, que está constituido por biopolímeros, polisacáridos, proteínas y de otras macromoléculas como DNA, lípidos y sustancias húmicas (Nielsen et al., 1997).

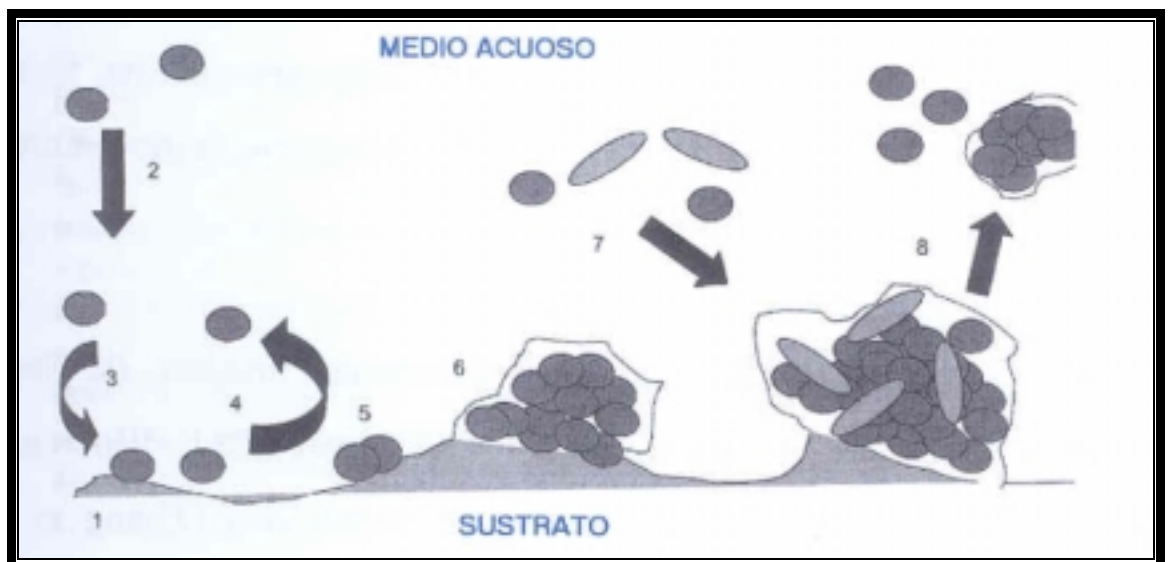
La composición de los EPS determina la mayor parte de las propiedades más importantes de la biopelícula, como densidad, porosidad, difusividad, resistencia a la fricción, conductividad térmica y actividad metabólica (Zhang et al., 1999).

En cuanto a la composición bacteriana, va a responder a la capacidad de los grupos bacterianos a adaptarse a las condiciones del medio donde se desarrollan las biopelículas. Independientemente éstas no solamente van a estar compuestas por bacterias, sino que microorganismos como protozoos, hongos, rotíferos, nematodos, anélidos e insectos, pueden formar parte de ellas (Bitton, 1994).

3.2.3. – Formación de la biopelícula

Se pueden diferenciar los siguientes pasos o etapas (Figura 3.3) en el proceso de colonización y formación de una biopelícula (Charackis, 1989; Allison et al., 2000; Steven et al., 2000; Stephens, 2002):

Fig. 3.3.- Etapas en la formación de una biopelícula.



1. Acondicionamiento del medio soporte al adsorberse moléculas orgánicas sobre su superficie.
2. Las células pasan desde el líquido hasta el medio soporte acondicionado, principalmente controlada por interacciones electrostáticas.
3. La adsorción puede ser reversible.
4. Se puede un desprendimiento o deserción.

5. Para un tiempo de adsorción suficiente , ésta puede ser irreversible.
6. Las células producen EPS, formando una matriz polisacárida que se extiende desde la superficie de las bacterias “anclando” a estas en la superficie soporte. Las células adsorbidas crecen a expensas del sustrato y del agua incrementando el número de células en la biopelícula. A su vez, se pueden también producir cantidades significativas de productos excretando algunos de ellos y constituyendo parte de la biopelícula.
7. De esta forma, se produce la adhesión de las células microbianas y otros organismos, así como material particulado a la biopelícula.
8. En el transcurso de la formación y estabilización parte o porciones de la biopelícula se separan y vuelven al agua. Esta separación puede ser debida al esfuerzo cortante producido por el movimiento del agua, a la acción mecánica de otras partículas que chocan contra la biopelícula y al desprendimiento de las capas debido a la pérdida de adherencia de la biopelícula y al aumento en espesor por el crecimiento de ésta.

En el crecimiento de la biopelícula se crea una estratificación en los grupos fisiológicos, debido fundamentalmente a la limitación de la transferencia de oxígeno. Conforme crece la biopelícula el oxígeno desaparece del interior produciéndose fenómenos anaerobios. Se forman gases en su interior (CH_4 , SH_2 , y otros gases), de manera que provocan desprendimientos masivos de biopelícula, sobre todo aquella que está inactiva, y así se produce una regeneración continua de la biopelícula.

3.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS

Los procesos biológicos en depuración de aguas residuales tanto domésticas como industriales consisten en la eliminación de la contaminación que contiene el agua, fruto del uso de ésta en procesos industriales y aprovechamientos domiciliarios, mediante organismos vivos (principalmente microorganismos). Las reacciones y procesos tienen lugar en el Reactor Biológico, donde se intenta mantener unas condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de los organismos más idóneos para alcanzar un objetivo de eliminación de contaminación predefinido.

En los procesos donde se suministra oxígeno se denominan procesos aerobios; en caso contrario, el proceso es facultativo o anaerobio.

Se desarrolla la biomasa al consumirse el sustrato y los nutrientes necesarios (principalmente Nitrógeno y Fósforo) para el desarrollo de los microorganismos responsables de la eliminación de la contaminación.

Existen dos métodos básicos para mantener la biomasa en el reactor. Si los microorganismos se encuentran **en suspensión** en el seno del agua, se necesita, por lo general, una recirculación de una parte de éstos tras su separación del efluente tratado. El otro método es mantener la biomasa **fija o adherida a un medio material o soporte**, que debe ser resistente a la abrasión, donde quedará retenida en el reactor, y se usa en los procesos denominados de cultivo fijo, película fija o biopelícula.

Por tanto, en un lecho inundado se dan dos funciones:

- Retención de Sólidos en suspensión.

- Fijación y crecimiento de la biomasa, que se encarga de la eliminación de la contaminación soluble y disuelta.

En el caso de tratamiento de efluentes domésticos los lechos inundados van precedidos siempre por un tratamiento primario, el cual reduce la concentración de Sólidos en Suspensión. En el caso de efluentes industriales y debido a la poca disponibilidad de espacio en las instalaciones fabriles se va a recoger el agua de la salida de los decantadores lamelares primarios o como en el caso que se va a investigar a la salida del proceso D.A.F. (Flotación por aire disuelto) previamente tamizada con un tamiz rotativo de luz de malla de 1,5 mm.

En esta Tesis se estudia el uso como material de relleno en el Reactor Biológico, arcilla expandida para tratar efluentes industriales procedentes de la industria de zumos cítricos.

Existen pocas referencias en la comunidad científica de aplicación de esta tecnología de lechos inundados en la depuración de efluentes industriales, que serán descritas posteriormente. En el barrido bibliográfico se presentarán los resultados encontrados al respecto.

A lo largo de la operación de un lecho inundado, éste se va colmatando por efecto, de una parte, de los sólidos retenidos, y de otra, del crecimiento de la biomasa, con la consiguiente ocupación de los espacios libres, y pudiendo provocar fenómenos de anaerobiosis, y aumento de la pérdida de carga con el tiempo en el reactor. Por ello, es necesario el lavado de los filtros regularmente.

El tiempo transcurrido entre dos lavados (denominado carrera de lavado), suele oscilar entre 20 y 48 horas, en función de la contaminación y caudal del agua de entrada. El ciclo de lavado se compone de las siguientes fases:

- 1.- Esponjamiento, sólo con aire.
- 2.- Fase de lavado propiamente dicha, con agua y aire.
- 3.- Fase de aclarado, con agua.

Tanto el aire como el agua de lavado se introducen, por la parte inferior del lecho. El agua de lavado se toma de una cuba o depósito que almacena una fracción del efluente depurado.

El agua procedente de los lavados contiene gran cantidad de fangos biológicos retenidos por el filtro durante su funcionamiento, por lo que se recircula al tratamiento primario o a una decantación habilitada a tal efecto; de este modo, este agua se reincorpora a la línea de agua.

En los lechos inundados aireados se puede hacer circular el agua en sentido ascendente o descendente dando lugar a dos tipologías de flujo que se presentadas a continuación:

Flujo contra-corriente

La corriente del agua residual es descendente y la del aire de proceso es ascendente. Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- Se mejora la transferencia de oxígeno debido a que el aire fluye en sentido opuesto al agua. Entre otros efectos, ocurre que atraviesa primero la zona con menor densidad de biopelícula. De este modo, se aprovecha mejor toda la longitud del reactor.
- .El agua tratada se recoge en la parte inferior. De este modo, las boquillas situadas en esta zona, corren menor peligro de atascamiento.
- El grueso de fangos retenidos se encuentra en la zona superior del reactor. Al ejecutarse los lavados, el fango se localiza muy próximo a los conductos o vertederos cuyo fin es evacuarlos.

Una patente con flujo contracorriente es el Biocarbón de la empresa O.T.V.

Flujo co-corriente

El agua residual y el aire de proceso se introducen en sentido ascendente. Las patentes más conocidas que incorporan este tipo de flujo son Biostyr de O. T. V. o Biofor de Degrémont.

Algunas de las experiencias consultadas, reflejan que:

- En el caso de flujo de agua ascendente, las boquillas situadas en la parte inferior soportan el paso de un agua tremendamente contaminada, con lo que el riesgo de atascamiento es mayor.
- Si el flujo es ascendente, la mayoría de fangos ha de atravesar el material soporte en casi toda su extensión antes de ser retirados, durante un lavado.

3.4.- EVOLUCIÓN DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS

Los tratamientos biológicos convencionales de aguas residuales (como los fangos activados), son muy utilizados con buenos resultados en cuanto a su funcionamiento, pero a parte de las desventajas mencionadas con anterioridad, requieren elevadas superficies de implantación, y por ello se ha investigado en otros sistemas que no tengan estos condicionantes y, entre ellos, principalmente, los lechos inundados.

En la década de los años setenta, algunos autores hacen públicas sus investigaciones, donde desarrollaban procesos de tratamiento más compactos, y que eran tan equiparables en cuanto a eficiencia como los fangos activados (Bebin et al., 1975; Blanc, 1975; Grasmick et al., 1979; Leglise, 1980).

El resultado de este trabajo, fue la propuesta de un nuevo proceso, que derivó de la tecnología de filtros de agua potable, y que se denominó Filtros Biológicos Inundados. Hamoda y Abd-El-Bary (1987) llevaron a cabo un exhaustivo estudio de la cinética del proceso. Choi y Burkhead (1982) estudiaron las características hidráulicas para patentes de reactores de biopelícula aireados, cuyo soporte era un material prefabricado, para mejorar los sistemas de fangos activados existentes.

Las primeras pruebas en filtros de película fija a un soporte se dieron al intentar optimizar la eficiencia del funcionamiento de los procesos de fangos activados mediante la introducción de un medio de soporte plástico en los reactores aerobios, resultando un proceso combinado de crecimiento de película fija y suspendida.

Sin embargo, la escasa área activa disponible del material soporte, se tradujo en bajos niveles de rendimientos de eliminación de contaminación e indujo a desarrollar de lechos inundados, con soportes granulares con un diámetro de partícula comprendido entre 1 y 6 mm de diámetro, aumentando de esta forma la superficie de contacto.

En la década de los años noventa se realizan estudios más profundos de los distintos sistemas biopelícula.

Siendo este tipo de procesos de biopelícula, ya aplicados en todo el mundo, conviene seguir investigándolos, pues el dimensionamiento de los lechos inundados está basado prácticamente siempre en conceptos empíricos y pruebas a escala piloto.

El interés suscitado por este tipo de filtros permanece en la actualidad, y encontramos referencias recientes que así lo atestiguan, como las experiencias registradas por “Veolia Water “ y “Suez-Ondeo” (cabe destacar las estaciones depuradoras urbanas de Mónaco, 1990, Marlton, NJ, 1997, Roanoke, VA, 1998, Breckenridge, CO, 1998, y los estudios en Neptune, NJ, 2003 y Binghamton, NY en el año 2004, y destacando a nivel industrial la planta para “Gregory Power Partners“, en Gregory, TX, ejecutada en el año 2000) o las de Canadá a raíz de las nuevas exigencias establecidas en su normativa en 1993 (Kanlardjieff; Jones, 1997).

Prácticamente la mayoría de las estaciones depuradoras de aguas residuales con tecnología de lechos inundados se localizan en zonas urbanas densamente pobladas o turísticas. Las primeras referencias industriales tuvieron lugar en los comienzos de los años ochenta (Partos et. Al., 1985; Sibony, 1983; Hirose, 1982).

En España, la implantación de este tipo de plantas es escasa tanto en el campo municipal como en el sector industrial. La investigación en este campo, en nuestro país, se inició en la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de Granada en el año 1.989. El grupo MITA (Microbiología y Técnicas Ambientales. Universidad de Granada) ha investigado este sistema en la depuración de aguas residuales farmacéuticas (DSM-Deretil) en Almería, depuración de aguas con concentraciones altas de metales pesados procedentes de los vertido tóxicos de Aznalcóllar (Huelva) y depuración de aguas de lavado de aceituna en almazaras. Este trabajo supone un paso más en la investigación del grupo MITA, esta vez con la particularidad del uso de efluentes industriales altamente biodegradables.

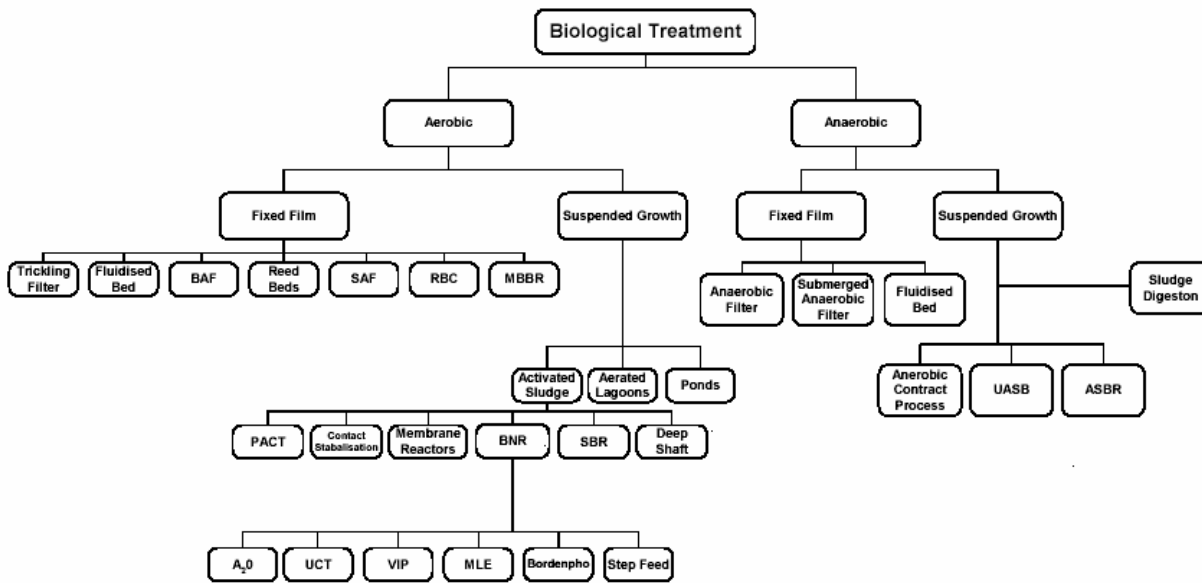
De las Estaciones Depuradoras que disponen de este sistema en España las más destacables son las del Puerto de Santa María, Ibiza, Santa Cruz de Tenerife, Almoradí (Alicante), Benalmádena (en ejecución) y en proyecto la zona turística-costera de Barbate (Cádiz).

3.5.- ESTADO ACTUAL DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS AVANZADOS

En el cuadro que se muestra a continuación, se muestra un resumen del panorama de los principales procesos biológicos clásicos y avanzados, tanto anaerobios como los aeróbicos, estando algunos de ellos en fase experimental y con la característica que prácticamente todos ellos son procesos de alto rendimiento, aptos, en esencia, para tratamientos en núcleos de población significativa, industriales de alta carga o en aquellas situaciones en las que sean necesarios efluentes de muy buena calidad.

Cuadro 3.1.- Clasificación de los procesos biológicos (Steve Couper-Harrison Grierson Consultants Limited. 2004).

Biological Treatment Process



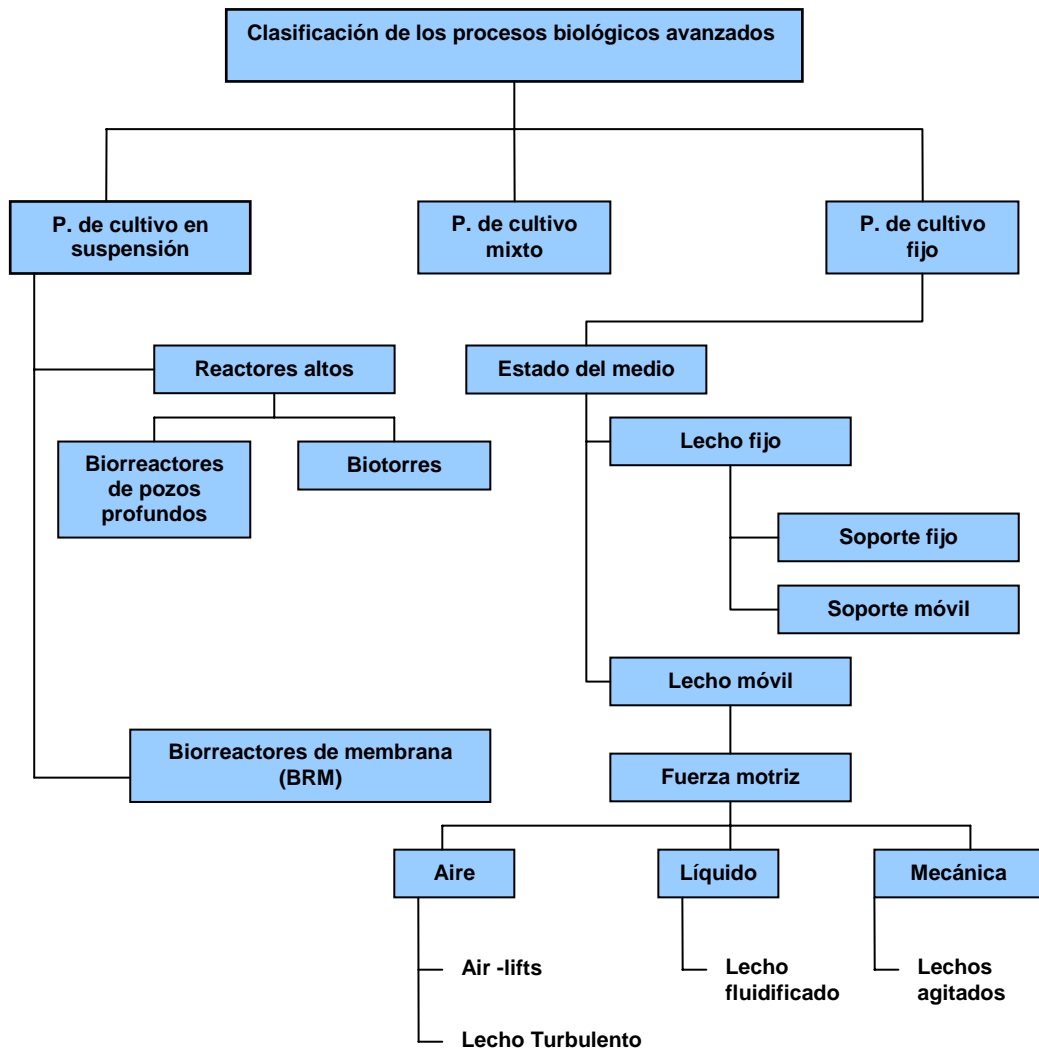
Tal y como queda reflejado en el cuadro anterior los procesos biológicos aerobios se pueden clasificar en función de si el cultivo bacteriano está en suspensión o fijo. En los procesos aerobios de biopelícula dentro de los cuales se engloba la tecnología que se va a investigar las primeras investigaciones se realizaron en el campo de los RBC (Contactores Biológicos Rotativos), los cuales engloban, principalmente, a Biodiscos y Biocilindros. Ambos procesos tienen lugar con inundación intermitente.

Existe amplias experiencias en el funcionamiento de lechos bacterianos, en los que el medio no está saturado, sino que el agua percola a través del material de relleno.

Los principales avances alcanzados, se centran en el control de la mezcla o separación de fases en los reactores y en la mayor efectividad posible en la transferencia de oxígeno.

En el cuadro que se muestra a continuación se clasifican los procesos biológicos avanzados en función del estado de la biomasa.

Cuadro 3.2.- Clasificación de los procesos biológicos avanzados en función del estado de la biomasa (V. Lazarova y J. Manem; 1994).



Procesos de cultivo en suspensión

Corresponde este grupo de procesos a los tradicionales de fangos activados. Las desventajas apuntadas a lo largo de su amplia trayectoria de operación, han obligado a una actualización de estos procesos, aplicando mejoras como el uso de

reactores más compactos diseñados aplicando los principios básicos de incremento de la altura de los reactores y asegurar la retención de la biomasa con una membrana. Se mejoran muchos aspectos negativos de los sistemas de fangos activados, pero conllevan el inconveniente de sus alto costes, y especialmente los costes de reposición de membranas y de operación (membranas de microfiltración y ultrafiltración).

Procesos de cultivo fijo

Según el estado del medio material soporte, puede aceptarse la siguiente división, dentro de estos procesos avanzados:

- Lechos fijos, con el medio material sumergido (lechos inundados).
- Lechos móviles, en los que el medio se mantiene constantemente en movimiento mediante la aplicación de una fuerza motriz, que puede ser transmitida a través de un líquido, aire o una turbulencia de origen mecánico.

Los **reactores de lecho fijo**, son aquellos en los que el medio material soporte es pesado (materiales de relleno porosos con densidad superior al agua y diámetro de partícula entre 2 y 6 mm. Este tipo de lechos es el utilizado en esta investigación, por lo que se remite a la introducción, donde se describieron ampliamente sus ventajas de operación.

Los costes de primera instalación son mayores que los de una planta convencional de fangos activos, excluyendo como es lógico los costes de terreno. El consumo de energía es equiparable al de los fangos activados.

Los **reactores de lecho flotante** son inundados, con un medio granular de baja densidad (de 0,03 a 0,9 gr/cm³).

Los **birreactores de lecho móvil** al mantener el medio material en continuo movimiento presentan las siguientes ventajas:

- Acelera las reacciones bioquímicas por incremento del área de transferencia biopelícula/líquido.
- Reduce las limitaciones de difusión de la biopelícula.
- Usa materiales granulares muy finos (0,2-2 mm) o muy porosos (plásticos) para incrementar la superficie específica disponible para el crecimiento bacteriano.

Las ventajas que se derivan son:

- Alta eficiencia en eliminación de carbono con bajos tiempos de retención.
- No existen problemas de colmatación.
- Mejor transferencia de oxígeno.
- Reducida producción de fangos.

En los lechos móviles el medio soporte se eleva por la acción de una fuerza motriz, con lo que el agua se separa del medio mediante una criba, que arrastra los fangos biológicos producidos. El lavado y en consecuencia la filtración se producen continuamente. La pérdida de carga que resulta, pues, no es progresiva y por ello no

es necesario realizar una parada para efectuar lavados. Los **birreactores de lecho fluidificado** se caracterizan por una expansión homogénea del medio.

Suelen indicarse para:

- Tratamiento aeróbico o anóxico de agua industrial con bajos niveles de contaminación orgánica.
- Tratamientos terciarios.
- Tratamiento de efluentes de industrias alimentarias.

Además de la dificultad de las limitaciones constructivas de llevarlos a escala real industrial, los costes de construcción y explotación son superiores a los tratamientos convencionales.

Los **lechos fluidificados de tres fases** inyectan simultáneamente gas y líquido, con lo que intentan solventar los problemas causados por la inyección exclusiva de aire (principalmente, el elevado coste de explotación). Existen lechos de este tipo con densidad del medio superior e inferior a 1 y con fuerza motriz para la fluidificación gaseosa o líquida.

Los resultados sobre este tipo de lecho presentan problemas en el control de la expansión y la distribución homogénea del flujo. El consumo de energía presenta los mismos ratios (Kw/m^3 tratado) que los fangos activados. La principal desventaja de estos procesos es la gran dificultad técnica para, simultáneamente, producir fluidificación e inyección con aire (con los problemas asociados de burbujas de aire, turbulencia del lecho, etc.).

Los **lechos turbulentos** son reactores de tipo columna con el lecho agitado por la alta velocidad a la que se insufla el aire. La densidad del material ha de ser similar a la del agua (muy baja) para así compensar la gran cantidad de energía necesaria para crear y mantener una alta turbulencia del lecho.

La alta presión mantiene la biopelícula muy fina y activa. Estos reactores actúan, en consecuencia, como reactores de cultivo mixto, en donde el 25-35 % de la biomasa total se encuentra suspendida. Todas las propiedades hidrodinámicas y de transferencia mejoran con este sistema.

Los **lechos agitados** (Stirred beds) son reactores de lecho móvil en los que el medio se mantiene en movimiento por agitación mecánica y/o moderada aireación.

El material más usado son los cubos de poliuretano. Presenta una alta superficie para el crecimiento bacteriano debido por su gran porosidad, pero sólo el 20-40 % del área teórica es realmente usada. Presentan la dificultad de mantener los cubos porosos en movimiento y prevenir su flotación.

3.6.- EXPERIENCIAS RECOPIADAS EN DISTINTAS REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el Anejo II, se encontrarán la mayoría de los documentos recopilados en la fase de Investigación Bibliográfica. En dicho Anejo se explica el procedimiento seguido para su localización, así como la fuente de cada referencia.

A continuación, se tratan una serie de aspectos sobre la depuración de aguas residuales, mediante filtros biológicos aireados, que pretenden sintetizar todo el proceso; se aportan los valores de parámetros y variables utilizados y obtenidos en las distintas investigaciones encontradas en el Barrido Bibliográfico.

Primeramente, se analizan, diversas patentes y estudios experimentales referidos a la biofiltración, mostrándose un cuadro-resumen de los distintos tipos existentes de procesos, reactores y patentes más prestigiosas en la comunidad científica internacional.

Para mayor comprensión de las páginas venideras, se remite, si es necesario, al apartado siguiente de este capítulo, donde se describe, con más detalle, las principales patentes y los estudios experimentales más señalados.

3.6.1. – Cargas de trabajo

Como cargas de trabajo, se quiere significar todos aquellos parámetros y variables que permiten caracterizar el influente tratado por el filtro biológico, tanto cuantitativamente como cualitativamente. Se incluyen, por tanto, entre ellas, a las siguientes:

- C_h , Carga hidráulica (m/h).
- $C_{vol.DBO_5}$, Carga volumétrica de DBO_5 (Kg $DBO_5/m^3/día$).
- $C_{vol.DQO}$, Carga volumétrica de DQO (Kg DQO/ $m^3/día$).
- $C_{vol.SS}$, Carga volumétrica de SS (Kg SS/ $m^3/día$).
- $C_{vol.NH_4^+}$, Carga volumétrica de NH_4^+ (Kg $NH_4^+/m^3/día$).

En la bibliografía existente, el orden de magnitud de estos valores es muy diverso y, especialmente, dependiendo del objetivo del filtro biológico, de la Planta Piloto o Estación Depuradora objeto del estudio.

Cuadro 3.3.- Procesos biopelícula de lecho fijo a escala industrial (V. Lazarova y J. Manem; 1994).

Proceso y tipo de reactor							Aplicación	C _{vól.} (Kg./m ³ /día)
Tipo	Proceso	Patentador	País	Aireación	Flujo	Medio Soporte		
Lecho Fijo con medio denso	BIOFOR NITRAZUR FLOPAC OXYAZUR	Degrémont	Francia	aire/O ₂ aire/O ₂ aire O ₂	FA FD	Biolite, 2-5 mm Biolite, 2-5 mm (esquisto. expand.)	AU, AI, TT TT, NF-AP AU, AI, TT AU, AI, TT	5-10(DQO);0,5-1,5(N _{am}) 1-1,3 (N-NH ₄ ⁺) 5-15 (DQO) 5-18 (DQO)
	BIOCARBONE	OTV	Francia	aire/O ₂	FD	Biodamine, 2-5 mm	AU, AI, TT	5-10 (DQO)
	Lavado continuo	SOGEA	Francia	no	FA	Arena	DNF	3-5 (N-NO ₃)
	Lavado continuo		USA	no	FA	Arena	DNF	2,7 (N-NO ₃)
Lecho Fijo Flotante	FILTRAZUR	Degrémont	Francia	no	FA	PS expand., 1-2 mm	Filtración	2,8 Kg. SS/m ²
	BIOSTYR	OTV	Francia	aire	FA	PS expand., 1-2 mm	AU,TT,DNF-NF	0,5-1,5 (N-NH ₄ ⁺)
	DENIPOR	Preussag AG	Alemania	no	FA/FD	PS expand., 2-3 mm	DNF	1,5-5,3 (N-NO ₃)
	Biofiltro		Antigua URSS	no	FD	PS expandido	AU, AI, TT	
	INSAT-lab	SAUR, IDE	Francia	no	FD	PE, 3-6 mm	AU, AI, TT	5-14,5 (DQO)

AU=Agua Urbana; AI=Agua Industrial; AP=Agua Potable; TT=Tratamiento Terciario; NF=Nitrificación; DNF=Desnitrificación; PS=Poliestireno; FA= Flujo Ascendente; FD= Flujo Descendente; PE= Polietileno

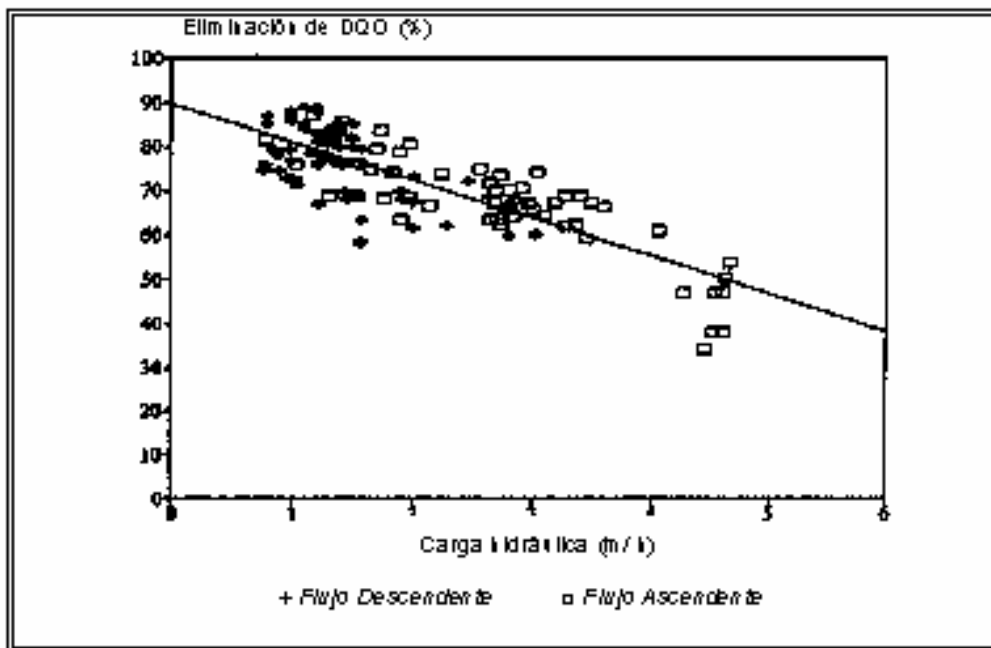
Cuadro 3.4.- Procesos biopelícula de lecho móvil a escala industrial (V. Lazarova y J. Manem; 1994).

Proceso y tipo de reactor					Aplicación	C _{vol.} (Kg./m ³ /día)
Tipo	Proceso	Patentador	País	Medio Soporte		
Lecho Fluidificado aeróbico de 2 fases	OXITRON REX	Ecolotrol/ Dorr - Oliver Envirex / Ecolotrol	USA, GB	Arena, Carbón Activo	AU, AI, NF	0,6-1,3 (N-NH ₄ ⁺) 0,6-0,72(DBO); 1(N _{amn}) 1 (N-NH ₄ ⁺)
			USA	Arena, 0,4-0,6 mm	NF	
Lecho Fluidificado de 3 fases		Univ. Montpellier INSA - Toulouse	Japón Francia Francia	Antracita, 0,8 mm Arcilla, plásticos 2-7 mm	NF AU, AI, NF AU, AI, NF	24 (DQO) 6,4-15,5 (DQO)
Lecho Fluidificado inverso			Francia USA Bulgaria	PE, 2-5 mm Plástico Poliestireno expandido	AU, NF, DNF AU, DNF	12-35 (DQO)
Air - Lifts			Holanda Alemania	Basalto, 0,2 mm Arena, 0,2 mm	NF NF	1,5-5 (N-NH ₄ ⁺) 4,2 (N-NH ₄ ⁺)
Lecho turbulento			Noruega Francia	Plástico Cristales de Poliestireno	AI AU, TT	0,5-0,9 (DQO) 0,2-1 (N-NH ₄ ⁺)
Lecho agitado	LINPOR CAPTOR	Linde AG Simon - Hart, Ltd.	Alemania Alemania Noruega	Cubos de poliuretano Cubos de PET Patente, 2-4 mm	AU, AI AU, AI AI	2-4 (DBO); 0,36 (N-NH ₄ ⁺) 1,4-4 (DBO) 15-20 (DQO)

AU=Agua Urbana; AI=Agua Industrial; AP=Agua Potable; TT=Tratamiento Terciario; NF=Nitrificación;
DNF=Desnitrificación; PET=Polietilentereftalato.

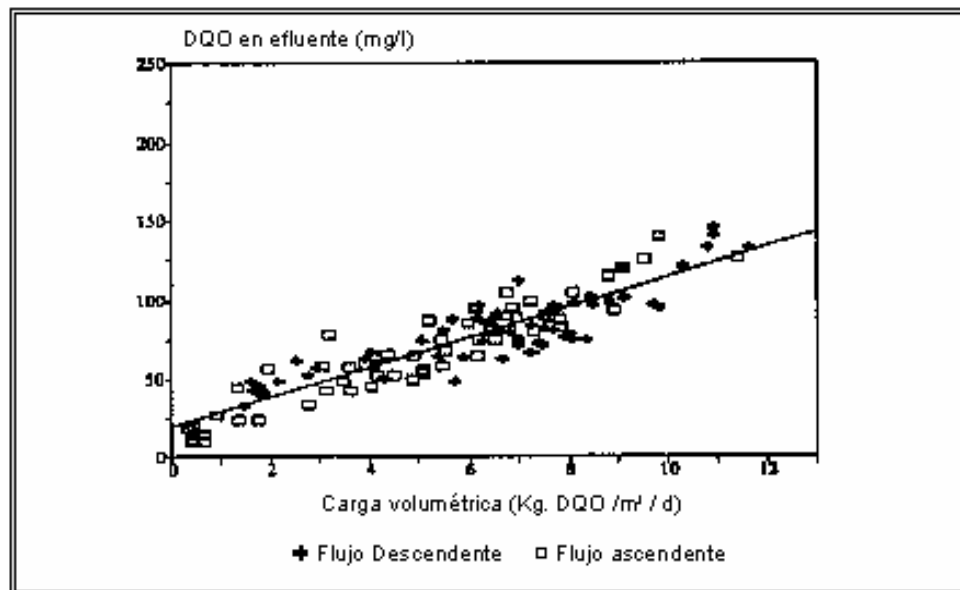
Los resultados que presentan J.P. Canler y J.M. Perret (CEMAGREF, Francia, 1994), experimentando en el rango de carga hidráulica de 0,8 a 4,6 m/h, nos muestran el descenso de rendimientos que se producen al aumentar la carga hidráulica de entrada.

Fig. 3.4.- Porcentaje de eliminación de DQO en filtro biológico aireado en función de la carga hidráulica (J.P. Canler y J.M. Perret; 1994).



En lo que respecta al agua de entrada, se aplicaron cargas comprendidas entre 3,5-11,9 Kg DQO/m³/día, pero los resultados mostraron que la limitación al proceso se producía en torno a 7 Kg DQO/m³/día. El objetivo que se marcaron fue la de lograr un efluente con 90 mg. DQO/l. Si el objetivo se establecía en 125 mg/l, la carga podía aumentarse hasta los 11-12 Kg DQO/m³/día.

Fig. 3.5.- Cambios en la concentración de DQO del efluente en filtro biológico aireado en función de la carga en DQO volumétrica aplicada (J.P. Canler y J. M. Perret; 1994).



En cuanto a los Sólidos en Suspensión, una carga de 3,2 Kg SS/m³/día, proporcionaba efluentes con un máximo de 30 mg/l.

A. Pujol et. Al. (CEMAGREF, Francia, 1992), llegaron a conclusiones similares a las anteriores. En este caso, se establecen 6 Kg DQO/m³/día como limitación al proceso de eliminación de materia orgánica, y llegaron a la conclusión que para cargas hidráulicas comprendidas entre 1-4 m/h no influyen en exceso en los niveles de depuración en el efluente.

Las investigaciones llevadas a cabo por la empresa Degrémont-ONDEO, en 1994, experimentando su patente BIOFOR, de flujo ascendente, concluyeron que el rango de cargas hidráulicas aplicables se podía ampliar hasta 6 m/h y las limitaciones del proceso de eliminación de materia carbonada no aparecían hasta superar una

carga de aplicación de 10 Kg DQO/m³/día. En el caso de pretenderse la nitrificación, en condiciones normales de operación, se alcanzaba una eliminación del orden del 80 al 90 % del nitrógeno amoniacal para cargas de aplicación de 1,4 Kg NH₄⁺/m³/día.

La carga hidráulica admitía un valor de 10 m/h, si el objetivo del proceso era la nitrificación, aunque fuese en detrimento de rendimientos más eficientes en la eliminación de materia carbonada.

Las investigaciones realizadas por la compañía francesa O.T.V. (del grupo Veolia Water) concluyeron en el desarrollo de modelos de filtro biológico para depuración de aguas residuales, siendo los más conocidos las patentes de BIOSTYR y BIOCARBONE.

Como tratamiento secundario, el sistema presentaba disminuciones importantes en el rendimiento de eliminación de materia orgánica para una carga aplicada de 7-8 Kg DQO/m³/día, mientras que como tratamiento terciario para nitrificar, 0,5-0,6 Kg NH₄⁺/m³/día era el rango para el que las curvas de rendimientos iniciaban una pronunciada disminución.

El BIOSTYR, de flujo ascendente permitía tratar cargas más próximas a 2 Kg NH₄⁺/m³/día, pero no son significativos los datos referentes a eliminación de materia carbonada en esta patente, pues está especialmente diseñada para tratamientos terciarios.

Las prestigiosas Instituciones de la Environmental Protection Agency (Estados Unidos), Water Research Council (Gran Bretaña) y la Japan Sewerage and WA

(Japón) afirman que la carga de entrada en Kg DBO₅/m³/día, para lograr un efluente conteniendo menos de 20 mg. DBO₅/l, es de 3, 4 y 4,1, respectivamente.

3.6.2.- Rendimientos y niveles de depuración de salida

Sobre resultados, rendimientos y valores de salida de los distintos parámetros, ya se había señalado algo en el subapartado anterior. Se pretende en el actual ampliar lo esbozado con anteriormente.

En los estudios de J.P. Canler y J.M. Perret (CEMAGREF, Francia, 1994), se estudió el control sobre una serie de plantas de tratamiento. Los objetivos establecidos según datos de proyecto fueron los siguientes:

Cuadro 3.5.- Rendimientos a obtener según datos de proyecto de filtros biológicos aireados (J.P. Canler y J.M. Perret; 1994).

Rendimiento Medio (%)	Flujo descendente	Flujo ascendente
DQO	78,8	69,8
DBO ₅	88,6	79,6
SS totales	84,6	62
NTK	68	80

Se preveía un rendimiento de SS menor en el flujo ascendente, pues se suponía una mayor colmatación de las boquillas de entrada al reactor de este tipo de flujo.

A continuación, se recogen los resultados reales obtenidos:

Cuadro 3.6.- Resultados obtenidos en filtros biológicos aireados usados como tratamiento secundario (J.P. Canler y J.M. Perret; 1995).

Parámetros	Influyente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Rendimiento Medio (%)
DQO	255	72	67
DBO ₅	111	24	72
DQO/DBO ₅	2,3	3,0	-
SS Totales	71	17	71
NTK	55	41	27
NTK en tratamiento terciario	21	4	80

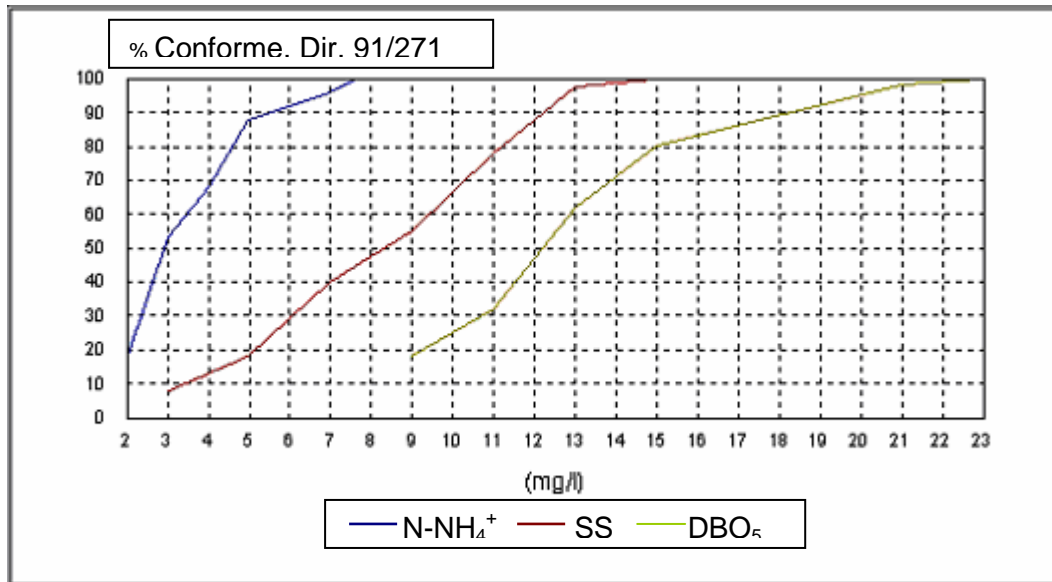
Los resultados obtenidos por Degrémont, en su planta a escala piloto de Ginebra (patente BIOFOR), éstos se presentan en el siguiente cuadro (todas las cifras son valores medios).

Cuadro 3.7.- Resultados obtenidos en filtros biológicos aireados usados en dos etapas, como tratamiento secundario aireado y terciario sin aireación (G. Carrand y C. Bonaf; Degrémont.1992).

Parámetros	Influente (mg /l)	Efluente 1° (mg /l)	Efluente 2° (mg /l)	Rendimiento global (%)
DBO ₅	124	25	14	89
DQO	293	59	34	86
SS totales	103	16	11	90
N-NH ₄ ⁺	13,9	11,2	2,5	82

O.T.V. (F. Rogalla et al., 1991) también desarrolló un estudio en planta piloto, con la patente BIOCARBONE, obteniendo los resultados siguientes:

Fig. 3.6.- Frecuencia acumulada de efluentes residuales con Biocarbón como tratamiento secundario (F. Rogalla y J. Sibony, 1992).



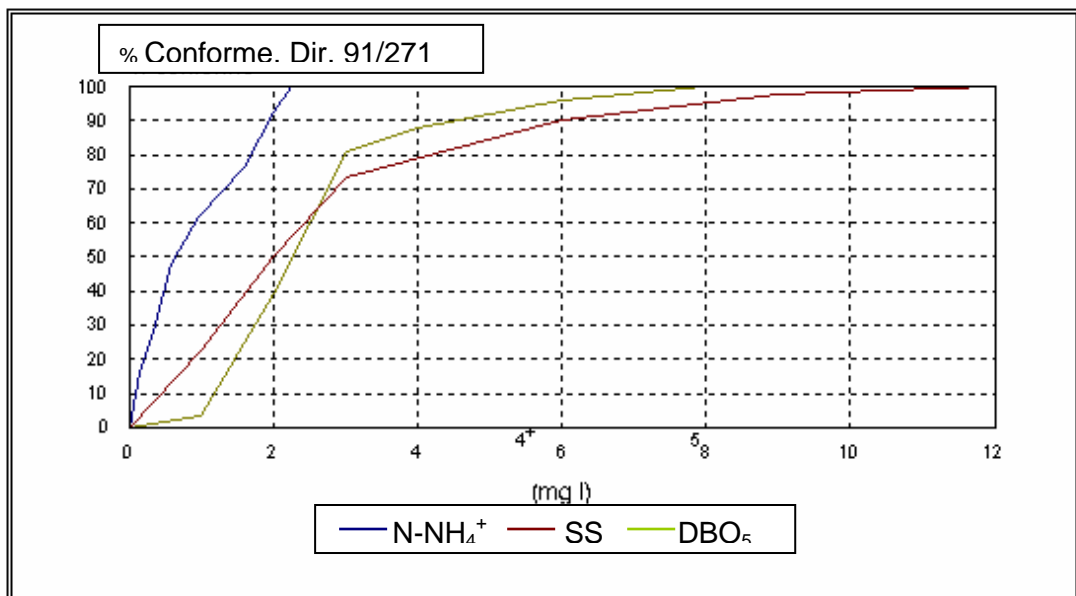
En el caso de un filtro “Biocarbón”, que fue utilizado en un tratamiento secundario, la alimentación de agua bruta a los lechos inundados se realizó desde la decantación primaria, con una concentración media en DQO de 300 mg/l. Las concentraciones de Nitrógeno Total en el influente fueron, como promedio, de 25 mg. N/l.

Los sólidos en el efluente, alcanzaron un valor medio inferior a 10 mg/l. El promedio, como muestran los gráficos, de amonio en el efluente, rondó los 2,5 mg/l, en tanto que las cargas de DQO estuvieron por encima de 5 Kg/m³/día.

Las cargas de entrada de nitrógeno se aproximaron a 0.5 Kg NTK/m³/día.

Los resultados obtenidos por Thames Water fueron muy parecidos, ya que se obtuvieron calidades de efluente con menos de 10 mg/l en DBO_5 y SS y menos de 5 mg/l para el N-NH_4^+ para una carga de $0,4 \text{ Kg N-NH}_4^+/\text{m}^3/\text{día}$.

Fig. 3.7.- Frecuencia acumulada de efluentes residuales con Biocarbón como tratamiento terciario (F. Rogalla y J. Sibony, 1992).



Usando un Filtro Biocarbón como tratamiento terciario nitrificante, los resultados son los presentados en la tabla anterior. La carga de trabajo fue de $0,6 \text{ Kg N-NH}_4^+/\text{m}^3/\text{día}$.

Los resultados obtenidos en la Estación Depuradora de Saint-Jean-D'illac (a escala real), con patente BIOSTYR de O.T.V, especialmente indicada para tratamientos terciarios son los del cuadro siguiente:

Cuadro 3.8.- Resultados obtenidos con Biostyr--tratamiento terciario (F. Rogalla y J. Sibony. 1991).

Parámetros	Influente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Rendimiento Medio (%)
DQO	732	65	91,1
DBO ₅	301	11	96,3
SS Totales	504	3,0	99,4
NH ₄ ⁺	53,9	7	98,7
NTK	67,6	4,87	92,8

En los trabajos de Belgiorno V, DE Feo G, (Department of Civil Engineering, University of Salerno, Fisciano, Italy. 2003), se estudió la eliminación de materia carbonatada y nitrificación en una planta a escala piloto en aguas residuales urbanas obteniéndose para unas cargas hidráulicas del rango de 1,6m/h unos rendimientos de eliminación de SST y DQO del 85% y del 83% respectivamente, a la vez que se obtenían simultáneamente unos resultados de nitrificación del 85% para cargas volumétricas de entrada 0,45 Kg. N-NH₄⁺/m³/día Kg.

En las investigaciones de Z. Melicz (Department of Sanitary and Environmental Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Hungary, 2003)

realizadas en la E.D.A.R “ South Budapest “con tecnología de fangos activados de alta carga con eliminación de nutrientes mediante la implantación de la patente BIOFOR, se estudió, durante 25 meses la nitrificación parcial que se producía en las cámaras óxicas del reactor biológico al retornar las aguas de lavado del filtro BIOFOR que contenían altas cantidades de biomasa nitrificante.

3.6.3.- Necesidades de aireación

Este aspecto es determinante cuando se habla en términos de costes y economía. Es por ello que debe considerarse siempre el factor aireación y, en muchos estudios se obvia referirse a él, con lo que la validez de éstos, como mínimo podrían ser discutibles o ponerse en, en tela de juicio.

No existe consenso generalizado sobre las unidades de medida del aire introducido, lo que dificulta la comparación entre diferentes estudios. En el siguiente cuadro, se presenta una recopilación de algunas referencias encontradas:

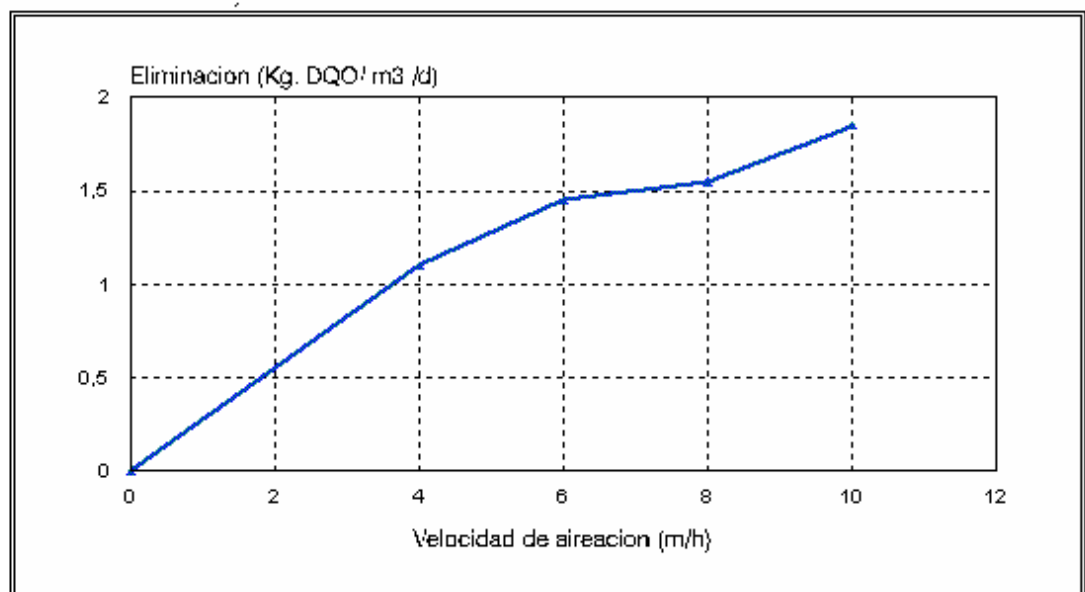
Cuadro 3.9.- Necesidades de aireación de proceso según distintas fuentes.

Fuente	Aire de proceso
EPA	0,5Kg O ₂ /Kg DBO ₅ elim
J.P. Canler y J.M. Perret	11,6 Kg O ₂ /Kg DQO _{elim} (Proyecto)
Flujo descendente con dos etapas	11 Kg O ₂ /Kg DQO _{elim} (Real)
J.P. Canler y J.M. Perret	5,7 Kg O ₂ /Kg DQO elim(Proyecto)
Flujo ascendente con una etapa	5,7 Kg O ₂ /Kg DQOelim (Real)
BIOCARBONE (Como Trat. 3º)	0,7-1,5 Kwh/Kg.DBO ₅ elim
	20 m/h
BIOSTYR (Trat. 3º)	20 m/h
BIOPUR(Como Trat. 3º)	15 m/h
G. Valentis y J. Lesavre	1,2 Nm ³ /h

En casi todos los estudios encontramos un parámetro coincidente, que son las necesidades calculadas de instalación, y corresponde a un valor dentro del intervalo de 1-1,4 Kwh/Kg DQO eliminada, en lo que respecta, exclusivamente, a la aireación de proceso. En los trabajos de estudio de la patente Biocarbón, se comprobó en las medidas efectuadas, que la transferencia de oxígeno alcanzó un rendimiento aproximadamente del 7-15 %.

Por último, se acompaña un gráfico de G. Ryhiner et al. (Sulzer, 1992), en el que se aprecia la influencia de la aireación en la eliminación de DQO en una serie de dos biofiltros en serie, donde sólo se airea el segundo, con intención de provocar nitrificación en este filtro:

Fig. 3.8.- Eliminación de DQO en función de la velocidad de aireación (G. Ryhiner et al., 1992).



3.6.4.- Necesidades del lavado

Se ha llevado el mismo proceso de recopilación bibliográfica con las necesidades del lavado que el llevado a cabo con el aire de proceso, presentándose el resultado en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.10.- Necesidades de aire y agua de lavado según distintas fuentes.

Fuente	Aire de lavado (m ³ /m ² /lavado)	Agua de lavado (m ³ /m ² /lavado)
J.P. Canler y J.M. Perret (Flujo descendente)	50	50
J.P. Canler y J.M. Perret (Flujo ascendente)	70	20
BIOFOR	-	9

La frecuencia de lavado coincide prácticamente en toda la bibliografía y se cifra en un lavado cada 24 horas. En función de la carga de trabajo puede llegar a ser necesario un lavado cada 12 horas o pueden llegar a espaciarse dos consecutivos hasta 48 horas.

En cuanto al volumen de agua de lavado, las necesidades se cifran en torno al volumen equivalente de 3 filtros por lavado(bed volum). Por supuesto las necesidades de volumen de agua de lavado variarán según el objetivo encomendado al biofiltro.

Así, podemos encontrar referencias contradictorias, pero si se analizan, se comprueba que no lo son. Para lavar un filtro Biocarbón, utilizado como tratamiento terciario, F. Rogalla y J. Sibony (O.T.V., 1992), concluyeron que las necesidades eran del 5 % del agua tratada.

Thames Water recomienda un 7 %, aproximadamente, del volumen diario total a tratar y J.P. Canler y J.M. Perret concluyen con un 20 % del caudal diario de agua bruta (es claro que, en este caso, se refiere a un tratamiento secundario).

Tras un lavado, y según la fuente anterior, el caudal horario puede verse incrementado en un 50 % al cabo de una o dos horas. Por otra parte, la velocidad o carga hidráulica consecuencia del lavado de un filtro aumenta en un 33 % si el número de filtros total es de 4, o un 50 % si éste es de 3.

Yoo, IK. y Kim, DJ. (Department of Chemical Engineering, University of Ulsan, Korea. 2001), estudiaron los efectos de las cargas hidráulicas del agua de lavado de un biofiltro en la calidad del efluente. El biofiltro estudiado durante cinco meses utilizó como relleno polipropileno expandido 3-5 mm de diámetro y en ese período de tiempo se obtuvieron eficiencias de eliminación del 77% y del 88% para DQO y SS respectivamente. La eliminación de la DQO_{soluble} , varió entre 5 y 60 mg/l, debido a la variación de la fracción biodegradable del agua residual influente. Los científicos anteriormente mencionados estudiaron en los lavados cíclicos del biofiltro cómo la concentración de SS mostraba incrementos inmediatamente después de producirse

los lavados a la vez que se verificaban los intervalos de tiempo que eran necesarios para mantener las concentraciones de SS deseables y perfectamente estabilizadas. Se ensayaron diferentes rangos de carga hidráulica y sus efectos en el sistema.

3.6.5.- Material de relleno

Los materiales de relleno, que sirven como soporte a la biomasa, suelen ser de naturaleza granular o material plástico poroso, si se trata de lechos flotantes. Se busca una elevada porosidad y superficie específica, lo que favorece la adhesión de mayor volumen de biopelícula y se intenta optimizar el tamaño de las partículas en el intervalo de 1-7 mm.

El BIOCARBONE utiliza un material pizarroso granular, con un tamaño medio de 2,5-3,5 mm, 1.450 m²/m³ de Superficie Específica y una porosidad de 0.40. El BIOSTYR usa poliestireno granular, con un tamaño medio de 3,0-3,5 mm, 1.050 m²/m³ de Superficie Específica y una porosidad de 0,39. El relleno de la patente BIOPUR consiste en unas láminas plásticas corrugadas, 240 m²/m³ de Superficie Específica y una porosidad de 89.

La patente BIOFOR rellena sus filtros con un medio que recibe el nombre de Biolite y está compuesto de un material arcilloso, con una densidad superior a la unidad, y una talla efectiva de 3 a 6 mm para un tratamiento secundario, o en torno a 1,2 mm si se pretende aplicar en un tratamiento terciario (en este caso se trata de una arena u otro material silicatado).

Ya no sólo en el campo del tratamiento de aguas residuales, sino haciéndolo extensible a otros campos de uso de los biofiltros, se han intentado optimizar distintos

tipos de relleno, como son: carbón activo, polietileno poroso, arena silíceo, arcilla expandida, puzolana, lava, plásticos porosos granulares o con distintas formas, etc. Las propiedades de estos distintos tipos de material difieren entre sí, y son las que han determinado su aplicación final.

La naturaleza y la porosidad del material son características esenciales del material, pero también influyen la carga eléctrica o la hidrofilia. No se debe olvidar tampoco el factor económico que supone el coste del material. Otras patentes basan su relleno en prefabricados (generalmente de origen plástico), cuya estructura se repite. Es el caso de los materiales denominados Linpor, Bionet y Ring-Lace, que vieron la luz ante la comunidad investigadora internacional por los trabajos de T. H. Lessel (Alemania, 1994).

Mencionar los trabajos de G. Valentis y J. Lesavre (Francia, 1992), que describieron con detalle los criterios para elegir el material del relleno, a la vez que realizaron experimentaciones en planta piloto con geotextil como medio soporte.

Destacables son los estudios realizados en la Universidad de Cranfield por T.D. Kent, C. S. B. Fitzpatrick and S. C. Williams (School of Water Sciences, Cranfield University, 1996) donde se compararon 6 diferentes materiales para su uso como relleno en un lecho inundado, y concluyeron que considerando los parámetros físicos como superficie específica, velocidad mínima de fluidificación y el desgaste la ARLITA era el material más adecuado. En esta misma Universidad, Moore R, Quarmby J y Stephenson T. (School of Water Sciences, 2001) estudiaron la influencia del tamaño del relleno del lecho inundado en los rendimientos de eliminación de diferentes parámetros, concluyendo que usando la arcilla expandida "StarLight" se obtenían

mejores resultados con el relleno de granulometría 1,5-3,5 mm que con el de 2,5-4,5 mm.

Estudios realizados por B. Gisvold, H. Ødegaard y M. Füllesdal (SINTEF Civil and Environmental Engineering, Water and Wastewater, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Norsk Leca, Box 216,N-0614 Oslo, Norway, 2000) mostraron el incremento de los rendimientos de eliminación de amonio mediante el uso de arcilla expandida como material de relleno (Filtralite ZL) mediante una combinación de procesos de nitrificación y adsorción.

Así mismo, hay que señalar las investigaciones realizadas por Farabegoli G, Carucci A, Gandolfo G, Rolle E, Viotti P.(Department of Geoengineering and Environmental Technologies, Faculty of Engineering, University of Cagliari. Italy, 2003) donde se evaluaron los rendimientos en una planta piloto BAF para la eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión con el fin de obtener un efluente de alta calidad. La primera parte de la investigación consistió en evaluar los cuatro tipos de relleno elegidos (vidrio, plástico, material puzolánico y arcilla expandida-ARLITA), sometiéndolos a diferentes pruebas mecánicas y biológicas, resultando que las esferas de plástico y la ARLITA fueron los materiales que mejor cumplían los requerimientos mecánicos y biológicos a que fueron sometidos.

También es interesante reseñar las investigaciones llevadas a cabo por Tian WH, Wen XH, Qiam Y(ESPC State Key Joint Laboratory, Department of Environment Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 2003, China), que ensayaron el uso de zeolita como relleno en lechos inundados, obteniéndose una eliminación

simultánea de materia carbonatada y amoniacal en aguas residuales urbanas, con rendimientos medios de eliminación del 73,9 % (DQO) y del 88,4 % (N-NH₄⁺). Anteriormente en el año 2003, estos científicos habían investigado el funcionamiento y los factores que influían en la operación de los mismos lechos para tratar aguas residuales urbanas diluidas y posteriormente ser reutilizadas en plantas energéticas en circuitos de refrigeración.

Los estudios realizados en la E.T.S.I.C.C. y P. de la Universidad de Granada por la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, mostraron las cargas admisibles en la depuración de aguas residuales urbanas mediante lechos inundados usando material reciclado como soporte de un filtro sumergido, que se establecieron en 6,33 kg DBO₅/m³/día y 4,33 kg SS/m³/día para alcanzar rendimientos mínimos en eliminación de 25 mg/l y el 80% para el parámetro DBO₅, y 35 mg/l y el 90% de reducción para el parámetro SS (con una carga hidráulica máxima de 1,27 m/h).

Otros estudios realizados en esta misma Cátedra, se centraron en la investigación de la utilización de nuevos soportes para los lechos (plásticos reciclados procedentes de invernaderos y residuos cerámicos procedentes de una fábrica de ladrillo) obteniendo resultados satisfactorios en la depuración de aguas residuales urbanas.

Por último destacar las publicaciones de Gayo Martínez, I. (Revista *Ingeniería Química*, 1998) donde se presentan las ventajas de la utilización de arcilla expandida como soporte de los microorganismos en los filtros biológicos inundados.

3.6.6.- Efecto de la temperatura.

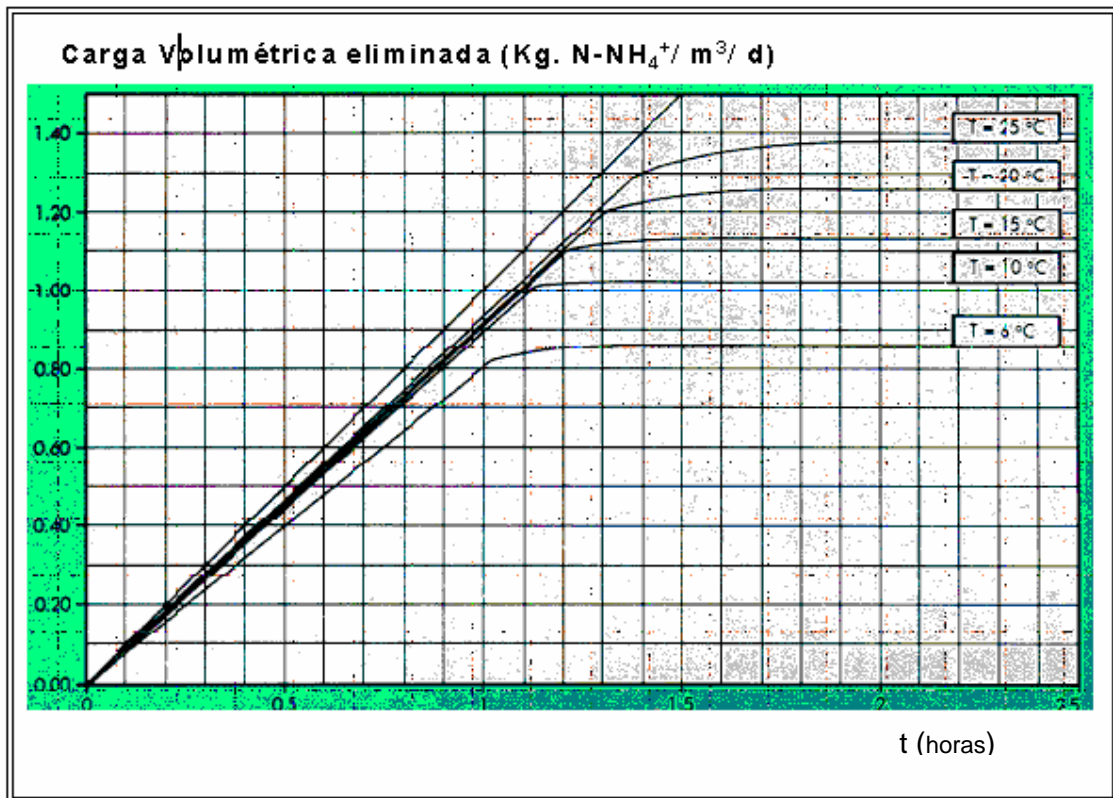
Existen pocas referencias que estudian la influencia de la temperatura en el proceso biológico de la filtración en lechos.

Los ensayos de esta influencia concluyen en la escasa influencia de la temperatura en la eliminación de materia carbonada. La nitrificación sí parece verse afectada por este parámetro, inhibiéndose un tanto el proceso para temperaturas inferiores a 6 °C.

En cuanto al rango opuesto de temperaturas, es decir, las altas que se registran en la época veraniega, R. Pujol et. al. (CEMAGREF, Francia, 1994), observaron una influencia indirecta sobre las condiciones de aireación: aparecían frecuentemente aguas de lavado con tonos negruzcos, los cuales indicaban presencia de áreas anaeróbicas en el lecho del filtro. La observación microscópica de muestras de agua procedente del lavado les permitió una rápida diagnosis y solución del fenómeno, incrementando la aireación.

El gráfico que se muestra a continuación ilustra la influencia de la temperatura en los procesos de nitrificación:

Fig. 3.9.- Efectos de la temperatura en la nitrificación usando un filtro BIOSTYR (Datos aportados por la empresa patentadora; 1992).



3.6.7.- Producción de fangos

Los procesos biopelícula producen una cantidad considerablemente menor que los procesos biológicos convencionales. Además, se trata de fangos con una sedimentabilidad mayor. Seguidamente se muestra un cuadro que refleja la información encontrada al respecto:

Cuadro 3.11.- Producción de fangos en biofiltros según distintas fuentes.

Fuente	Producción de fangos	Observaciones
J.P. Canler y J.M. Perret	0,41 Kg SS/Kg DQO _{elim}	<ul style="list-style-type: none"> • Cvol = 6,2 Kg. DQO/m³/día • Rendimiento (DQO) = 67 % • 0,4-1,2 gr. SS/l en agua de lavado
BIOCARBONE	0,5-0,8 Kg SS/Kg DQO _{elim}	<ul style="list-style-type: none"> • 0,5 - 1 gr. SS/l en agua de lavado • Tratamiento secundario
BIOFOR	7% del agua tratada	Proceso de dos etapas de biofiltración
Thames Water	0,9-1,4 Kg SS/Kg DBO ₅ elim	Tratamiento secundario
R. Pujol et al.	0,4 Kg SS/Kg DQO _{elim} 0,8-1 Kg SD/Kg DBO ₅ elim	-

3.7.- PRESENTACIÓN DE ALGUNAS PATENTES Y PLANTAS PILOTO

En este apartado se van a presentar algunas de las patentes y diseños de plantas experimentales más importantes. En el apartado anterior, se realizó un barrido por todos los aspectos más relevantes de estos estudios, pero debido a las continuas

referencias a algunos de ellos, se considera conveniente su descripción para una mayor facilidad en el seguimiento y comprensión de los datos comentados con anterioridad.

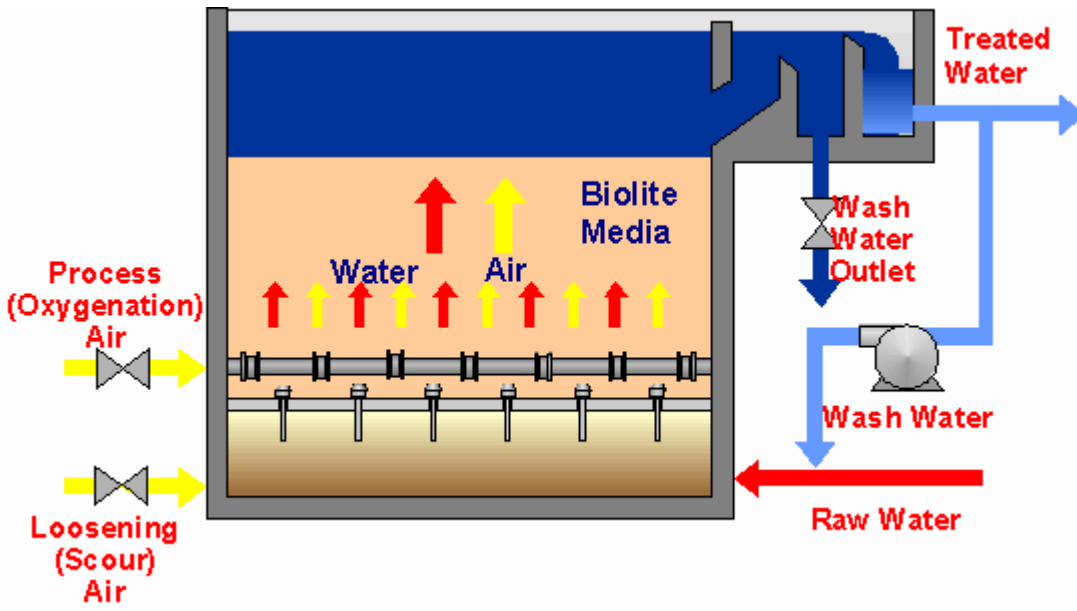
3.7.1.- BIOFOR (Ondeo-Degrémont;).

Las características básicas del proceso son:

- Suministro alternativo de aireación para eliminación de materia carbonada y/o nitrificación, o de substrato (metanol) para desnitrificación.
- Adición de floculantes y coagulantes para eliminación de fósforo.
- Medio arcilloso, de arena u otro silicato (según objetivo), de densidad mayor a 1 y tamaño de partícula entre 3-6 mm, para tratamiento secundario.
- Altura del filtro: 3 m, aunque para aplicaciones específicas puede ajustarse una altura de 2-4 m. El tiempo de retención varía entre 0,25 a 1 hora.

Este filtro está totalmente sumergido con inyección de aire en el lecho (Figura 3.7). Las cargas superficiales y volumétricas son similares. En esta patente el agua residual y la corriente de aire son concurrentes. La configuración de concurrencia se dice que da un rendimiento de transferencia de oxígeno superior, dado que el oxígeno se suministra en el lugar de máxima concentración de DQO, dando menos problemas de obstrucción del medio. Esta patente rellena sus filtros con un medio que recibe el nombre de Biolite y está compuesto de un material arcilloso, con una densidad superior a la unidad

Fig. 3.10.- Diagrama de flujo en un proceso BIOFOR.



3.7.2.- *BIOCARBONE, BIOSTYR y BIOPUR (Veolia Water).*

Las características básicas de estos procesos experimentales se resumen en el cuadro que se muestra a continuación:

Cuadro 3.12.- Características básicas de las distintas patentes presentadas.

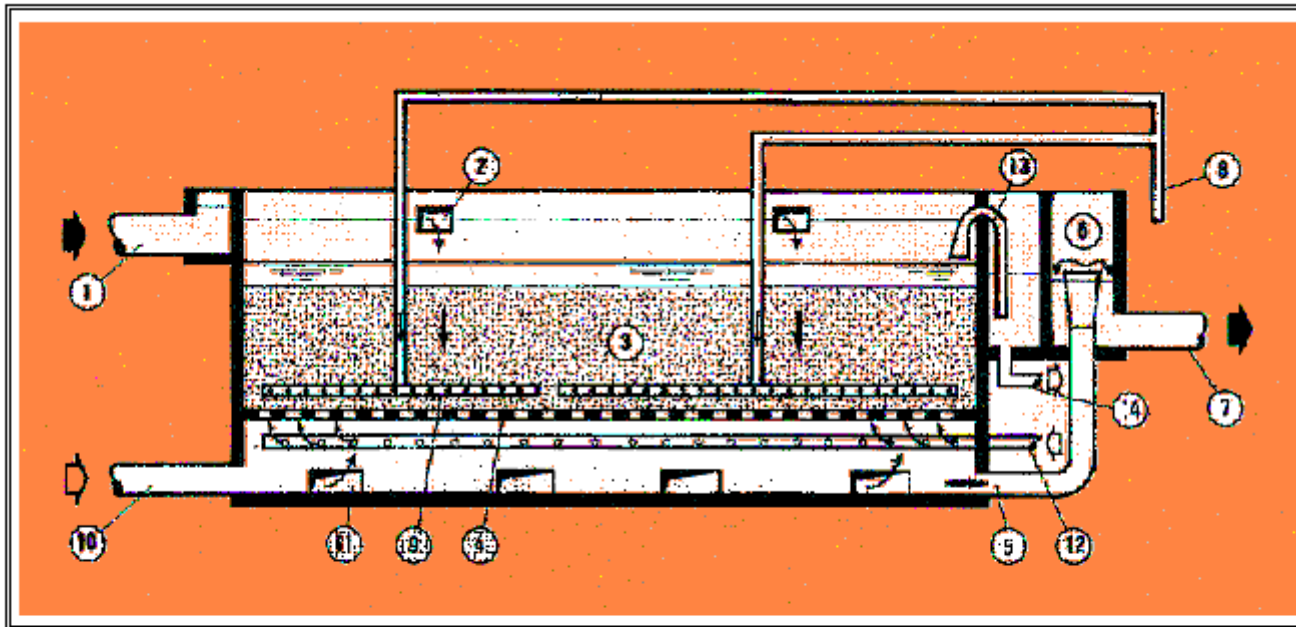
Característica	BIOCARBONE	BIOSTYR	BIOPUR
Tipo de reactor	Flujo contracorriente	Flujo co-corriente	Flujo contracorriente
Medio soporte	Esquistos regulares expandidos	Poliestireno granular	Láminas plásticas corrugadas
Tamaño medio de partícula	2,5-3,5 mm	3-3,5 mm	-
Superficie específica del material m^2/m^3	1.450	1.050	240
Porosidad del material	0,40	0,39	0,89
Altura del lecho	1,625-1,97	2,19	3,81

Las estudios de la multinacional francesa Veolia Water concluyeron en el patentado, entre otros de dos modelos de filtro biológico para depuración de aguas residuales: Biostyr y Biocarbhone. El Biocarbhone (Figura 3.8) utiliza material pizarroso

granular y se comercializa como el Filtro Aireado Biológico (BAF) en Norteamérica, utiliza flujos en contracorriente de agua residual y aire. El agua residual primeramente tratada se aplica en flujo descendente. El aire se rocía a dos tercios de profundidad, y el flujo de enjuague se hace ascender arrastrado por aire. Las cargas de superficie para Biocarbón sólo son ligeramente superiores a las de los filtros percoladores , aunque la carga volumétrica es aproximadamente 10 veces mayor, debido a la mayor superficie del medio.

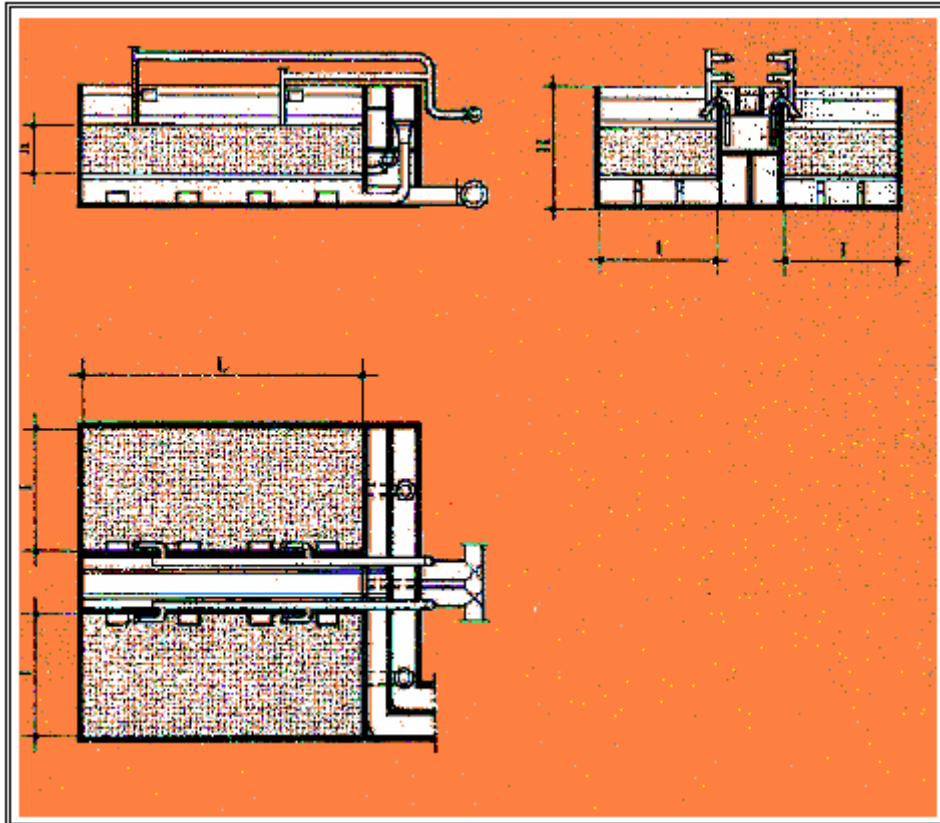
El Biostyr es un lecho poroso de flujo ascendente con un material soporte de discos de poliestireno, que son ligeramente menos pesados que el agua y flotan. Están retenidos en el reactor por una pantalla. El material de poliestireno se comercializa con el nombre de Biostyrene

Fig. 3.11.- Diagrama de flujo en un proceso BIOCARBONE.



- | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1.- Entrada de agua bruta | 6.- Vertedero ajustable | 11.- Distribución de agua de lavado |
| 2.- Distribución de agua bruta | 7.- Salida de agua tratada | 12.- Entrada de aire de lavado |
| 3.- Medio soporte del filtro | 8.- Alimentación de aire de proceso | 13.- Recogida de fangos |
| 4.- Suelo con boquillas | 9.- Distribución de aire de proceso | 14.- Salida de fango |
| 5.- Tubo de agua tratada | 10.- Entrada de agua de lavado | |

Fig. 3.12.- Dimensiones de un biofiltro BIOCARBONE.



Las Dimensiones oscilan entre :

L: 8 m - 14 m; l: 3,5 m - 6,1 m.

h: 1,5 m - 3,0 m; H: 4,3 m - 5,8 m.

Fig. 3.13.- Diagrama de flujo en un proceso BIOSTYR.

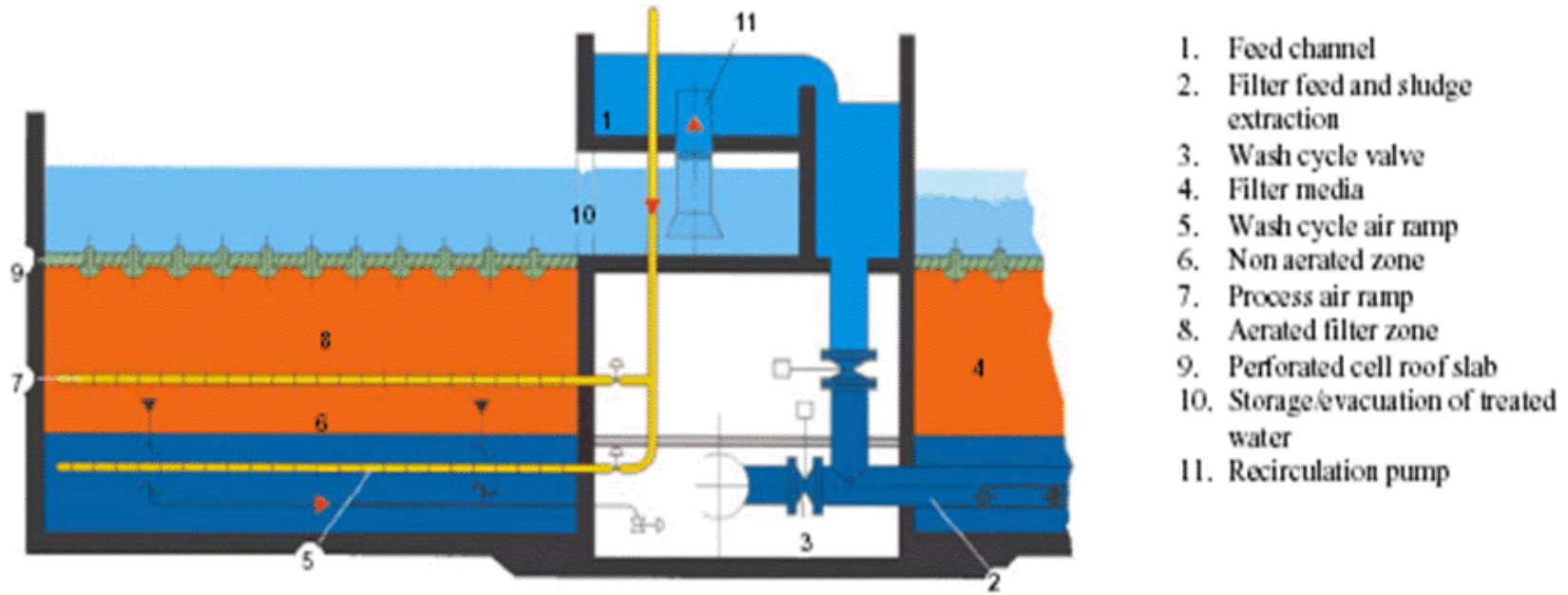
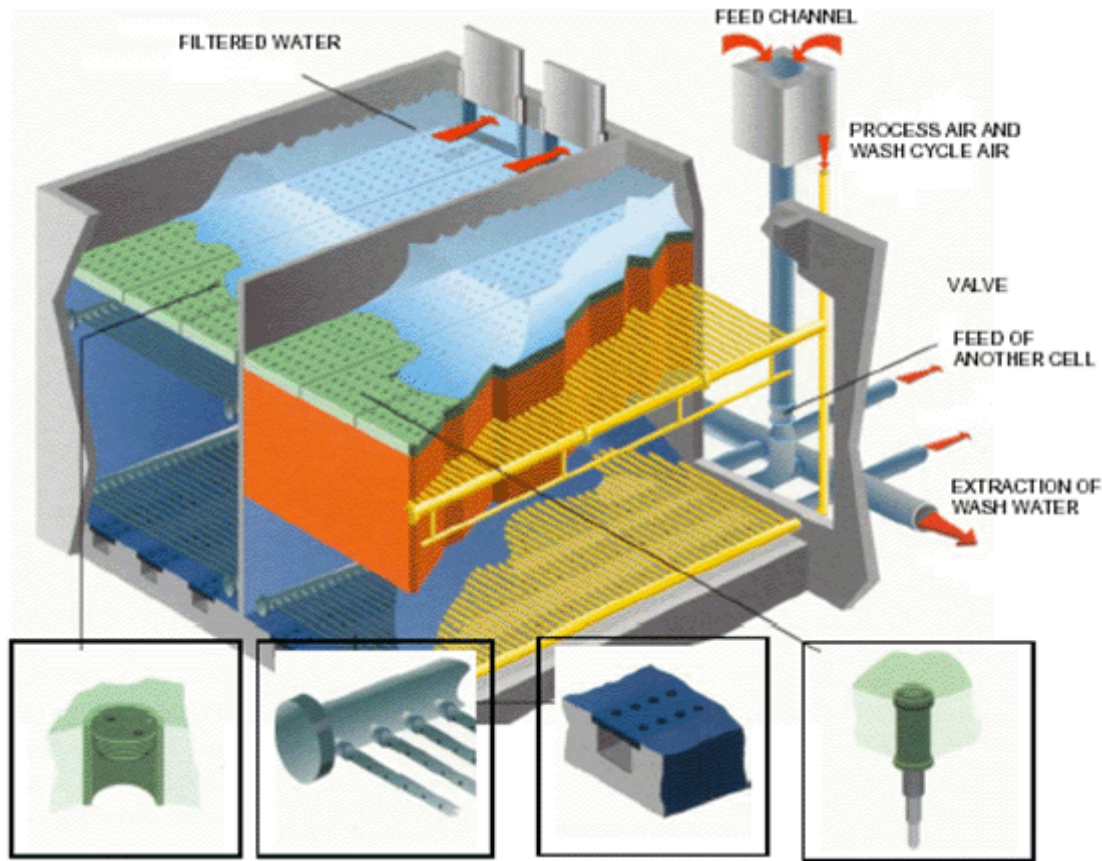


Fig. 3.14.- Sección Isométrica de un lecho BIOSTYR.



El esquema de diagrama de flujo de un proceso BIOPUR es similar a un proceso BIOCARBONE, pues ambos están diseñados con flujo contra-corriente. Las diferencias básicas entre ambos modelos radican en la zona inferior anóxica del Biocarbhone (al Biopur se le suministra aireación en la totalidad de su altura) y la naturaleza desigual del material de relleno de los filtros: en un caso se trata de un material esquistoso granular y, en el otro, de un material plástico.

3.8- EXPERIENCIAS CON FILTROS SUMERGIDOS EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

Las principales ventajas recopiladas en la bibliografía consultada de utilización de los filtros biológicos inundados en el tratamiento de efluentes industriales son (S. Schlegel and B. Teichgräber, Alemania, 2000):

1. Se alcanzan producciones e intervalos de transferencia de oxígeno más altas.
2. Menor producción de fangos.
3. Una operación del sistema más sencilla.
4. Es necesario menos personal para su explotación.

En los resultados de operación de diferentes plantas industriales recopilados por Schlegel, S and Teichgräber, B, (Emschergenossenschaft/Lippeverband, Kronprinzenstrasse, Essen, Germany, 2000) pusieron de manifiesto que los filtros sumergidos, son adecuados para el tratamiento de efluentes industriales, no sólo por los gastos de la inversión, sino también en los gastos de operación y mantenimiento, pudiendo admitir cargas más altas que en los procesos de fangos activados, y por

tanto, requerirán menos espacio a la vez que posibilitarán tratar efluentes menos biodegradables. Dichas experiencias mostraron que, un tratamiento en origen de un efluente industrial es más ventajoso que el tratamiento conjunto con las aguas residuales domésticas.

A continuación se describe un resumen de las cuatro experiencias recopiladas por S. Schlegel, and B. Teichgräber:

- **Efluentes procedentes de industrias agroalimentarias.** La experiencia se realizó en la planta de tratamiento de Aguas residuales de Dorsten-Wulfen de la Asociación Lippe, que disponía a su vez de dos plantas de tratamiento de aguas residuales independientes (una para los vertidos domésticos y otra para los efluentes procedentes de industrias del sector agroalimentario, principalmente del tratamiento de verduras) Ambas plantas tuvieron que ser ampliadas para incrementar la capacidad de tratamiento, pues fueron registrados aumentos de carga que en determinados días ascendían hasta 18.000 kg/día de DQO, mostrando una gran variabilidad en el tiempo debido al componente estacional intrínseco de la actividad. Debido a ello se realizó un estudio de viabilidad con diferentes alternativas donde se vio que mejor opción desde el punto de vista técnico-económico pasaba por la instalación de un filtro sumergido. La planta fue diseñada para una carga específica superficial de 30 g DQO/m²/día y de 12.000 kg DQO/día. Se instaló un volumen total de reactor de 4.000 m³ con un volumen de biopelícula de 2.700 m³. En base a los resultados previos que mostraban que incluso cuando la carga era muy contaminante podía llegarse a una adecuada degradación, se diseñó el sistema con la

posibilidad de ser capaz de exceder este valor hasta el 50 % durante períodos cortos. Para una carga superficial de 30 g/m²/día, en este filtro sumergido la carga volumétrica era de 4,5 kg DQO/m³/día., pudiendo llegar en condiciones punta a 6,7 kg DQO/m³/día. Los resultados de operación mostraron amplias fluctuaciones tanto en las cantidades de agua como en las concentraciones DQO. La DQO media en el efluente antes de tratar era 1.788 mg/l y, en el efluente, 309 mg/l, p. ej., lográndose una degradación media del 83 %.

- **Efluentes procedentes de plantas de tintado de alfombras.** La Planta de Tratamiento de Nottuln-Appelhülsen que fue diseñada para tratar conjuntamente efluentes industriales, principalmente procedentes de industrias de tinte de alfombras y efluentes domésticos, debido a un aumento de las cargas industriales se vio necesario estudiar la posibilidad de una ampliación de la etapa biológica. En este caso también, el estudio de viabilidad concluyó que la mejor solución a implantar sería un filtro sumergido. El diseño fue el mismo que el utilizado en la Planta Dorsten-Wulfen (Una carga específica superficial de 30 g DQO/m²/día se adoptó también como la base de diseño, con la posibilidad de ser capaz de exceder este valor hasta el 50 % durante períodos cortos). Para tratar una DQO 3.600 kg/día, se implantaron filtros sumergidos con un volumen total de 800 m³, instalándose en dos tanques con un volumen total de reactor de 1.400 m³. A destacar la baja biodegradabilidad que existía en el agua bruta (la relación DQO/DBO era 3,8); esto indicaba un alto porcentaje de componentes no degradables en el efluente. Sin embargo, a pesar de

concentraciones muy fluctuantes (en un rango de 1.000 a 6.000 mg/l), los valores DQO en el efluente permanecían equilibrados en un rango de 1.000 a 2.000 mg/l.

- **Efluente de una fábrica de productos farmacéuticos.** Una de las plantas de tratamiento de Aguas residuales de Lippeverband tuvo que ser ampliada para eliminar el N y P. Además de las aguas mayoritariamente domésticas llegaba el efluente de una fábrica de productos farmacéuticos. Al igual que en los casos anteriores se decidió realizar un pretratamiento de las aguas residuales industriales. Se examinaron diferentes alternativas, con el resultado de que en este caso también, un filtro sumergido fue la solución más rentable. Las concentraciones de DQO en el agua bruta, mostraba fluctuaciones entre 1.000 y 8.000 mg/l. Aparte de las concentraciones del efluente, por lo general más altas durante la fase de arranque, una vez estabilizado el sistema los valores de DQO a la salida de planta se mantuvieron relativamente constantes entre 400 y 600 mg/l, que correspondían a una degradación media aproximadamente del 85 %. En consecuencia se concluyó que la máxima carga específica superficial permitida, estaba comprendida entre 15 y 18 g DQO/m²/día.
- **Efluente de plantas de producción de alquitrán.** Por último hacer referencia también al uso de esta tecnología de lechos inundados para el tratamiento de aguas residuales procedentes de plantas de producción de alquitrán. Por requerimientos legales se vio necesario la construcción de una planta de tratamiento, y resultó que en este caso también, los filtros sumergidos demostraron ser más rentables que otros tipos de tratamientos.

Se realizaron pruebas a escala piloto para adquirir los datos de diseño de una planta de tratamiento de este tipo. El efluente a tratar presentaba los altos contenidos de NTK (valores en rangos de 250-500 mg/l) y valores muy bajos de fósforo. Por otra parte, las concentraciones de DQO permanecieron en el intervalo de 1.000 a 2.000 mg/l. La experiencia demostró que la recirculación era también indispensable en este caso para prevenir concentraciones de amoníaco demasiado altas. Los resultados de la prueba mostraron que se podía eliminar la DQO más del 90 % con poca dificultad, obteniéndose concentraciones de efluente en el rango de 100 a 130 mg/l. Simultáneamente, los hidrocarburos aromáticos policíclicos se eliminaron prácticamente en su totalidad. También se redujo el NTK en un 90 %. La desnitrificación que ocurre simultáneamente alcanza un grado de eliminación de nitrógeno de un poco más del 50 %. En base a los resultados obtenidos en la planta piloto, se diseñó, una unidad de filtros sumergidos con carga superficial de DQO de 10 g/m²/día.

A destacar las investigaciones realizadas por J.M. Rovel, J.P. Trudel, P.Lavallé and I. Schroeter (Degrémonnt S.A., Degrémont Infilco Ltée y Consulting Engineer Montreal. Canadá, 1994) que mostraron la idoneidad del uso de la patente BIOFOR para el tratamiento de efluentes industriales procedentes de la industria papelera, bien como sustitución de los tratamientos de fangos activados o como complemento de los tratamientos ya existentes en las cuatro plantas celulosas ensayadas en Canadá.

Cristian H. M (CM Consult, Augsburg, Alemania, 1999) estudió la aplicación de lechos inundados al tratamiento terciario de efluentes industriales procedentes de la industria papelera. Se estudiaron los microorganismos presentes en el biofilm, así

como su crecimiento, eficiencia del tratamiento, estabilidad, eliminación de DQO y DBO₅, retención de los sólidos suspendidos y se establecieron los criterios de diseño y operación.

D. H. Abeysinghe, A. Shanableh y B. Rigden (School of Civil Engineering, Queensland University of Technology. Brisbane, Australia. 1996) estudiaron la utilización de lechos inundados para reutilizar aguas que provienen de la industria de la acuicultura. Este tipo de industria produce en sus operaciones básicas caudales de agua ricas en desechos metabólicos que son altamente ricos en nutrientes (N y P). Para la eliminación de estos nutrientes se ensayaron biofiltros con un material de relleno cuya superficie específica aproximada era de 141 m²/m³. Se ensayaron en tres biofiltros independientes tres diferentes procesos: nitrificación, nitrificación seguida de desnitrificación y eliminación combinada de nutrientes. Se alcanzaron con éxito la eliminación de materia carbonatada y eliminación de nitrógeno (Nitrificación-Desnitrificación) en los lechos preparados a tal fin; el tercer lecho con ciclos aireados y sin airear se consiguió la eliminación del 40% del fósforo, la total nitrificación del amonio y un rendimiento de desnitrificación del 40%.

A. Shanableh y A. Hijazi (School of Civil Engineering, Queensland University of Technology. Brisbane, Australia. 1998) continuaron optimizando la tecnología de lechos inundados para la eliminación combinada de nutrientes (usando ciclos aireados y no aireados) para reutilizar aguas de la industria de la acuicultura. Se consiguió minimizar la pérdida de rendimiento, en la eliminación de fósforo del sistema durante los períodos de tiempo seguidos al comienzo de cada nuevo ciclo.

Los trabajos de investigación realizados por T.J. Park, H. Lee K., S. Kim D. y W. Kim C. (Department of Environment Engineering y el Department of Chemical Engineering, Pusan National University Pusa. Korea.1996) se encaminaron a hacia el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria petroquímica usando filtros aireados sumergidos. El relleno usado fue SARAN 1000D, con una superficie específica de $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$. La capacidad de eliminación de materia carbonatada del reactor fue ensayada en tres prototipos de lechos a escala de laboratorio. Los rendimientos de eliminación de $\text{DQO}_{\text{soluble}}$ que se obtuvieron se mantuvieron en el intervalo del 91,8-96,6% para el ensayo de cargas comprendidas entre 1,02 y 6,21 Kg $\text{DQO}/\text{m}^3 \text{ d.}$, concluyendo en base a los resultados experimentales obtenidos que esta tecnología era recomendable para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria petroquímica con cargas moderadamente elevadas.

Reseñar también los trabajos de Lacalle, M.L.; Villaverde, S.; Fdz-Polanco F. and García-Encina, M.L. Lacalle, S. Villaverde, F. Fdz-Polanco and P.A. García-Encina (Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Valladolid, 2001) donde se obtuvieron los resultados experimentales a partir de siete meses de operaciones de un sistema combinado anaeróbico/aeróbico que trataba un efluente industrial con el contenido medio de materia orgánica y nitrógeno de 10,4 g. DQO/l y 790 mg NTK/l , respectivamente. El sistema fue formado por un reactor UASB (upflow anaerobic sludge blanket) seguido de una segunda etapa con un filtro de flujo ascendente biológico aireado (UBAF), y disponiendo de recirculación del efluente para su desnitrificación. Los mejores resultados fueron obtenidos manejando los dos reactores, UASB y UBAF, con tiempos de retención hidráulica (HRT) de 3,3 y 1,3 días, respectivamente, y una proporción de recirculación de 6,7. En estas condiciones el

sistema eliminó el 98 % de la materia orgánica y el nitrógeno amoniacal así como el 91 % del nitrógeno total que entró en el sistema.

Por último citar la Tesis Doctoral del Dr. Angel Fermín Ramos Ridao “Aplicabilidad de los lechos inundados en el tratamiento de aguas residuales industriales con alta carga en compuestos nitrogenados y fenólicos en medio salino. Granada, 2.003 ”, cuya objetivo era la aplicación de la tecnología de los procesos de lechos inundados en la eliminación de compuestos nitrogenados y fenólicos procedentes de un efluente salino industrial, mediante el esquema de proceso de pre-desnitrificación y utilizando como material de relleno o soporte un residuo de ladrillo. En la investigación se concluyó que el sistema y la tecnología se mostró viable desde un punto de vista biológico, mostrándose el material de relleno con capacidad de regular el pH del medio. La carga hidráulica idónea para la disminución de DQO, fenol y nitrógeno, estaba comprendida entre 0,7-0,8 m³/m² día, y en donde se obtenía una nitrificación completa para un caudal de aireación de 13,58 m³/m² hora.

4.- VARIABLES PREVIAS Y PARÁMETROS

4.1.- VARIABLES PREVIAS

Las variables previas a considerar en esta primera parte de la investigación son las que se han deducido del capítulo anterior, correspondientes a las experiencias del grupo de investigación en este campo y a los extraídos del barrido bibliográfico y son:

4.1.1.- Caudal de agua

Es la cantidad de agua expresada en metros cúbicos que circula a través del filtro por unidad de tiempo. Es la variable más importante al condicionar la ingeniería de diseño de las instalaciones. Esta variable conjuntamente con parámetros analíticos a eliminar nos facilitará la carga de trabajo del sistema.

4.1.2.- Caudal de aire de proceso

Se refiere a la cantidad de aire soplado al sistema en un determinado tiempo, permitiendo conocer el volumen de oxígeno aportado. Las unidades de medida que

más frecuentemente se utilizan son $\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{hora}$ y $\text{Kg O}_2/\text{hora}$. El aire a suministrar va a influir considerablemente en el gasto energético del tratamiento.

4.1.3.- Contaminantes específicos

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro como entre las empresas del mismo sector. Aunque existe una diferencia importante entre las aguas residuales domésticas y los efluentes líquidos de la industria agroalimentaria, el enfoque de la problemática de su tratamiento es similar, pues en ambos casos es necesario reducir a límites bien determinados el contenido de materia orgánica de los mismos antes de que esas aguas puedan ser vertidas bien a cauces públicos o a redes de alcantarillado municipales.

Los contaminantes industriales presentan una composición muy variable dependiendo del uso industrial al que hayan sido destinadas las aguas.

En las aguas residuales procedentes de la industria de la conserva los principales contaminantes específicos de este sector son:

- **DBO₅ y DQO:** La Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno tiene una importancia fundamental en general en todas las industrias agroalimentarias, presentando valores elevados debido al uso de grandes cantidades de agua en los diferentes procesos unitarios, y que a su vez irán variando la cantidad a lo largo del proceso productivo. La relación DBO_5/DQO nos condicionará la idoneidad del uso de la tecnología de lechos inundados para el tratamiento de efluentes industriales.

- **Sólidos en suspensión:** Los sólidos en suspensión presentes en cualquier agua residual influyen considerablemente en cualquier proceso biológico, y especialmente en la tecnología de lechos inundados, que además de darse una eliminación biológica de la contaminación se produce una reducción de la contaminación por separación física de las partículas en suspensión del agua residual industrial. Al igual que otros contaminantes la concentración de materia en suspensión de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho con el tipo de industria y a su vez dentro de empresas de similares características variará en función de la mayor o menor utilización de las mejores tecnologías disponibles en los procesos de producción.
- **Conductividad:** Los vertidos de las industrias presentan una fuerte variabilidad en el contenido de sales en función de la presencia de iones que influyen en la dureza del agua como: Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} y provenientes de productos químicos usados en los diferentes procesos unitarios.
- **pH:** Los vertidos de las industrias, y especialmente los la industria cítrica pueden presentar fuertes oscilaciones en su valor, debido a la propia naturaleza de las materias primas y a las características específicas de los procesos unitarios, especialmente los de lavado y limpieza química de las conducciones que transportan los fluidos de naturaleza orgánica. Estas oscilaciones bruscas del pH si no se corrigen pueden provocar alteraciones muy importantes en los rendimientos de los procesos biológicos de depuración.

4.1.4.- Material de relleno

El material de relleno tendrá una importancia muy grande en el funcionamiento y rendimiento del biofiltro. Los aspectos que se deben considerar en la variable material de relleno son:

- Naturaleza del material de relleno.
- Altura del relleno.
- Superficie específica.
- Densidad.

Los atributos que conforman la naturaleza del material de relleno, y especialmente la superficie específica y la densidad condicionarán la altura que tendrá el lecho inundado, que es sin duda la variable más importante a la hora de dimensionar una planta. En esta investigación se va a fijar la altura al igual que el tipo de relleno, aprovechando para ello las investigaciones anteriores del grupo MITA

4.1.5.- Variables referidas al lavado

Los condicionantes están ligados al apartado anterior y al tipo de contaminante. Se pueden destacar los siguientes:

- Duración de los ciclos de lavado y de cada una de las fases.
- Carrera del lavado del filtro, ciclos que lo componen.
- Caudal de aire de lavado.

- Caudal de agua de lavado.

4.1.6.- Temperatura

La temperatura influye decisivamente en los procesos biológicos, acelerando o ralentizando las reacciones bioquímicas. Constituye un factor limitante para algunos microorganismos, y es una de las características que más influencia tiene sobre la calidad de las aguas ya que determina las especies que pueden estar presentes, regula su actividad y estimula o retarda su desarrollo.

La temperatura es un factor regulador de los procesos naturales en el medio acuático. La velocidad de las reacciones depende de la temperatura y suele aumentar con ella. La solubilidad de los gases, también depende de la temperatura. Por otro lado el consumo de oxígeno disuelto para la descomposición de la materia orgánica aumenta con la temperatura, alcanzando un máximo para 30°C.

Las acciones sinérgicas de los contaminantes son más intensas a temperaturas altas. Determinadas sustancias contaminantes de aguas residuales industriales consumen rápidamente el oxígeno del agua a temperaturas altas y aumenta también la toxicidad relativa.

4.2.- PARÁMETROS

Los parámetros más importantes que caracterizan un agua residual son:

4.2.1.- Sólidos en Suspensión

Estos sólidos, además de poder suponer la presencia de cuerpos o sustancias extrañas que pudieran en algún caso no ser recomendables, aumentan la turbidez del

agua y disminuyen la calidad de la misma. Los sólidos en suspensión se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos como tales son difíciles de eliminar siendo necesaria o bien un tratamiento biológico o la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración.

Constituye uno de los parámetros físicos más importantes del agua residual.

4.2.2.-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Este parámetro mide el oxígeno consumido, durante un período de incubación, para la degradación bioquímica de materia orgánica, y el oxígeno utilizado para oxidar la materia orgánica. Puede medir también el oxígeno empleado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno.

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno resulta muy útil para el cálculo de las cargas de trabajo en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales asimilables a domésticas.

Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumido en un agua residual debido a la "oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable que existe en este agua bajo unas determinadas condiciones de ensayo (20°C, presión atmosférica, oscuridad, y muestra diluida con agua pura, manteniendo las condiciones aerobias durante la prueba), en un tiempo dado. Lo habitual es medir la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.

El ensayo utilizado para la determinación de la DBO_5 presenta algunas limitaciones: la influencia en los resultados de la temperatura, la presencia de inhibidores, interferencia de los organismos nitrificantes, y sobre todo al variar la concentración de materia orgánica soluble modifica la estequiometría de las reacciones que tienen lugar.

4.2.3.-Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se define la Demanda Química de Oxígeno como la cantidad de oxígeno disuelto consumido por una muestra de agua residual, durante la oxidación química provocada por un agente químico fuertemente oxidante.

Se utiliza este parámetro por los inconvenientes señalados con anterioridad que presenta el ensayo de determinación de la DBO_5 .

La determinación de la DQO a pesar de presentar la gran ventaja de determinarse en un período corto de tiempo, puede verse afectada dicha determinación por la temperatura y algunas sustancias inorgánicas que pueden interferir considerablemente.

La relación encontrada entre la DBO_5 y la DQO nos puede indicar sobre la presencia de aguas residuales industriales y su capacidad de biodegradarse. Valores muy inferiores de dicha relación a 0,5 indican alto contenido de aguas industriales no biodegradables, así como valores por encima de 0,5 se consideran altamente biodegradables.

4.2.4.- pH

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno. Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa. Las aguas residuales urbanas el valor se encuentra en torno a 7. Los procesos de tratamiento biológicos suelen presentar un mayor desarrollo y actividad en el rango de pH comprendido entre 6,2 y 8,5.

4.2.5 - Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye minimamente a la conductividad, y en casi su totalidad, es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes.

4.2.6 - Nitrógeno

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas residuales son por orden decreciente a su estado de oxidación: nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas estas formas del nitrógeno, al igual que el nitrógeno gaseoso (N_2) son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno.

La importancia de este parámetro se debe a que la presencia de exceso de nitrógeno en el agua residual provoca fenómenos de eutrofización en lagos y embalses; sin embargo, si no existe una cantidad mínima de nitrógeno en el agua, los procesos biológicos se inhiben, estimándose esta cantidad en una relación $ppm\ DBO_5/ppm\ N_{total}$ de 100/5.

El nitrógeno en forma de nitritos, es inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. A pesar de que las concentraciones en el agua residual suelen ser bajas

(1mg/l en el agua residual) hay que realizar estudios de nitritos en las aguas residuales al ser sumamente tóxicos para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas.

El nitrógeno en forma de nitratos, es la forma más oxidada que se puede encontrar en las aguas residuales. Se debe de controlar este parámetro en efluentes de aguas que se van a utilizar como recarga de acuíferos, dadas las graves consecuencias que provoca un elevado contenido de nitratos en las aguas que van a utilizarse posteriormente para abastecimiento urbano.

En aguas residuales brutas urbanas su concentración es baja al estar la mayor parte del nitrógeno en formas reducidas. En los procesos biológicos de depuración los fenómenos de oxidación que tienen lugar producirán nitratos , por lo que el efluente de salida de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales si no se somete a tratamientos terciarios de eliminación de nutrientes presentará valores muy superiores de nitratos que los que tenía el agua antes de su tratamiento.

El nitrógeno orgánico es la forma mayoritaria en el efluente de un agua residual urbana. Conocer en un agua residual las formas en que se encuentran presentes el nitrógeno nos facilitará una idea de en qué estado se encuentra el proceso de depuración. Los mecanismos principales que intervienen en la eliminación del nitrógeno son la asimilación y la nitrificación-desnitrificación. La asimilación consiste en la incorporación de nitrógeno a la masa celular de los microorganismos que lo necesitarán para sus funciones vitales. El proceso de nitrificación consiste en la reducción de las formas amoniacaes para convertirse en nitratos, dándose este

proceso en un medio aerobio, y mediante la acción de las bacterias Nitrosomonas y Nirobacter.

La desnitrificación consiste en eliminar el nitrógeno en forma de nitrato al pasar a formas gaseosas que se difundirán a la atmósfera, dándose estas reacciones en condiciones anóxicas.

4.2.7 – Fósforo

El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos. Debido a la aparición de crecimientos incontrolados de algas en las aguas superficiales se deberá prestar especial interés en el control de la cantidad de los compuestos de fósforo que se incorporan a las aguas superficiales a través de vertidos de aguas residuales y de aportes naturales de agua de escorrentía.

Las formas frecuentes en que se encuentra el fósforo en las aguas residuales son: ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico. Los ortofosfatos se hallan disponibles para el metabolismo biológico. Los polifosfatos contienen moléculas con dos o más átomos de fósforo (pueden contener átomos de oxígeno y ocasionalmente átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja). El fósforo orgánico tiene muy poca importancia en la mayoría de las aguas residuales urbanas pero puede llegar a concentraciones significativas si existen aportes de vertidos industriales y fangos de aguas residuales domésticas.

La eliminación del fósforo mediante tratamientos biológicos se puede realizar en procesos independientes o conjuntamente. En tratamientos biológicos convencionales se suele eliminar una parte mediante mecanismos de síntesis celular.

Para eliminarlo mayoritariamente del agua residual se requieren alternancias de fases anaeróbicas y aeróbicas y su posterior eliminación como precipitado en el fango en exceso de los tratamientos.

Al igual que en el caso del nitrógeno, si no existe una cantidad mínima de fósforo en el agua, los procesos biológicos se inhiben estimándose esta cantidad en una relación ppm DBO_5 /ppm P_{total} de 100/1.

5.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.- CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE INDUSTRIAL

El conocimiento previo de las características del agua residual industrial objeto de estudio tiene una gran importancia a la hora de seleccionar el tipo de tratamiento (Henze et al., 1994). Tras una serie de analíticas se caracterizó el influente que se va a tratar en esta investigación, valores que están recogidos en la cuadro 5.1:

Cuadro 5.1.- Caracterización del efluente proporcionado por la industria cítrica Agrumexport

Parámetro	Concentración del efluente de una industria cítrica tipo*
pH	4-9
DQO	3000-8000
DBO ₅	2.000-5000
Nitrógeno Total como N	25-100
Fósforo Total como P	<0,5-35

* Valores expresados en mg/l excepto el pH

Con estas concentraciones el agua residual en principio es altamente biodegradable, y con la peculiaridad de presentar grandes oscilaciones en las concentraciones de nutrientes.

El agua residual fue recogida en la balsa de homogeneización que dispone la fábrica. En ella los efluentes son mezclados consiguiéndose de esta manera una uniformidad para su posterior tratamiento en la planta de fangos activos ubicada en las propias instalaciones (Fig. 5.1 y 5.2).



Figura 5.1.- Balsa de Homogeneización de la empresa “Agrumexport”.



Figura 5.2.- Vista general de planta de fangos activos de la empresa “ARUMEXPORT”.

5.2.- METODOLOGÍA ANALÍTICA

A continuación enumeraremos los parámetros que se analizaron en el Laboratorio de Aguas Residuales del Departamento de Depuración y Control de Vertidos de Aguas de Murcia, siguiéndose en él para todos los métodos de ensayo las Normas UNE-AENOR, y dentro de un Sistema de Gestión de la Calidad y del Medio Ambiente basado en las Normas ISO-9000 e ISO 14000. Dicho laboratorio así mismo está acreditado por ENAC para los parámetros SS y DQO.

Parámetros Físico-Químicos y Biológicos. Métodos de Ensayo

- pH. Método Normalizado 4500-H⁺
- Temperatura. Método Normalizado 2500
- Conductividad. UNE-EN 27888
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). UNE-EN 1899 :1.998
- Oxígeno Disuelto. UNE-EN 25813
- Sólidos en Suspensión. UNE-EN 872 : 1996
- Demanda Química de Oxígeno (DQO). UNE-77-004-89
- Nitrógeno Kjeldahl. UNE-EN 25663 :1994
- Fósforo. UNE-77-047-83

5.3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE RELLENO

Los materiales que constituyeron el relleno soporte de masa bacteriana a lo largo de la investigación, fueron los siguientes:

- Arcilla Expandida FILTRALITE de granulometría de 2 a 5 mm.
- Arcilla Expandida FILTRALITE de granulometría de 3 a 7mm.

Los parámetros físicos del material granular resultan ser, una serie de condicionantes que influyen directamente en el rendimiento de la depuración a obtener mediante el empleo de lechos inundados.

Es conveniente que la masa filtrante tenga la mayor superficie específica posible, para que se pueda formar la mayor cantidad posible de película biológica. No

obstante esta característica hay que combinarla con el índice de huecos, pues éstos serán los que permitan el paso del aire y del agua.

Este tipo de relleno es una arcilla expandida (ARLITA) de mercado, siendo la empresa FILTRLITE-OPTIROC quien la comercializa en España.

A continuación se muestran el siguiente cuadro las características físico-químicas de la arcilla expandida, según estudios realizados en la Universidad de Cranfield.

Cuadro 5.2.- Características físico-químicas de la arcilla expandida-ARLITA. (T.D. Kent, C. S. B. Fitzpatrick and S. C. Williams- School of Water Sciences, Cranfield University, 1996).

Características de la arcilla expandida. ARLITA	Valores
Superficie específica	3,98m ² /cm ³
Porosidad	0,05m ³ /m ³
Pérdida al ácido	1,4%
Friabilidad	5,5 %
Densidad	1.550 Kg/m ³
Velocidad mínima de fluidificación	72- 80 m/h
Velocidad de sedimentación	132-225 mm/s

Características de la arcilla expandida. ARLITA	Valores
Desgaste	1,5 %

Otras características fundamentales del material de relleno de arcilla expandida son las siguientes:

- Durabilidad y resistencia al fuego, punto de fusión a los 1.200 °C.
- Resistencia a ciclos de hielo y deshielo.
- Resistencia los ataques químicos.
- Resistencia a compresión 20 Kg/cm².

5.4.- MEDIDA DEL CAUDAL DE AIRE: CALIBRACIÓN DE LOS APARATOS DE MEDICIÓN

Al igual que en las investigaciones seguidas en esta Cátedra anteriormente, se decidió usar rotámetros cuyas características y calibración se describen a continuación:

5.4.1.- Características de los rotámetros utilizados

Los rotámetros, que se han utilizado durante esta investigación, son medidores de caudal del tipo de área variable, que pueden utilizarse tanto para gases como para líquidos.

La altura alcanzada por un flotador dentro de un tubo cónico de medida, es proporcional al caudal del fluido medido. Se colocaron de tal manera que, cumplierse con las normas básicas que favorecen una medida más exacta en el caso de tratarse de gases: tubería de entrada al medidor de tamaño mínimo posible, emplazamiento lo más cercano posible a una restricción, y con una válvula de aguja para regular el caudal. Los rotámetros se instalaron en posición vertical.

5.4.2.- Calibración de los rotámetros medidores del caudal de aire

La fabricación de los rotámetros utilizados se encargó a una empresa especializada en dichos elementos TECFLUID, y fue ésta quien procedió a su calibrado para una determinada presión de funcionamiento.

CALIBRACIÓN ROTÁMETROS MEDIDORES DE CAUDAL DE AIRE DE PROCESO

Instrumento Calibrado:

Caudalímetro.

- Marca: TECFLUID.
- Modelo: 6002.
- DN: 20.
- Número: 4003252.
- Fluido: Aire 0,25 bares, 20° C.
- Rango Medición: 1-8 Nm³ /h.

Procedimiento de Calibración:

La calibración se ha efectuado según el Procedimiento interno de TECFLUID "C-PR-07", usando el instrumento de referencia de TECFLUID "DCCBC002" y como fluido de referencia agua.

Incertidumbre de medida

La incertidumbre asociada a la calibración ha sido estimada para un factor de confianza $k=2$ en un $\pm 1\%$ FS.

Resultados

Los resultados obtenidos en la calibración con certificado n° 03.39003CC se recogen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.3.- Resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro de medición de aire de proceso.

Valor de referencia l/h	Equivalencia Nm ³ /h	Valor Instrumento Nm ³ /h	Error \pm % (Final Escala)
48,5	1	0,9	-1,25
97,00	2	2	0,00
145,4	3	3	0,00
193,9	4	4	0,00
242,40	5	5	0,00
290,90	6	6	0,00

Valor de referencia l/h	Equivalencia Nm ³ /h	Valor Instrumento Nm ³ /h	Error ± % (Final Escala)
339,30	7	6,98	-0,25
387,80	8	7,90	-1,25

Trazabilidad

El instrumento de Referencia fue calibrado según el Procedimiento interno C-PR-13 de TECFLUID con el patrón de código DPSBD003, con Certificado de Calibración número BS 8 1035 de METTLER TOLEDO y que es trazable a sus patrones MS70251, MS80017, MS80103, MS8012, de los cuales ENAC acredita su trazabilidad a patrones nacionales.

CALIBRACIÓN ROTÁMETROS MEDIDORES DE CAUDAL DE AIRE DE LAVADO

Instrumento Calibrado:

Caudalímetro.

- Marca: TECFLUID.
- Modelo: 6002.
- DN: 65.
- Número: 16000245.

- Fluido: Aire 0,9 bares, 20°C
- Rango Medición: 40-400 Nm³ /h.

Procedimiento de Calibración:

La calibración se ha efectuado según el Procedimiento interno de TECFLUID "C-PR-07", usando el instrumento de referencia de TECFLUID "DCCBC007" y "DCCBC008", usando como fluido de referencia agua.

Incertidumbre de medida

La incertidumbre asociada a la calibración ha sido estimada para un factor de confianza $k=2$ en un $\pm 1\%$ FS.

Resultados

Los resultados obtenidos en la calibración con certificado n° 03.39001CC se recogen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.4.- Resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro de medición de aire de lavado.

Valor de referencia l/h	Equivalencia Nm ³ /h	Valor Instrumento Nm ³ /h	Error ± % (Final Escala)
1.572,70	40	40,00	0,00
2.359,10	60	59,00	-0,25
3.145,50	80	78,50	-0,38
3.931,90	100	98,00	-0,50
7.863,70	200	197,00	-0,75
11.795,60	300	300,00	0,00
15.727,40	400	400,00	0,00

Trazabilidad

El instrumento de Referencia fue calibrado según el Procedimiento interno C-PR-13 de TECFLUID con el patrón de código DPSBD003, con Certificado de Calibración número BS 8 1035 de METTLER TOLEDO y que es trazable a sus patrones MS70251, MS80017, MS80103, MS8012, de los cuales ENAC acredita su trazabilidad a patrones nacionales.

CALIBRACIÓN ROTÁMETROS MEDIDORES DE CAUDAL DE AGUA BRUTA

Instrumento Calibrado:

Caudalímetro

- Marca: TECFLUID.
- Modelo: 6002.
- DN: 20.
- Número: 030040.
- Fluido: Agua, 20 ° C.
- Rango Medición: 10-100 l/h.

Procedimiento de Calibración:

La calibración se ha efectuado según el Procedimiento interno de TECFLUID "C-PR-07", usando el instrumento de referencia de TECFLUID "DCCBC001" y "DCCBC002" como fluido de referencia agua.

Incertidumbre de medida

La incertidumbre asociada a la calibración ha sido estimada para un factor de confianza $k=2$ en un $\pm 1\%$ FS.

Resultados

Los resultados obtenidos en la calibración con certificado n° 03.39007CC se recogen en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.5.- Resultados obtenidos en la calibración del caudalímetro**de medición de agua bruta.**

Valor de referencia l/h	Equivalencia Nm ³ /h	Valor Instrumento l/h	Error ± % (Final Escala)
10,00	10	11,40	1,40
20,00	20	21,40	1,40
30,00	30	31,50	1,50
40,00	40	41,20	1,20
50,00	50	51,00	1,00
60,00	60	61,50	1,50
70,00	70	71	1,00
80,00	80	81	1,00
90,00	90	91,40	1,40
100,00	100	100,80	0,80

Trazabilidad

El instrumento de Referencia fue calibrado según el Procedimiento interno C-PR-13 de TECFLUID con el patrón de código DPSBD003, con Certificado de Calibración número BS 8 1035 de METTLER TOLEDO y que es trazable a sus patrones MS70251, MS80017, MS80103, MS8012, de los cuales ENAC acredita su trazabilidad a patrones nacionales.

5.4.3.- Unidades de medida del caudal de aire

1 Nm³ es un metro cúbico medido en condiciones normales de aire por hora, lo que quiere decir se mide a 1 atm y 0 ° C. Para convertirlo a condiciones reales de trabajo, hay que tener en consideración la temperatura de operación y la presión de trabajo de los equipos, con lo que este factor tiene una enorme importancia en la economía de la planta.

Al igual que en una planta real se decidió suministrar para esta planta piloto aire a una presión de P = 0,25 bares, y teniendo en cuenta que 0,25 bares equivalen a 0,24675 atm, en base a la siguiente formulación (según las leyes de compresibilidad y dilatación del aire), obtendremos el peso del aire:

$$m_{aire} (gr.) = 1,293 * V(litros) H (cms. Hg)/76/(1+\alpha t (^{\circ}C))$$

donde $\alpha = 1/273$.

Luego, en las condiciones de trabajo de esta tesis, el aire pesa 0,3 gr/l. Considerando que el aire contiene el 23,2% de O₂ en peso, se obtiene que se introducen 0,06968 gr O₂/l aire.

De lo anterior, se deducen las distintas unidades de medida del oxígeno suministrado o volumen de aire insuflado, utilizadas a lo largo de esta investigación:

- m³/h (de aire).
- Nm³/h (de aire).
- Nm³/m²/h (de aire).
- Kg O₂/h (de aire).
- Kg O₂/Kg DBO₅ elim.
- Kg O₂/l (de agua).

5.5.- AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA PILOTO

5.5.1.- Descripción del software

5.5.1.1.- Características generales del sistema

Con el sistema de automatización de la planta se pretendía realizar un control automático de todos los componentes que integran el sistema. Para ello éste se compone de:

- *Aplicación del software:* Son los programas que se ejecutan en un ordenador y que permite monitorizar el estado del sistema, así como enviar las órdenes requeridas en cada momento.

- *Autómata*: Situado dentro del CCM (Centro de Control de Motores) del sistema, y se encarga de controlar directamente las actuaciones que se realicen sobre éste así como de recoger la información generada. Se dispone de una pantalla de 15" y a través del SCADA se pueden modificar los distintos parámetros que controlan el sistema. El autómata que se instaló fue un SYMATIC, S-5, de SIEMENS.

A continuación se muestran fotografías del Scada de Control :

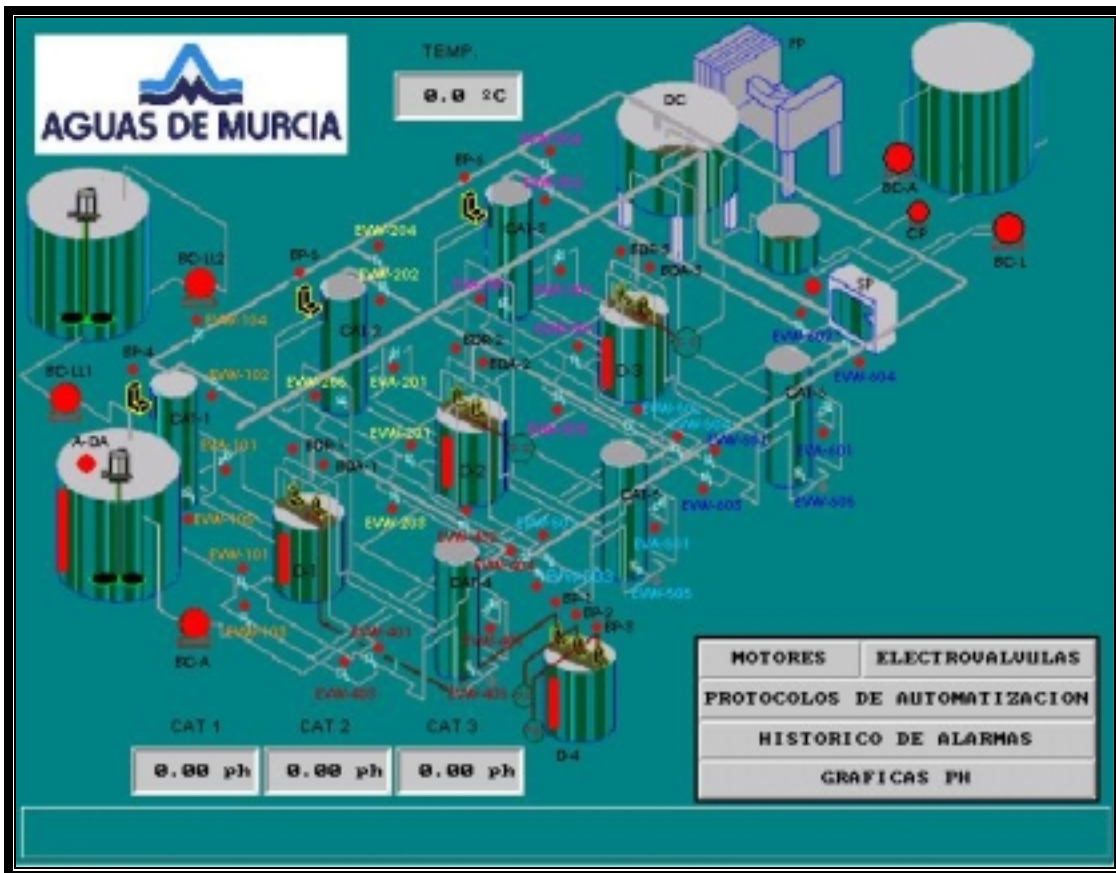


Figura 5.3.- Detalle de pantalla principal del Scada de control.

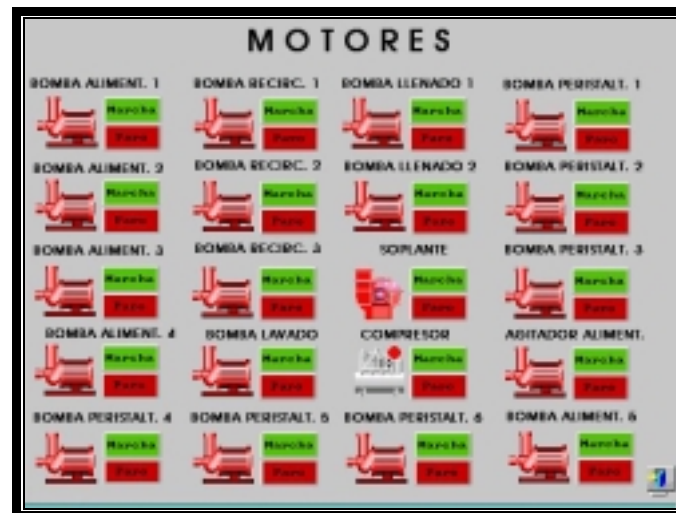


Figura 5.4.- Detalle del Scada: Control de “marcha-paro”.

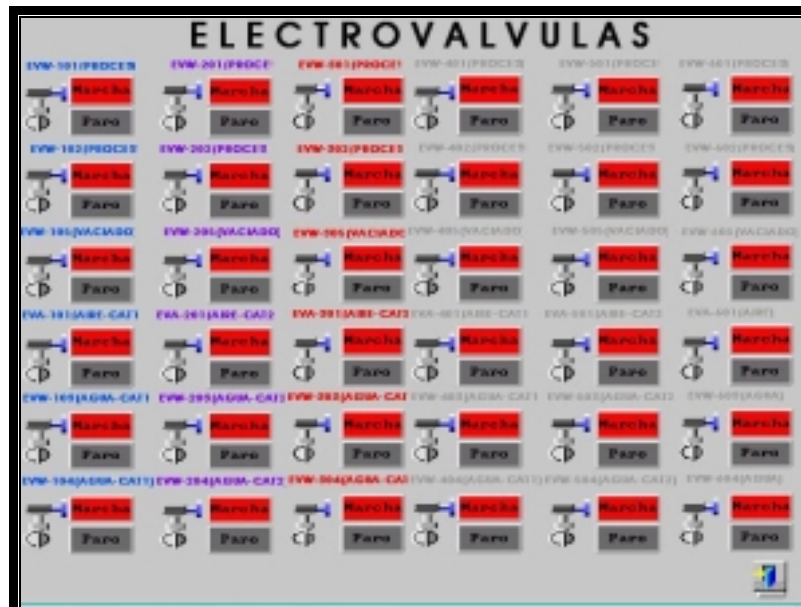


Figura 5.5.- Detalle del Scada: Control de electroválvulas.



Figura 5.6.- Detalle del Scada: Protocolos de Automatización.

5.5.2.- Descripción de los automatismos

5.5.2.1.- Modos de funcionamiento

Los equipos instalados pueden funcionar, tanto en modo local, de acuerdo a las órdenes que se les transmite desde su cuadro eléctrico, como en modo remoto, según las órdenes transmitidas por el autómata.

Cuando un equipo se encuentra en modo remoto, existen dos tipos de control: control manual y control automático. En control manual, el equipo funcionará de acuerdo con las órdenes enviadas desde el SCADA instalado en el ordenador.

5.5.2.2.- Avería

Este evento, aparece cuando a un equipo se le transmite una orden de marcha o paro, en modo remoto, y, transcurrido un tiempo determinado, no ha respondido a la orden.

Se muestra en las siguientes páginas los esquemas del nuevo prototipo de lecho filtrante así como un diagrama de flujo de la nueva planta piloto.

6.- INVESTIGACIÓN DE CHOQUE

6.1.- DISEÑO Y PUESTA A PUNTO DE LA PLANTA PILOTO

6.1.1.- Introducción

La financiación de esta planta piloto mayoritariamente corrió a cargo de la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia (EMUASA), empresa Mixta con participación del Exmo. Ayuntamiento de Murcia y del Grupo Agbar.

Para la ubicación se decidió buscar un lugar donde el espacio, el acceso y la seguridad estuviesen garantizados y además tuviese la posibilidad de disponer de un laboratorio, de ahí que se decidiese que fuese la E.D.A.R de Zarandona, que actualmente ya se encuentra fuera de servicio al entrar en funcionamiento a pleno rendimiento la E.D.A.R. Murcia Este, ambas con titularidad de AGUAS DE MURCIA (“Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia, S. A.”). Por otro lado en este mismo lugar EMUASA tiene otras investigaciones, habiendo creado el CTDC (Centro Tecnológico de Destrucción de Contaminantes).

Los prototipos de los lechos se instalaron por tanto en el Centro Tecnológico de Investigación, lo que nos facilitó su montaje, pues dispone de los servicios necesarios

como son electricidad (380V, 220V, y 24V), aire para circuitos neumáticos y agua industrial a presión. A su vez la planta está próxima a los viales de la depuradora, permitiendo una fácil accesibilidad a los camiones-cisterna para descargar periódicamente las aguas residuales industriales que serán objeto de la investigación que se va a llevar a cabo.

Para el diseño de la planta se constató que en su tesis (1998) el Dr. Francisco Osorio había concluido tras su investigación que la altura óptima del relleno cerámico para tratamiento de efluentes urbanos mediante lechos inundados estaba comprendida entre 1,2-1,5 metros, con el relleno de ladrillos machacados, que utilizaba el grupo de investigación. Igualmente optimizó los lavados con un tiempo entre ellos en torno a 24 horas.

Con los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones llevadas a cabo en el grupo MITA, y las conclusiones obtenidas de ellas se planteó poner en marcha una nueva línea de investigación en la que se pretendía estudiar la posibilidad de aplicar tecnologías de lechos inundados en la depuración de efluentes procedentes de la industria del procesado de cítricos, sector muy arraigado históricamente en la Región de Murcia, y especialmente en su término municipal.

Se estudió la optimización de la tecnología de lechos inundados usando como material de soporte arcilla expandida, dada la dificultad en el machaqueo de ladrillos.

Los vertidos de las industrias del sector agroalimentario, y especialmente las cítricas tienen altas cargas orgánicas muy biodegradables pero que podían presentar fluctuaciones importantes en la concentración de nutrientes y pH.

De acuerdo a los objetivos planteados para este trabajo de investigación se trataba de probar los diferentes tamaños del material del lecho (arcilla expandida); **relleno monocapa con granulometrías de 2-5 mm, y relleno monocapa con granulometría de 3-7 mm.**, que son los más habitualmente usados en tratamientos de aguas residuales.



Figura 6.1.- Detalle de material de relleno: arcilla FILTRALITE.



Figura 6.2.- Detalle de diferentes tipos arcilla expandida FILTRALITE.

Dado que en las anteriores investigaciones se obtuvieron mejores resultados con Flujo Descendente del agua (Flujo contra-corriente de fluidos), es por ello que se adoptó esta disposición, así como una altura óptima de relleno de 1,5 metros.

En el caso que nos ocupaba de un agua residual industrial altamente biodegradable en base a los componentes de la misma, se precisaba asegurar la existencia de una microbiota capaz de realizar el proceso de depuración biológica. Los pH mayoritariamente ácidos (5-6,5) del agua objeto de investigación podían ocasionar cantidades menores de microorganismos aplicables al proceso depurador, que un agua residual urbana, y es por ello que antes de la puesta en marcha de la planta se aseguró la existencia de formación de la biopelícula comprobado en el laboratorio la formación de ésta, mediante el análisis del peso seco de la biopelícula formada alrededor del soporte. Por ello una vez asegurado el crecimiento natural del “biofilm” no se vio necesario la siembra o inoculación durante toda la experimentación. con microorganismos procedentes de otras aguas residuales.

6.1.2.- Diseño y descripción del funcionamiento

La planta piloto se construiría con tres lechos inundados de los cuales uno estaría en reserva, para así poder realizar simultáneamente diferentes fases de trabajo. Los lechos se diseñaron de forma modular dotando a cada uno de los tres módulos creados de una altura de 1 m, y unidos por bridas atornilladas, lo que implica que la altura máxima que puede alcanzar las columnas es de tres metros. Además, estos módulos están dotados de mirillas en cada módulo, permitiendo visualizar el relleno situado en el interior de las columnas. Por facilidad constructiva los módulos son tramos de tubería de PVC de diámetro interior de 300 milímetros, similares a los utilizados en la

tesis Experimental del Dr. Osorio en 1998, y las mirillas que disponen los módulos son de metacrilato, provistas de unas persianas que evitan que incida el sol de forma directa y continuada sobre el interior de las columnas, eliminando así la posibilidad de la proliferación de procesos fotosintéticos.

Se muestra a continuación un esquema del prototipo del lecho, un diagrama de flujo en la planta piloto y unas fotografías de la vista general de un lecho y de la planta piloto.

Figura 6.3.- Esquema de prototipo de lecho filtrante.

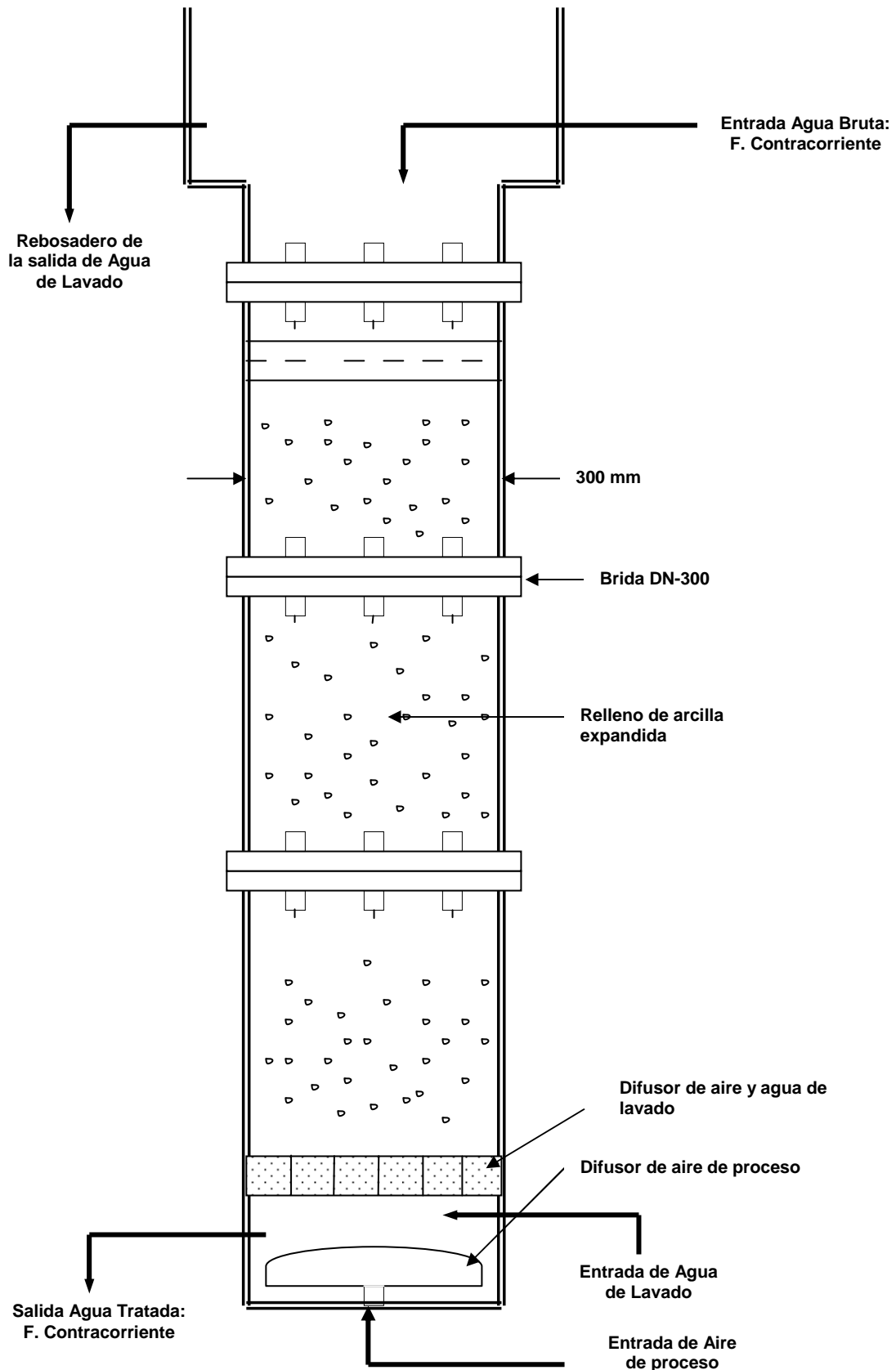


Fig. 6.4.- Diagrama de flujo en la planta piloto.

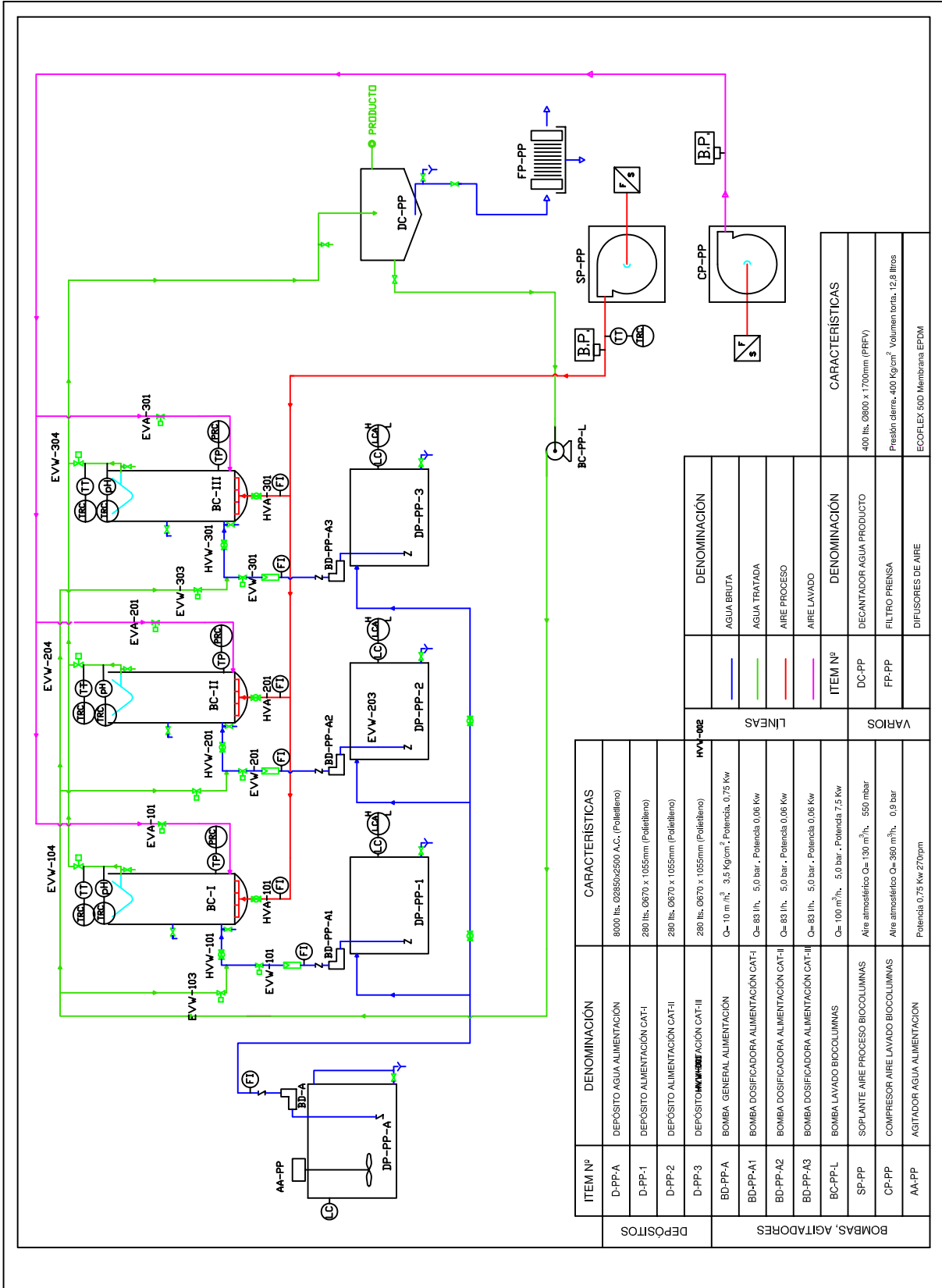




Figura 6.5.- Vista general lecho inundado.



Figura 6.6.- Vista interior lecho inundado. Ventana metacrilato.



Figura 6.7.- Vista general de la planta piloto.

6.1.2.1.- Circuito de alimentación de agua bruta

La alimentación de agua residual industrial se realizó desde un depósito de polietileno de 1.500 litros (DP-PP-A) y con acceso para la descarga de los camiones cisterna. El llenado de este depósito se realizaba periódicamente procediéndose al transporte del agua residual desde la industria de transformados cítricos hasta la planta piloto. Dicho depósito puede alimentar mediante una bomba centrífuga horizontal autoaspirante (BD-A), y a través de una tubería de polietileno de alta densidad cada una de los tres depósitos de 200 litros de capacidad (DP-PP-A1, DP-PP-A2 y DP-PP-A3) que a su vez mediante 3 bombas dosificadoras independientes de un caudal de 0-83 l/hora (BD-PP-A1, BD-PP-A2 y BD-PP-A3) alimentan a los tres prototipos de lechos inundados (BC-I, BC-II y BC-III). Dichas bombas dosificadoras correctamente calibradas en cada pulso elevan un caudal constante, verificando éste mediante calibraciones

periódicas y a su vez contrastadas por rotámetros (Véase el Capítulo “Materiales y Métodos”).

De las bombas dosificadoras e independientemente el agua se puede contabilizar y enviar a los siguientes destinos:

- Entrada superior del Reactor Biológico.
- Toma de muestras de Agua Bruta.

A continuación se muestran fotografías de detalle algunos equipos de la planta piloto.



Figura 6.8.- Detalle de depósito de almacenamiento de agua bruta.



Figura 6.9.- Detalle de bomba de alimentación de agua bruta.



Figura 6.10.- Detalle de depósitos de alimentación de agua al lecho.



Figura 6.11.- Detalle de bombas dosificadoras de agua al lecho.



Figura 6.12.- Vista interior planta piloto.



Figura 6.13.- Vista frontal de la planta piloto.

El aporte de aire de proceso se realiza mediante una turbina de canal lateral (SP-PP), marca CONTINENTAL INDUSTRIE, mod. E-1500, equipada con variador de frecuencia sobre motor trifásico de 4 Kw (máxima potencia), pudiendo regular el caudal de aire de proceso desde 2 a 130 Nm³/hora para los tres prototipos independientemente. El aire se conduce a un colector elevado por encima del nivel máximo de agua en las columnas (se evita de esta forma proteger la turbina ante riesgos de entrada de agua por rotura del difusor de burbuja fina) y se bifurca en tres bajantes donde se inserta un sistema de medición de aire (rotámetro, FI) perfectamente calibrado (Véase el Capítulo “Materiales y Métodos”).



Figura 6.14.- Detalle de rotámetro y manómetro de aire de proceso

6.1.2.2.- Circuito de aire de proceso

Para suministrar aire de proceso se utilizan difusores de aire que son platos constituidos por una membrana de EPDM. Estos difusores de membrana suministran burbujas finas(1-2 mm) que presentan una serie de ventajas frente a otros sistemas:

- Transferencia: Las más altas, aproximadamente 4Kg.O₂/Kwh.
- Adaptabilidad: La regulación del caudal se hace en continuo.
- Aerosoles: No se producen nunca. Es altamente ecológico.
- Ahorro de energía: Hasta un 70% de ahorro máximo.

Cuando el suministro de aire se interrumpe, las ranuras por donde se difunde el aire se cierran replegándose la membrana sobre el disco formando un sellado hidráulico fiable, reabriéndose dichas ranuras cuando el aire vuelve a circular y a su vez las impurezas que se hubiesen depositado sobre el difusor desaparecen completamente.

El caudal de aire de proceso que se introduce en el lecho se regula mediante válvulas de ajuste fino (válvulas de aguja), de modo manual, utilizándose rotámetros de precisión para conocer la cantidad exacta de aire suministrada.



Figura 6.15.- Detalle de soplante de aire de proceso.

6.1.2.3.- Lavado del Reactor Biológico

La alimentación de agua de lavado se consigue mediante una bomba, que aspira el agua almacenada a tal efecto en una cuba de 0,75 m³ de agua tratada.

A su vez el aporte de aire de lavado se realiza mediante una turbina de canal lateral (CP-PP), marca CONTINENTAL INDUSTRIE, equipada con variador de frecuencia sobre motor trifásico de 15 Kw (máxima potencia), pudiendo regular el caudal de aire de proceso desde 20 a 400 Nm³/hora para cada uno de los prototipos independientemente.

El caudal de aire de lavado que se introduce en el lecho se modifica mediante la regulación electrónica del variador, utilizándose rotámetros de precisión

perfectamente calibrados para cuantificar el aporte de aire (se remite al Capítulo “Materiales y Métodos”).

Se puede conocer la pérdida de carga del material filtrante mediante tubos de metacrilato en cada uno de los prototipos al poder visualizarse la altura de agua.

La planta está dotada de automatización, resultando fundamental en el manejo de los sensores que actúan sobre el lavado. La lámina del agua sobre el filtro es captada por sensores que activan las electroválvulas de lavado.

Para garantizar un nivel constante de agua residual sobre el relleno, el agua que ha atravesado el lecho filtrante se recogerá por la parte inferior, vuelve a subir hasta una altura que garantice la inundación del material para posteriormente ser conducida por gravedad al depósito de agua tratada.

El caudal a tratar en el filtro disminuye al irse colmatando el lecho filtrante. Al mantenerse el caudal de alimentación de los filtros y al irse colmatando los filtros (se produce una disminución de la carga hidráulica) se producirá una elevación de la lámina de agua en el lecho inundado, y a partir de una determinada cota los sensores de nivel darán las órdenes del comienzo de un ciclo de lavado.

El lavado, ya sea manual o automático consta de las siguientes fases:

- Esponjamiento con aire.
- Lavado con aire y agua.
- Aclarado con agua.

- Reinicio del proceso.

En la primera fase se produce la parada del ciclo que se estuviera realizando, con el consiguiente aislamiento del filtro (parada de la bomba de alimentación de agua bruta y cierre de las válvulas correspondientes). Al mismo tiempo se abren las electroválvulas para dar paso en la columna al aire de lavado, durante un período de tiempo determinado (t_0).

En la segunda fase, transcurrido el tiempo t_0 de la primera fase, se da una orden de marcha a la bomba de agua de lavado, produciéndose la apertura de las electroválvulas instaladas en el circuito hidráulico del agua de lavado, y finaliza esta fase tras un tiempo determinado (t_1).

La tercera fase, se cierran las válvulas de aire manteniéndose en marcha la bomba de agua de lavado.



Figura 6.16.- Detalle soplante y bomba de lavado.



Figura 6.17.- Detalle soplante de aire de lavado.



Figura 6.1.- Detalle de variador de frecuencia de la soplante de aire de lavado.

La planta está dotada de automatización, resultando básica en el manejo de los sensores disponibles para el lavado (Véase el Capítulo “Materiales y Métodos”).

La planta piloto se puso en marcha definitivamente, el 21 de noviembre de 2002.

6.2.- PLAN DE TRABAJO

6.2.1. – Metodología para la toma de datos

6.2.1.1.- Toma de las muestras

La toma de las muestras se realizó de forma integrada, pues esta agua residual industrial proviene de depósitos diarios de homogeneización que aseguran una uniformidad en la carga contaminante, pero que no asegura niveles de carga similares para cada día, y es por ello que es necesario que durante el día se tomen diferentes fracciones que se integrarán al incorporar las tomas parciales. No obstante en el depósito de alimentación (DP-PP-A) se dispuso de un sistema de agitación (AA-PP) de aire por burbujas gruesas que diariamente dos o tres veces al día volvía a homogeneizar el agua.

Las muestras se recogían una vez al día, tras días completos de funcionamiento para realizar posteriormente el control analítico.

El número total de muestras analizadas diariamente en cada uno de los dos prototipos ascendió a un total de dos asociadas a los siguientes puntos de muestreo:

- Entrada del agua a los prototipos de la planta piloto procedentes del tanque de almacenamiento homogeneizado de agua residual.
- Salida del agua depurada del lecho inundado.

6.2.1.2. – Analítica de las muestras:

A las muestras diarias de los dos prototipos les fueron realizados los siguientes análisis (Véase Cuadro 6.1) .

Cuadro 6.1.- Síntesis de las tomas de muestras realizadas, indicando muestreo y periodicidad.

Punto de muestreo	Análisis	Frecuencia
Entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	pH	Diaria
	Conductividad	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Sem/diaria
	SS	Diaria
	N _{total} y P	Semanal
Salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	pH	Diaria
	Conductividad	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Sem/diaria
	SS	Diaria
	N _{total} y P	Semanal

Esporádicamente se realizaron análisis de los parámetros que pueden ser limitantes en este tipo de efluentes industriales, como son los fenoles. Así mismo se

realizaron tomas de muestras adicionales para comprobar el funcionamiento de los filtros a lo largo del día.

6.2.2. – Fases de trabajo en la investigación de choque

Se procedió a rellenar dos lechos de la planta piloto con arcilla expandida con diferentes configuraciones de granulometría. Uno de ellos con arcilla de granulometría 2-5mm y el otro de 3-7mm. Tal y como se ha comentado anteriormente, los lechos fueron sometidos a flujo descendente (contra-corriente).

En cuanto a la aireación, los ensayos se comenzaron con valores de aire de proceso de 0,21 Kg O₂/h (10,47 Nm³/m²/h) similares a los usados en la Tesis del Dr. Osorio y que habían presentado buenos resultados en cuanto a rendimientos de eliminación de DBO₅ y sólidos en suspensión, para continuar aumentando el caudal hasta los 0,49 Kg O₂/h (24,44 Nm³/m²/h), pasando por dos etapas de ensayo con 0,28 (13,96 Nm³/m²/h) y 0,42 Kg O₂/h (20,94 Nm³/m²/h) aparte de las dos etapas ya mencionadas.

En lo que respecta a los caudales de agua bruta se ensayaron dos rangos (5 L/h y 15 L/h), en base a poder contrastar el comportamiento del sistema en dos escalones de cargas volumétricas, uno superior y otro inferior, respecto los valores medios de carga volumétrica DBO₅ usados anteriormente por el grupo, y que habían presentado resultados satisfactorios tanto de niveles de salida como de eliminación de DQO y DBO₅.

Por último, y con el fin de realizar un amplio estudio de alternativas de funcionamiento posible, en base a las distintas variables a considerar, se adoptaron las fases de trabajo que se muestran a continuación en el cuadro de síntesis:

Cuadro 6.2.- Síntesis de las fases de trabajo en la investigación de choque.

Fase	Fecha Puesta en marcha de la fase	Tipo de Flujo	Relleno del filtro (tipo de relleno)	Caudal de aire (Kg. O ₂ /h- Nm ³ /m ² /h)
1	21/11/02	Flujo Contracorriente	Relleno monocapa (3-7 mm)	0,21-10,47 y
				0,28-13,96
2	15/01/03	Flujo Contracorriente		0,42-20,94 y
				0,49-24,44
3	21/11/02	Flujo Contracorriente	Relleno monocapa (2-5 mm)	0,21-10,47 y
				0,28-13,96
4	15/01/03	Flujo Contracorriente		0,42-20,94 y
				0,49-24,44

6.3.- RESULTADOS ANALÍTICOS Y ESTUDIO SISTEMÁTICO DE LA RELACION ENTRE VARIABLES Y PARÁMETROS. DISCUSIÓN

6.3.1 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 1: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 10,47 y 13,96 Nm³/m²/h de aire (0,21 Kg. O₂/h y 0,28 Kg O₂/h respectivamente) y flujo contracorriente.

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.3.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)

Cuadro 6.4.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)

Gráfico 6.1.- Fase nº 1 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.2.- Fase nº 1 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.3.- Fase nº 1 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 6.5.- Fase nº 1 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 6.6.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 6.7.- Fase nº 1 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.3.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	5,90	4.290	3.315	2050	463	<0,5	33
2	10,47	5	6,02	4.230	2.735	1.735	378		
3	10,47	5	5,75	4.260	2.185	1.440	433		
4	10,47	5	6,16	3.650	3.075	1.935	375	24,34	63,36
5	10,47	5	5,29	3.690	2.960	1.810	475		
6	10,47	5	6,36	3.870	3.125	1.915	358		
7	10,47	5	6,20	3.790	2.620	1.795	444		
8	10,47	5	5,81	3.840	2.230	1.360	520	<0,5	29
9	10,47	5	5,32	3.640	2.150	1.475	515		
10	10,47	5	5,17	3.840	1.975	1.390	623		
11	10,47	5	6,34	3.830	2.340	1.480	524	24,27	36,38
12	10,47	5	6,42	3.310	2.475	1.510	475		
13	10,47	5	5,14	3.280	2.780	1.765	383		
14	10,47	5	5,74	3.270	2.975	1.845	438		
15	10,47	5	6,80	3.230	3.100	1.900	425	<0,5	25
16	10,47	5	6,12	4.190	3.305	2.055	515		
17	10,47	15	6,96	4.400	3.785	2.435	467		
18	10,47	15	5,65	4.270	4.045	2.465	656		
19	10,47	15	6,27	4.250	3.630	2.295	468	33,59	67,32
20	10,47	15	5,91	4.070	3.350	2.155	398		
21	10,47	15	6,06	4.170	3.640	2.305	415		
22	13,96	15	6,42	4.220	4.160	2.630	376	<0,5	29
23	13,96	15	6,74	4.240	4.030	2.530	375	<0,5	25
24	13,96	15	6,52	4.120	3.640	2.310	433		
25	13,96	15	6,55	4.100	3.395	2.120	512		
26	13,96	15	6,23	4.070	3.500	2.230	547		
27	13,96	15	6,88	3.910	3.325	2.110	413	29,64	66,43
28	13,96	15	5,09	3.700	4.315	2.755	513		
29	13,96	15	5,05	3.780	4.200	2.690	614		
30	13,96	15	5,26	3.800	4.330	2.720	415	<0,5	32

Cuadro 6.4.- Fase nº 1 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DOO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	7,06	4.270	3.265	2.000	354	<0,5	28
2	10,47	5	7,81	4.210	2.565	1.575	318		
3	10,47	5	8,37	4.250	2.035	1.290	311		
4	10,47	5	7,15	3.610	2.855	1.885	298	21,26	21
5	10,47	5	6,69	3.570	2.745	1.770	364		
6	10,47	5	6,95	3.920	2.830	1.870	257		
7	10,47	5	7,64	3.790	2.265	1.430	417		
8	10,47	5	8,00	3.850	1.965	1.250	502	<0,5	21
9	10,47	5	8,06	3.610	1.995	1.285	337		
10	10,47	5	8,41	3.840	1.940	1.225	379		
11	10,47	5	8,25	3.870	2.150	1.420	417	17,26	18
12	10,47	5	8,69	3.320	2.315	1.505	304		
13	10,47	5	8,79	3.280	2.375	1.550	268		
14	10,47	5	8,75	3.290	2.610	1.605	346		
15	10,47	5	8,73	3.260	2.735	1.730	398	<0,5	19
16	10,47	5	7,55	4.230	3.285	2.025	356		
17	10,47	15	7,51	4.430	3.645	2.255	274		
18	10,47	15	6,80	4.300	3.895	2.385	389		
19	10,47	15	6,46	4.260	3.585	2.285	290	13,25	16
20	10,47	15	6,94	4.090	3.125	2.020	315		
21	10,47	15	6,63	4.120	3.550	2.245	234		
22	13,96	15	6,59	4.210	4.150	2.610	319	<0,5	27
23	13,96	15	6,84	4.220	3.975	2.450	349	<0,5	21
24	13,96	15	6,85	4.150	3.540	2.225	312		
25	13,96	15	7,11	4.150	3.375	2.085	333		
26	13,96	15	6,55	4.100	3.340	2.080	402		
27	13,96	15	6,62	3.960	3.125	2.005	256	11,67	18
28	13,96	15	6,43	4.090	3.890	2.505	379		
29	13,96	15	7,84	3.680	2.575	1.580	418		
30	13,96	15	7,43	3.960	2.905	1.780	387	<0,5	30

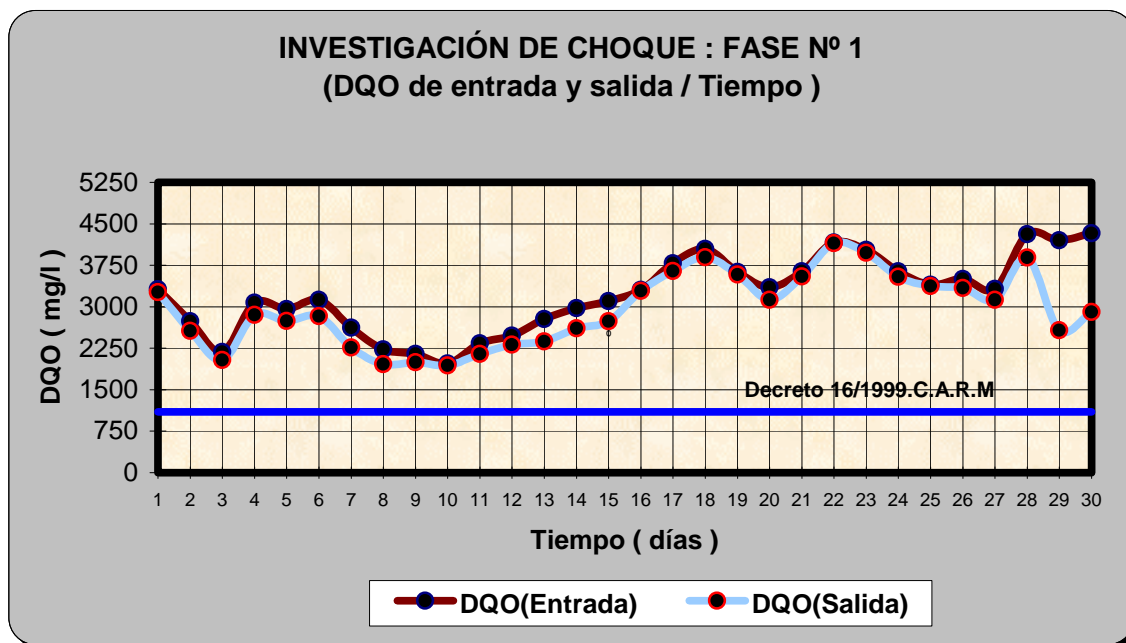


Gráfico 6.1.- Fase nº 1 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo.

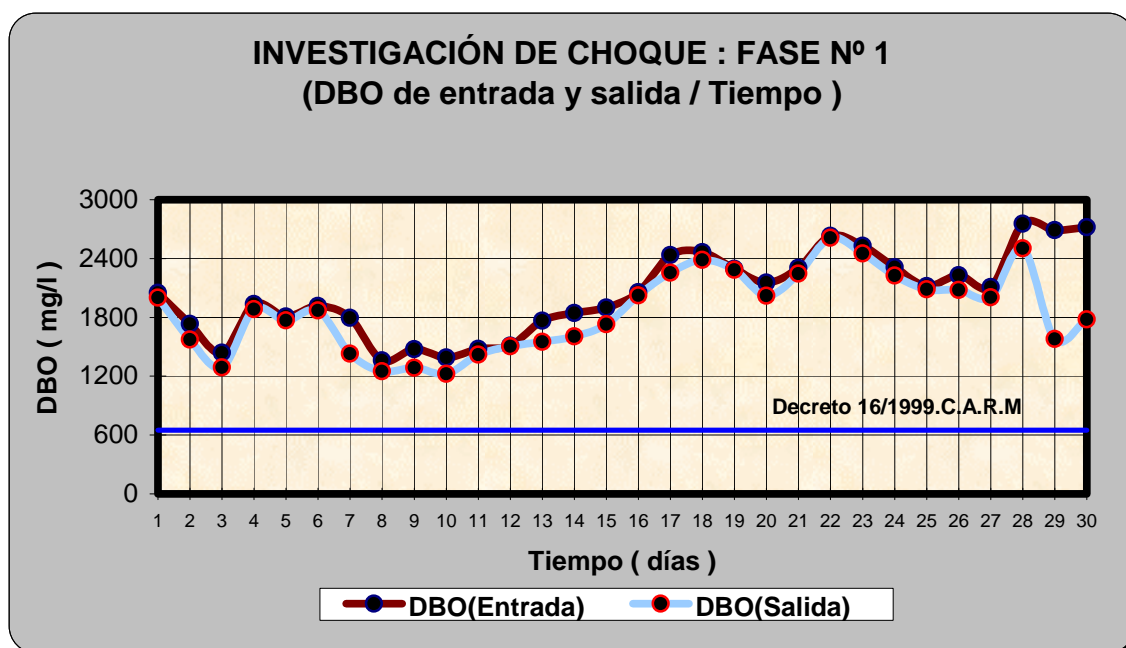


Gráfico 6.2.- Fase nº 1 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo.

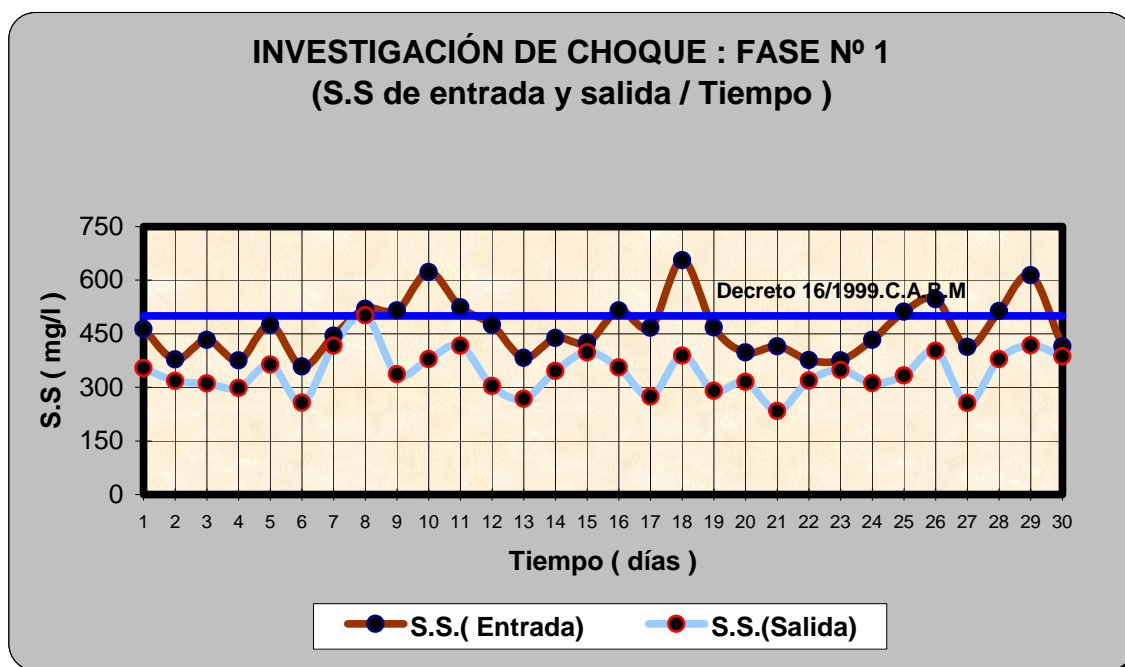


Gráfico 6.3.- Fase nº 1 (I. Choque): S.S. de entrada y salida Tiempo.

Cuadro 6.5.- Fase nº 1 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	1,51%	2,44%	23,54%
2	6,22%	9,22%	15,87%
3	6,86%	10,42%	28,18%
4	7,15%	2,58%	20,53%
5	7,26%	2,21%	23,37%
6	9,44%	2,35%	28,21%
7	13,55%	20,33%	6,08%
8	11,88%	8,09%	3,46%
9	7,21%	12,88%	34,56%
10	1,77%	11,87%	39,17%
11	8,12%	4,05%	20,42%
12	6,46%	0,33%	36,00%
13	14,57%	12,18%	30,03%
14	12,27%	13,01%	21,00%
15	11,77%	8,95%	6,35%
16	0,61%	1,46%	30,87%
17	3,70%	7,39%	41,33%
18	3,71%	3,25%	40,70%
19	1,24%	0,44%	38,03%
20	6,72%	6,26%	20,85%
21	2,47%	2,60%	43,61%
22	0,24%	0,76%	15,16%
23	1,36%	3,16%	6,93%
24	2,75%	3,68%	27,94%
25	0,59%	1,65%	34,96%
26	4,57%	6,73%	26,51%
27	6,02%	4,98%	38,01%
28	9,85%	9,07%	26,12%
29	38,69%	41,26%	31,92%
30	32,91%	34,56%	6,75%

Cuadro 6.6.- Fase n°1 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO ₅ entrada
1	0,042	2,447
2	0,042	2,892
3	0,042	3,484
4	0,042	2,593
5	0,042	2,772
6	0,042	2,620
7	0,042	2,795
8	0,042	3,689
9	0,042	3,401
10	0,042	3,609
11	0,042	3,390
12	0,042	3,322
13	0,042	2,842
14	0,042	2,719
15	0,042	2,641
16	0,042	2,441
17	0,014	0,687
18	0,014	0,678
19	0,014	0,729
20	0,014	0,776
21	0,014	0,726
22	0,014	0,636
23	0,019	1,107
24	0,019	1,212
25	0,019	1,321
26	0,019	1,256
27	0,019	1,327
28	0,019	1,016
29	0,019	1,041
30	0,019	1,029

Cuadro 6.7.- Fase nº 1 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	3,75	2,32	0,52	5,63	3,48	0,79
2	0,07	3,10	1,96	0,43	4,64	2,95	0,64
3	0,07	2,47	1,63	0,49	3,71	2,44	0,74
4	0,07	3,48	2,19	0,42	5,22	3,28	0,64
5	0,07	3,35	2,05	0,54	5,03	3,07	0,81
6	0,07	3,54	2,17	0,41	5,31	3,25	0,61
7	0,07	2,97	2,03	0,50	4,45	3,05	0,75
8	0,07	2,52	1,54	0,59	3,79	2,31	0,88
9	0,07	2,43	1,67	0,58	3,65	2,50	0,87
10	0,07	2,24	1,57	0,71	3,35	2,36	1,06
11	0,07	2,65	1,68	0,59	3,97	2,51	0,89
12	0,07	2,80	1,71	0,54	4,20	2,56	0,81
13	0,07	3,15	2,00	0,43	4,72	3,00	0,65
14	0,07	3,37	2,09	0,50	5,05	3,13	0,74
15	0,07	3,51	2,15	0,48	5,26	3,23	0,72
16	0,07	3,74	2,33	0,58	5,61	3,49	0,87
17	0,21	12,85	8,27	1,59	19,28	12,40	2,38
18	0,21	13,73	8,37	2,23	20,60	12,55	3,34
19	0,21	12,32	7,79	1,59	18,49	11,69	2,38
20	0,21	11,37	7,32	1,35	17,06	10,98	2,03
21	0,21	12,36	7,83	1,41	18,54	11,74	2,11
22	0,21	14,12	8,93	1,28	21,19	13,39	1,91
23	0,21	13,68	8,59	1,27	20,52	12,89	1,91
24	0,21	12,36	7,84	1,47	18,54	11,76	2,21
25	0,21	11,53	7,20	1,74	17,29	10,80	2,61
26	0,21	11,88	7,57	1,86	17,83	11,36	2,79
27	0,21	11,29	7,16	1,40	16,93	10,75	2,10
28	0,21	14,65	9,35	1,74	21,98	14,03	2,61
29	0,21	14,26	9,13	2,08	21,39	13,70	3,13
30	0,21	14,70	9,24	1,41	22,05	13,85	2,11

6.3.2 – Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 1.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.8.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.9.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.10.- Fase nº1 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.11.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 6.12.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 6.13.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 6.8.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	5,1	3.230	1.975	1.360	358
<i>Máximo</i>	15	7,0	4.400	4.330	2.755	656
<i>Rango o Amplitud</i>	10	1,9	1.170	2.355	1.395	298
<i>Media Aritmética</i>	10	6,0	3.910	3.223	2.040	465
<i>Desviación media</i>	4,9778	0,4651	275,6889	559,8000	347,3111	61,0578
<i>Varianza</i>	24,89	0,31	108.669,89	45.4716,00	170.484,89	5.782,65
<i>Desviación típica</i>	4,9889	0,5551	329,6512	674,3263	412,8982	76,0437
<i>Coefficiente de Variación</i>	51,61	9,24	8,43	20,92	20,24	16,36

Cuadro 6.9.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	2,24	1,54	0,41
<i>Máximo</i>	0,21	14,70	9,35	2,23
<i>Rango o Amplitud</i>	0,14	12,47	7,81	1,82
<i>Media Aritmética</i>	0,14	7,67	4,86	1,02
<i>Desviación media</i>	0,0704	4,9137	3,1075	0,5384
<i>Varianza</i>	0,0050	25,0321	9,9916	0,3322
<i>Desviación típica</i>	0,0706	5,0032	3,1609	0,5764
<i>Coefficiente de Variación</i>	51,61	65,21	65,10	56,27

Cuadro 6.10.- Fase nº1 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	3,35	2,31	0,61
<i>Máximo</i>	22,05	14,03	3,34
<i>Rango o Amplitud</i>	18,70	11,72	2,73
<i>Media Aritmética</i>	11,51	7,28	1,54
<i>Desviación media</i>	7,3706	4,6612	0,8076
<i>Varianza</i>	56,3222	22,4811	0,7475
<i>Desviación típica</i>	7,5048	4,7414	0,8646
<i>Coefficiente de Variación</i>	65,21	65,10	56,27

Cuadro 6.11.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	6,4	3.260	1940	1225	234
<i>Máximo</i>	8,8	4.430	4150	2610	502
<i>Rango o Amplitud</i>	2,4	1.170	2210	1385	268
<i>Media Aritmética</i>	7,5	3.930	2954	1864	343
<i>Desviación media</i>	0,6733	279,7111	559,7333	340,2222	47,7000
<i>Varianza</i>	0,59	111.576,56	418.915,25	156.685,14	3.449,18
<i>Desviación típica</i>	0,7661	334,0308	647,2366	395,8347	58,7297
<i>Coefficiente de Variación</i>	10,28	8,50	21,91	21,23	17,13

Cuadro 6.12.- Fase nº1 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	0,24	0,33	3,46
<i>Máximo</i>	38,69	41,26	43,61
<i>Rango o Amplitud</i>	38,45	40,93	40,15
<i>Media Aritmética</i>	8,05	8,27	25,55
<i>Desviación media</i>	5,5041	6,1842	9,4545
<i>Varianza</i>	0,72	0,85	1,31
<i>Desviación típica</i>	8,4674	9,2255	11,4463
<i>Coefficiente de Variación</i>	105,20	111,52	44,80

Cuadro 6.13.- Fase nº 1 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
<i>Mínimo</i>	0,01	0,64
<i>Máximo</i>	0,04	3,69
<i>Rango o Amplitud</i>	0,03	3,05
<i>Media Aritmética</i>	0,03	2,04
<i>Desviación media</i>	0,0112	1,0013
<i>Varianza</i>	0,0001	1,1273
<i>Desviación típica</i>	0,0117	1,0617
<i>Coefficiente de Variación</i>	37,27	52,05

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 6.4.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 6.5.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 6.6.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 6.7.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 6.8.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 6.9.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.10.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 6.11.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.12.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 6.13.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

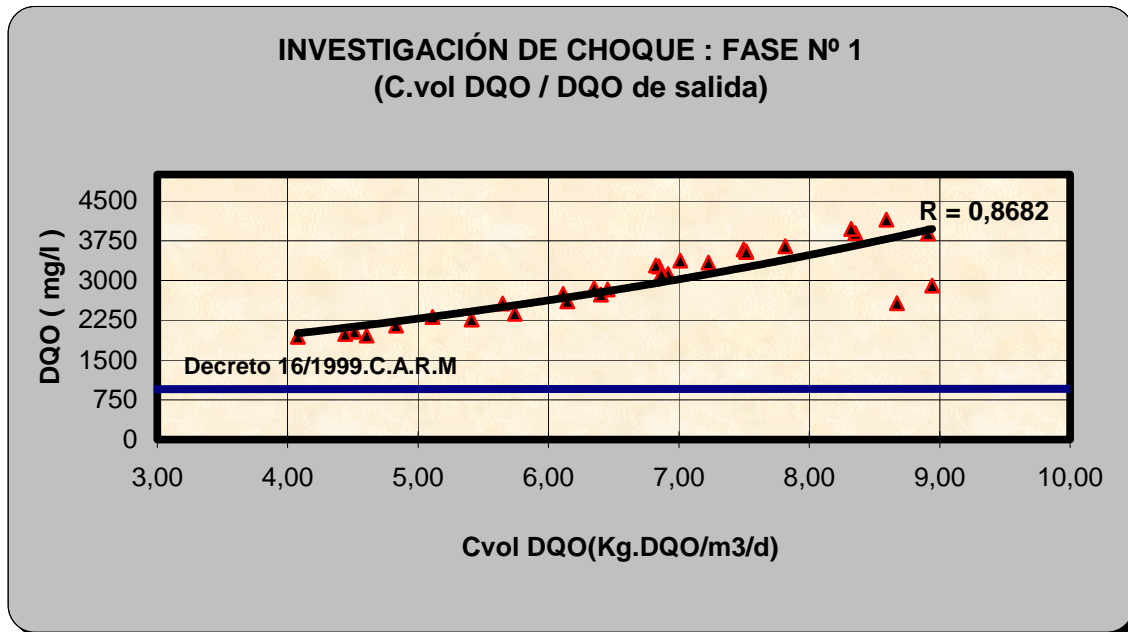


Gráfico 6.4.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida.

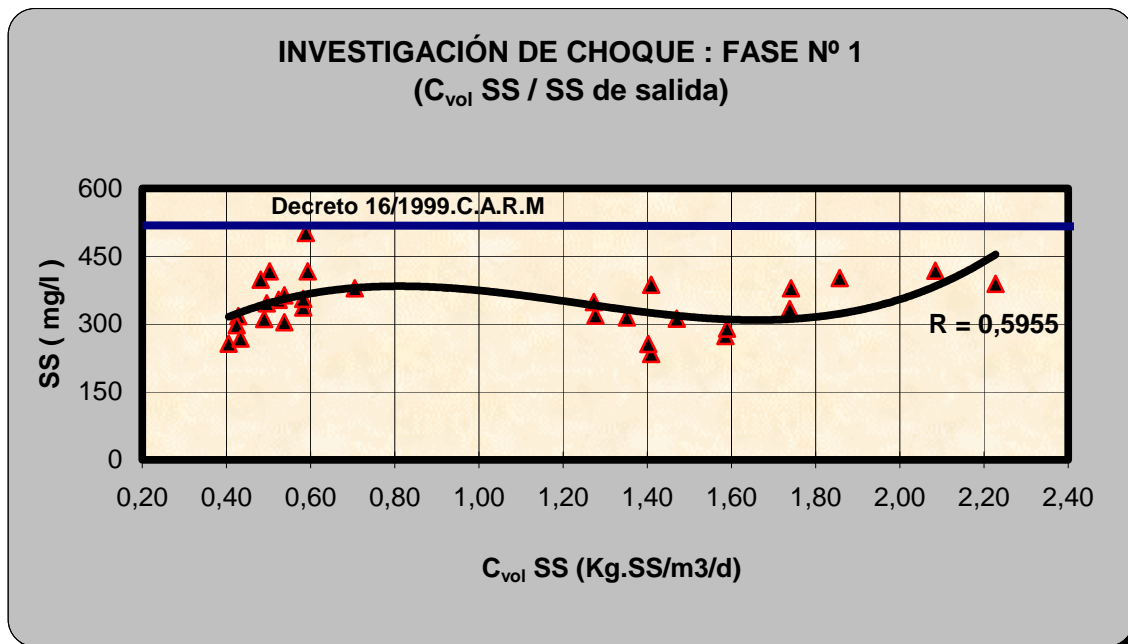


Gráfico 6.5.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida.

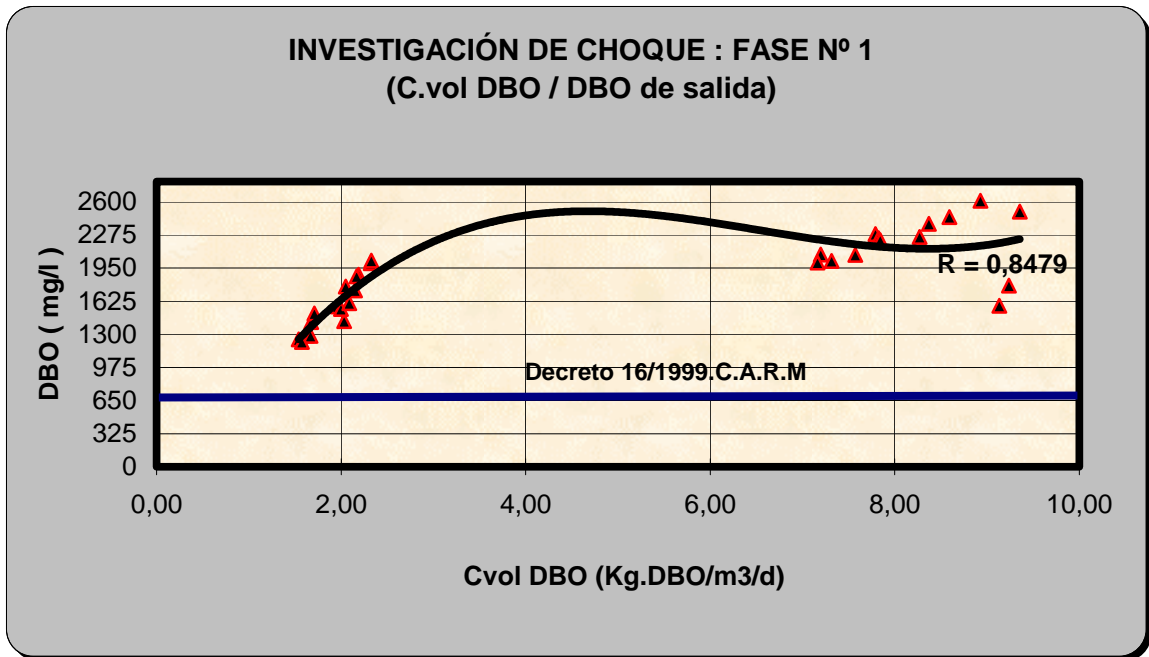


Gráfico 6.6.- Fase n° 1 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.

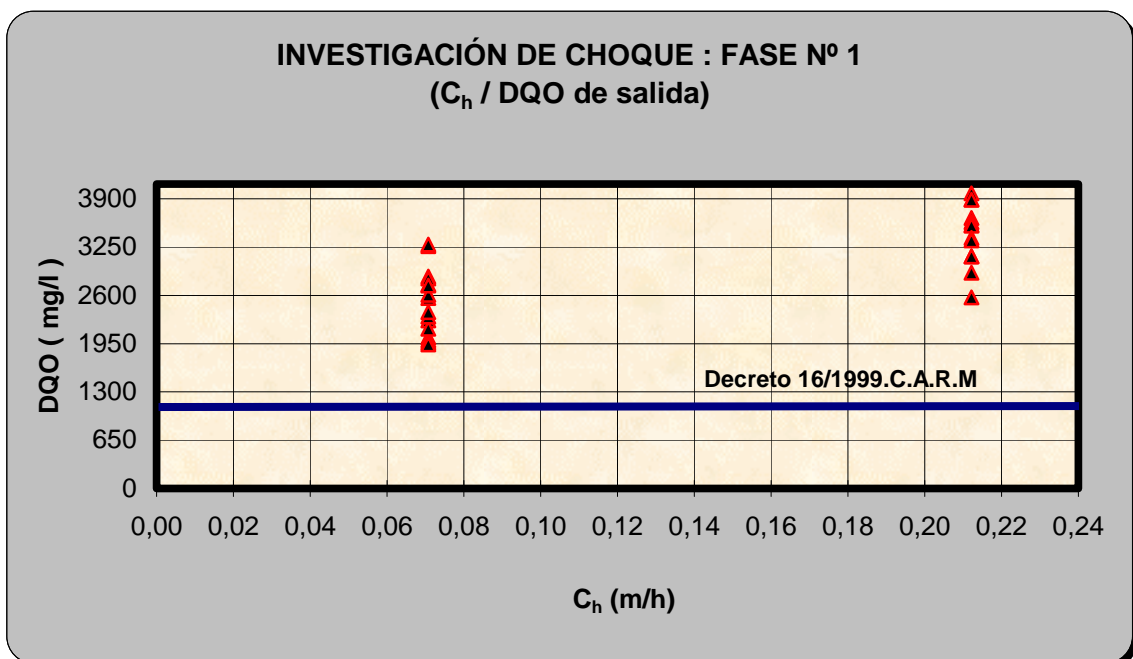


Gráfico 6.7.- Fase n° 1 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida.

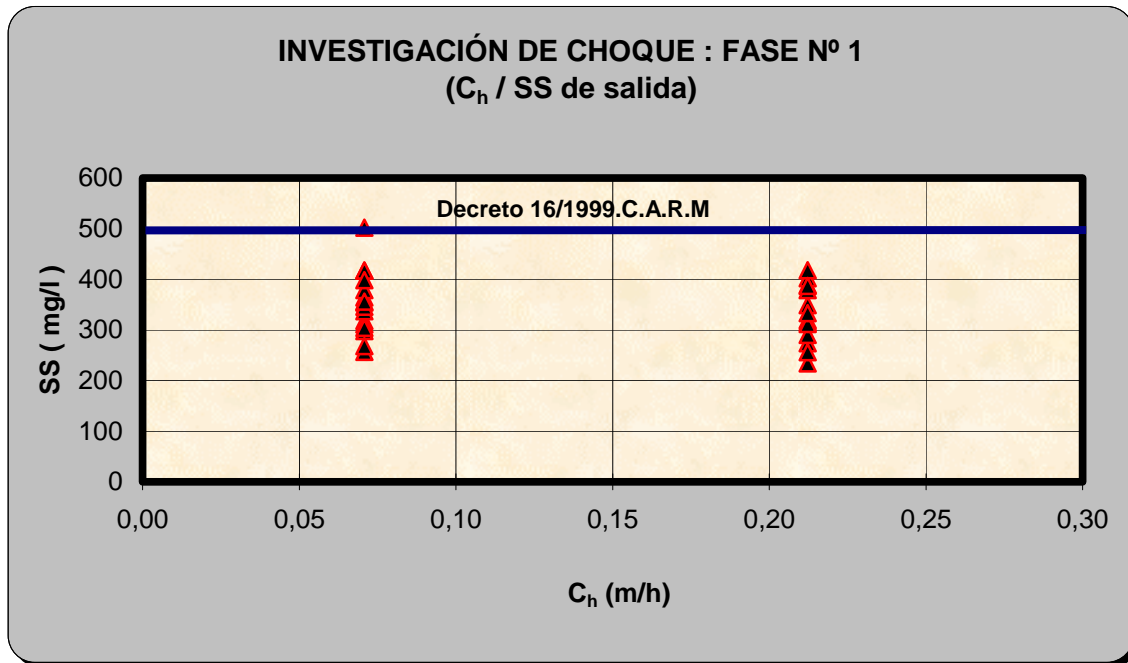


Gráfico 6.8.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida.

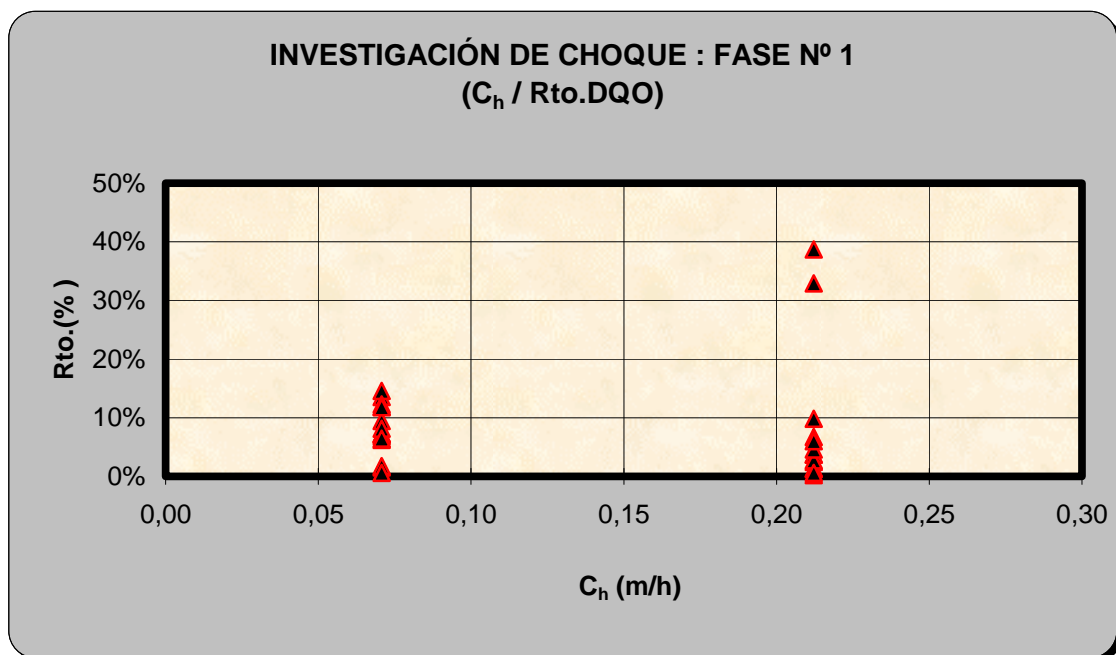


Gráfico 6.9.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

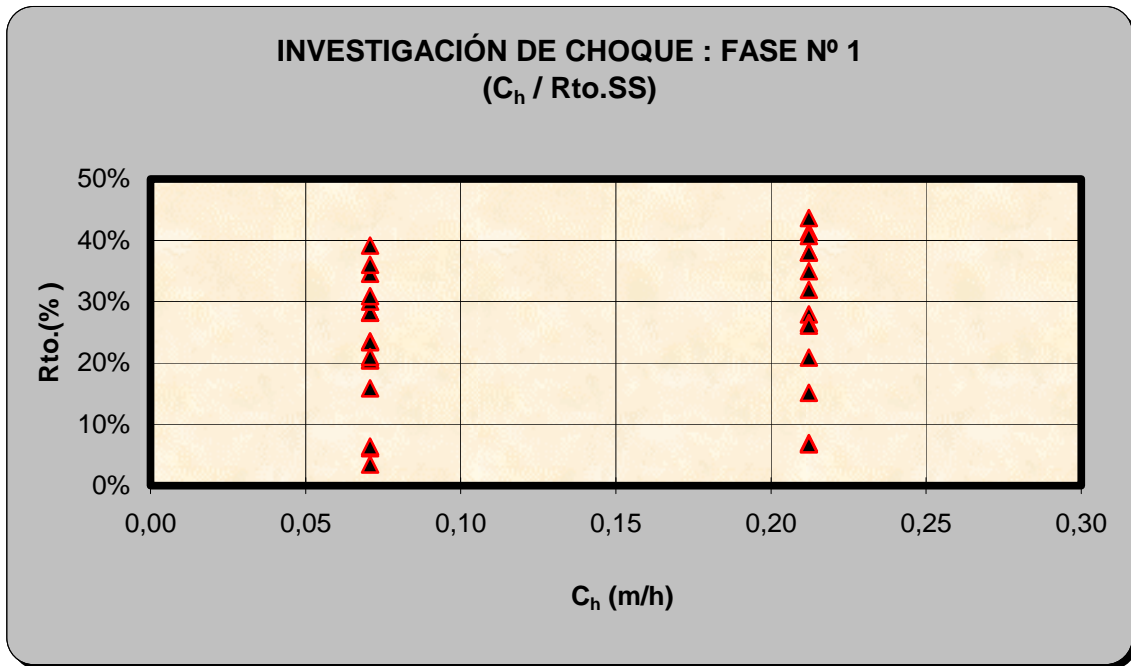


Gráfico 6.10.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

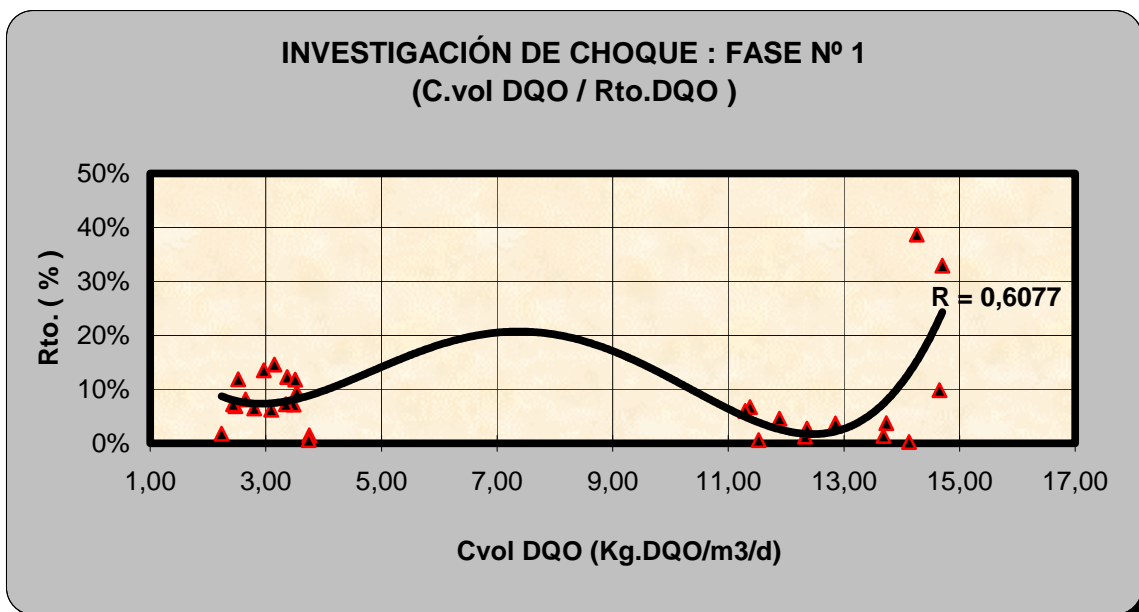


Gráfico 6.11.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

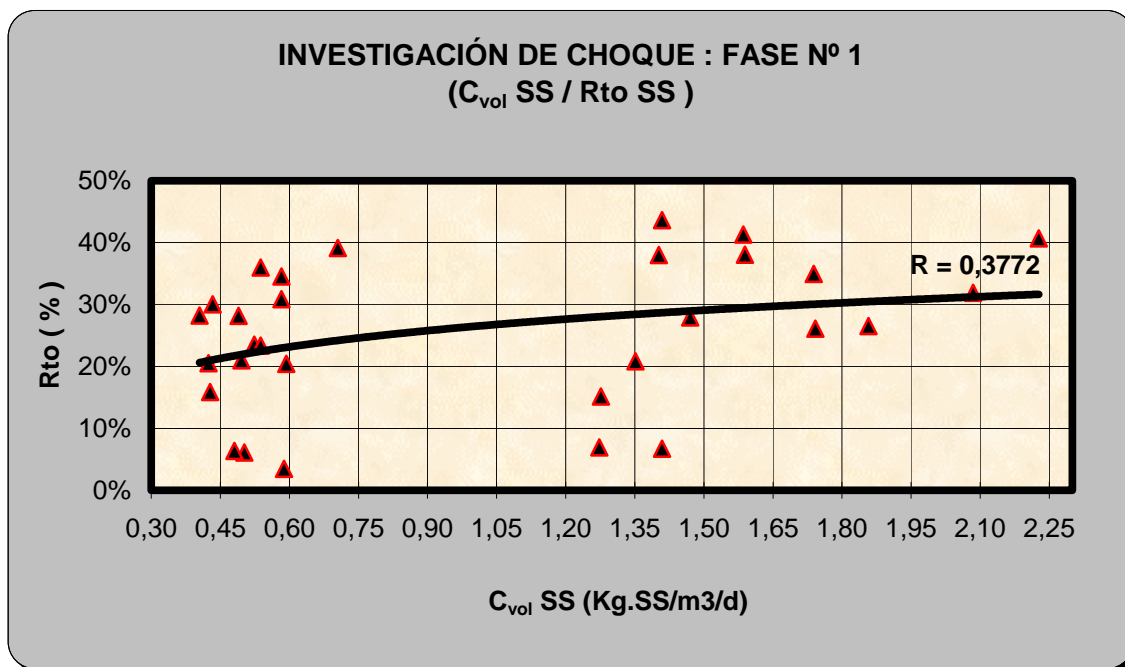


Gráfico 6.12.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

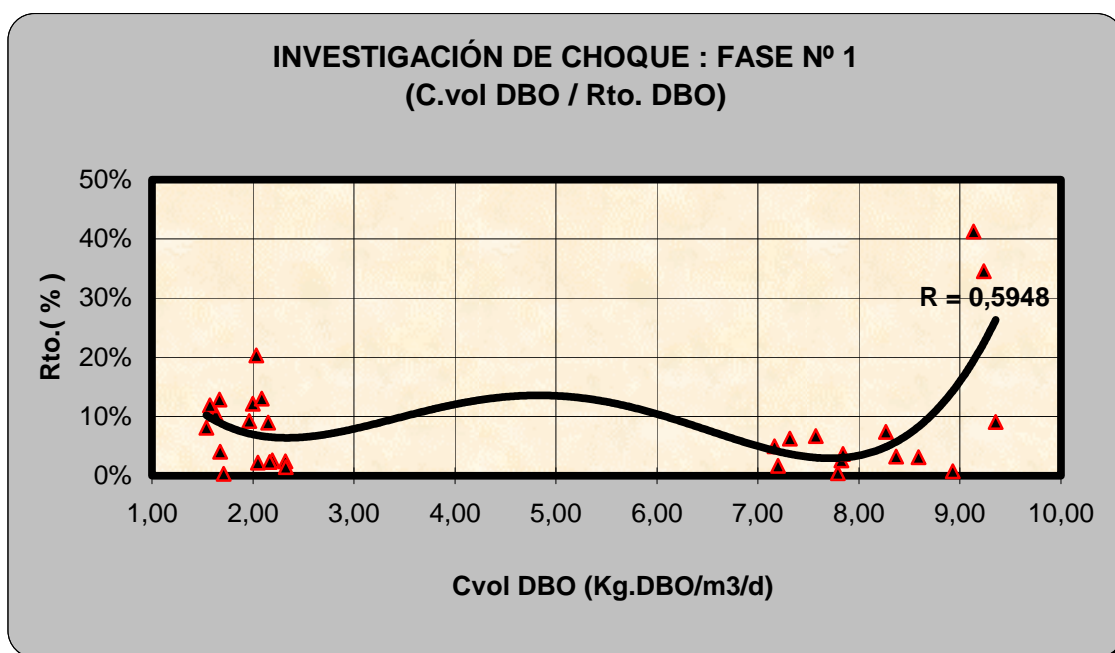


Gráfico 6.13.- Fase nº 1 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

6.3.3.- Discusión y resultados de la Fase nº 1

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. A lo largo de los 30 días que duró esta fase se realizaron tres ensayos: el primero hasta el día 16 se suministró un caudal de aire de proceso de 10,47 Nm³/m²/h con un aporte de agua bruta de 5 l/h. Durante este ensayo se observó un incremento del poder de neutralización del sistema; el segundo hasta el día 21 se mantuvo el aire de proceso y se incrementó el caudal de agua a tratar hasta los 15 l/h. El pH se mantuvo en valores neutros; y por último el tercero hasta el día 30 del ensayo, se elevó el caudal de aire de proceso hasta los 13,96 Nm³/m²/h. Se mantuvo al igual que el anterior ensayo estable el poder de neutralización del sistema.
- b. Para un caudal de aire de proceso de 10,47 Nm³/m²/h y al haber incrementado el caudal de agua bruta de 5 a 15 l/h (días 17 a 21 de la fase) se observó una disminución del rendimiento de eliminación de la DBO₅, y se produjo un aumento del rendimiento de eliminación de los SS, motivado probablemente por la retención física del propio filtro de las partículas.
- c. En cuanto al cumplimiento del Decreto de Vertidos de La Región de Murcia de los límites admisibles para los parámetros DQO y DBO₅, la totalidad de las muestras analizadas de la salida del lecho superaron la concentración máxima instantánea permitida por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l para DQO y 650 mg/l para la DBO₅). El incremento de aporte de oxígeno al sistema no se tradujo en una ligera mejora en los resultados de salida. La planta piloto presentó unos rendimientos de eliminación

muy bajos, pudiendo ser la causa del mal funcionamiento de la misma las bajas concentraciones de nutrientes y los valores extremos de pH.

- d. En lo que respecta al parámetro SS, los resultados obtenidos no superaron (excepto el día 8 del ensayo) la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. No obstante los resultados obtenidos de agua tratada no se pueden calificar de satisfactorios al obtenerse unos rendimientos bajos.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.-Observando los gráficos que representan los rendimientos de eliminación de DQO y DBO₅ presentan una gran dispersión en los datos para el rango de cargas volumétricas ensayadas tanto en DQO (2,24-14,70) como en DBO₅ (1,54-9,35), consecuencia de la poca fiabilidad del sistema.
- b. SS.- Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida se observa que se mantiene con pocas variaciones los niveles de salida para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,44-1,93).

6.3.4 – Resultados analíticos y cargas de trabajo: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 20,94 y 24,44 Nm³/m²/h de aire (0,42 Kg O₂/h y 0,49 Kg O₂/h respectivamente) y flujo contracorriente.

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.14.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 6.15.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 6.14.- Fase nº 2 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.15.- Fase nº 2 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.16.- Fase nº 2 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 6.16.- Fase nº 2 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 6.17.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 6.18.- Fase nº 2 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.14.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	20,94	5	5,93	3.880	3.250	1.990	395	<0,5	43
2	20,94	5	5,96	3.580	3.475	2.365	436		
3	20,94	5	5,72	3.540	3.675	2.510	369		
4	20,94	5	5,40	3.460	3.615	2.595	545	29,15	64
5	20,94	5	5,19	3.430	3.685	2.735	453		
6	20,94	5	5,04	3.500	3.600	2.630	478		
7	20,94	5	5,08	3.510	3.730	2.755	564		
8	20,94	5	5,00	3.520	3.825	2.325	373	<0,5	39
9	20,94	5	4,89	3.380	4.025	2.415	523		
10	20,94	5	4,60	3.430	5.305	3.110	489		
11	20,94	5	4,83	3.330	4.415	3.140	502	33,25	74
12	20,94	15	4,94	3.380	4.815	3.315	478		
13	20,94	15	5,16	3.630	3.845	2.330	429		
14	20,94	15	4,70	3.280	4.560	3.110	468		
15	24,44	15	5,03	3.430	5.370	3.160	384	<0,5	38
16	24,44	15	5,17	3.575	4.985	3.395	423		
17	24,44	15	5,29	3.350	5.090	3.410	456		
18	24,44	15	5,05	3.250	5.465	3.810	515		
19	24,44	15	5,09	3.450	5.500	3.940	438	37,56	56
20	24,44	15	4,99	3.380	5.605	3.815	563		
21	24,44	15	4,82	3.460	5.340	3.380	365		
22	24,44	15	4,64	3.430	5.520	3.975	425		
23	24,44	15	4,63	3.460	5.450	3.370	391	<0,5	49
24	24,44	15	4,70	3.340	5.350	3.400	338	<0,5	37

Cuadro 6.15.- Fase nº 2 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	20,94	5	6,90	3.830	2.995	1.735	364	<0,5	37
2	20,94	5	7,02	3.630	3.150	2.010	333		
3	20,94	5	7,04	3.590	2.995	1.910	332		
4	20,94	5	5,95	3.500	3.355	2.315	278	13,25	28
5	20,94	5	7,57	3.450	1.790	1.125	345		
6	20,94	5	7,88	3.560	1.415	910	333		
7	20,94	5	7,93	3.540	1.785	1.135	398		
8	20,94	5	6,53	3.780	3.030	1.755	347	<0,5	29
9	20,94	5	6,14	3.830	3.475	2.165	267		
10	20,94	5	6,00	3.910	4.630	2.915	297		
11	20,94	5	5,63	3.680	4.305	2.925	333	11,78	14
12	20,94	15	5,62	3.810	3.995	2.430	345		
13	20,94	15	7,25	3.720	2.870	1.805	298		
14	20,94	15	6,36	3.820	3.200	1.985	327		
15	24,44	15	6,82	3.700	4.705	2.825	370	<0,5	32
16	24,44	15	6,75	3.780	4.315	2.745	323		
17	24,44	15	6,91	3.510	4.365	2.660	401		
18	24,44	15	6,64	3.740	5.380	3.595	296		
19	24,44	15	6,29	3.980	5.330	3.770	267	9,35	24
20	24,44	15	6,69	3.780	4.725	2.990	372		
21	24,44	15	6,98	3.780	3.920	2.485	237		
22	24,44	15	6,35	3.800	4.895	3.3.55	267		
23	24,44	15	6,69	3.810	4.460	2.735	356	<0,5	37
24	24,44	15	5,84	3.940	4.085	2.500	318	<0,5	31

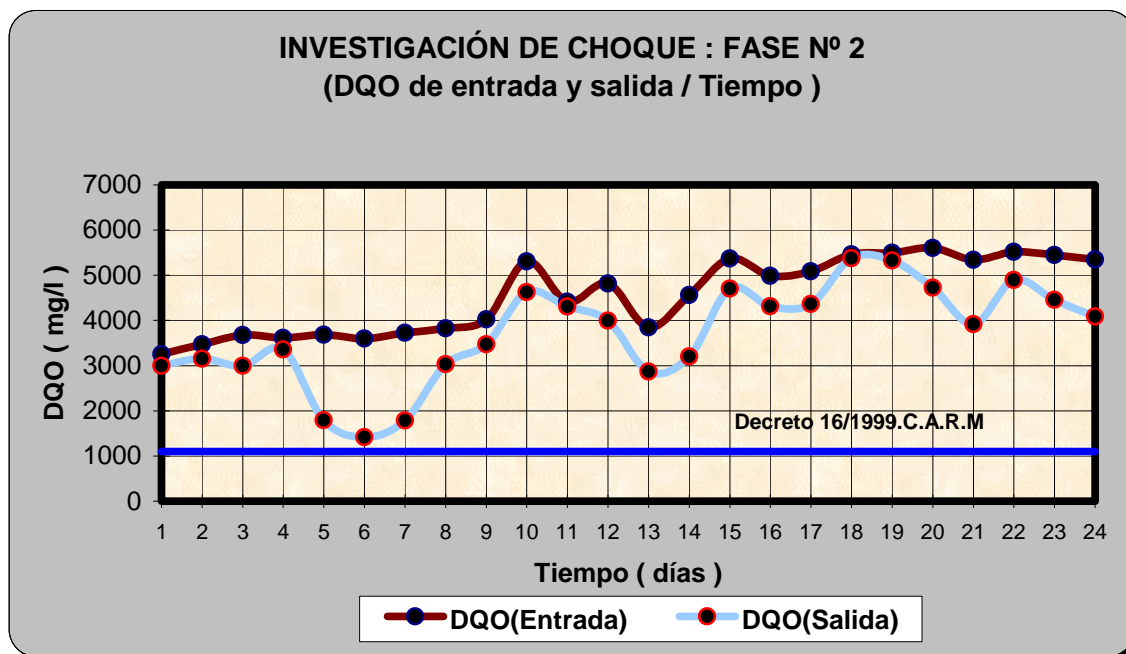


Gráfico 6.14.- Fase nº 2 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo.

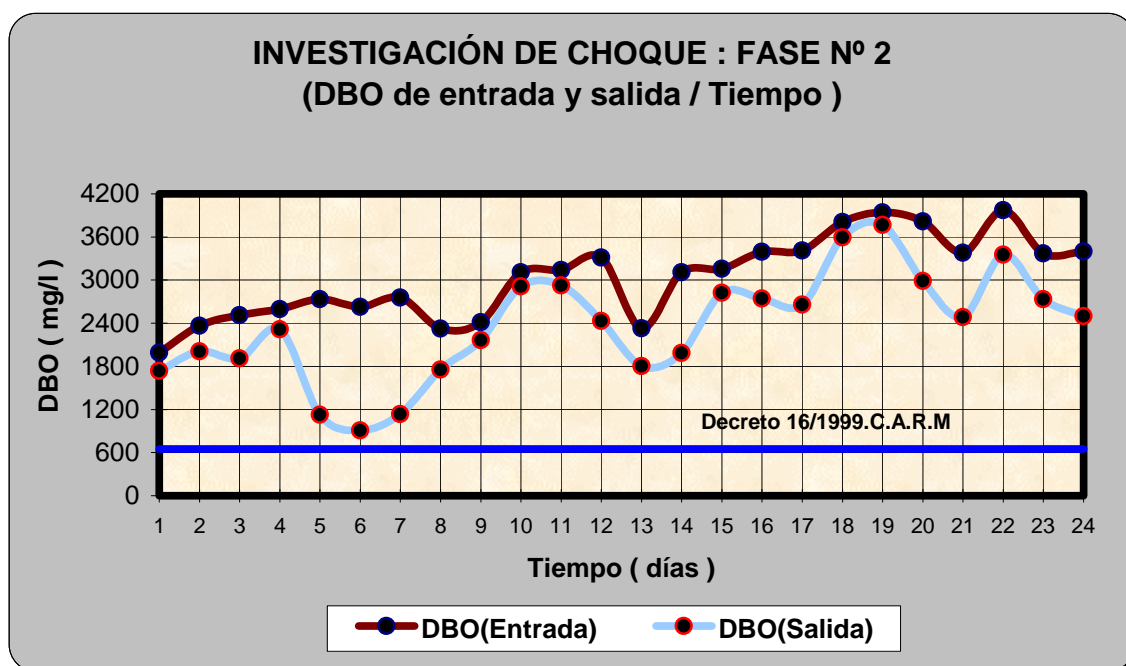


Gráfico 6.15.- Fase nº 2 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo.

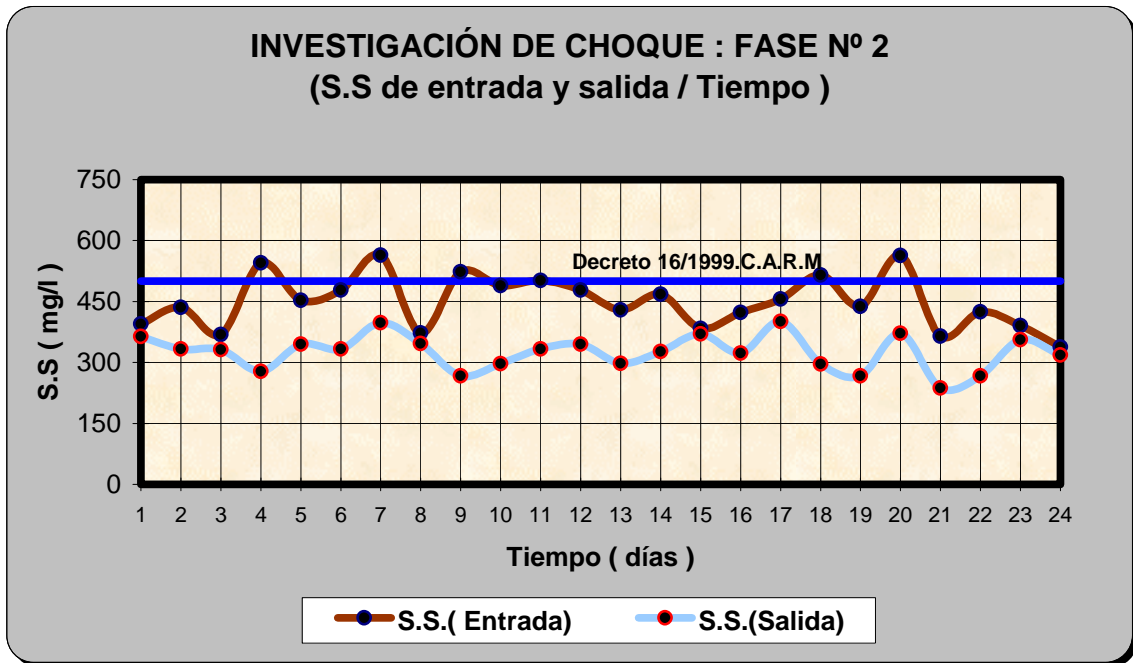


Gráfico 6.16.- Fase nº 2 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 6.16.- Fase nº 2 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	7,85%	12,81%	7,85%
2	9,35%	15,01%	23,62%
3	18,50%	23,90%	10,03%
4	7,19%	10,79%	48,99%
5	51,42%	58,87%	23,84%
6	60,69%	65,40%	30,33%
7	52,14%	58,80%	29,43%
8	20,78%	24,52%	6,97%
9	13,66%	10,35%	48,95%
10	12,72%	6,27%	39,26%
11	2,49%	6,85%	33,67%
12	17,03%	26,70%	27,82%
13	25,36%	22,53%	30,54%
14	29,82%	36,17%	30,13%
15	12,38%	10,60%	3,65%
16	13,44%	19,15%	23,64%
17	14,24%	21,99%	12,06%
18	1,56%	5,64%	42,52%
19	3,09%	4,31%	39,04%
20	15,70%	21,63%	33,93%
21	26,59%	26,48%	35,07%
22	11,32%	15,60%	37,18%
23	18,17%	18,84%	8,95%
24	23,64%	26,47%	5,92%

Cuadro 6.17.- Fase n°2 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
1	0,084	5,065
2	0,084	4,262
3	0,084	4,016
4	0,084	3,884
5	0,084	3,686
6	0,084	3,833
7	0,084	3,659
8	0,084	4,335
9	0,084	4,174
10	0,084	3,241
11	0,084	3,210
12	0,028	1,014
13	0,028	1,442
14	0,028	1,080
15	0,033	1,241
16	0,033	1,155
17	0,033	1,150
18	0,033	1,029
19	0,033	0,995
20	0,033	1,028
21	0,033	1,160
22	0,033	0,986
23	0,033	1,163
24	0,033	1,153

Cuadro 6.18.- Fase nº 2 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO/m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO (Kg.DBO/m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	3,68	2,25	0,45	5,52	3,38	0,67
2	0,07	3,93	2,68	0,49	5,90	4,01	0,74
3	0,07	4,16	2,84	0,42	6,24	4,26	0,63
4	0,07	4,09	2,94	0,62	6,14	4,41	0,93
5	0,07	4,17	3,10	0,51	6,26	4,64	0,77
6	0,07	4,07	2,98	0,54	6,11	4,46	0,81
7	0,07	4,22	3,12	0,64	6,33	4,68	0,96
8	0,07	4,33	2,63	0,42	6,49	3,95	0,63
9	0,07	4,56	2,73	0,59	6,83	4,10	0,89
10	0,07	6,00	3,52	0,55	9,01	5,28	0,83
11	0,07	5,00	3,55	0,57	7,50	5,33	0,85
12	0,21	16,35	11,26	1,62	24,52	16,88	2,43
13	0,21	13,05	7,91	1,46	19,58	11,87	2,18
14	0,21	15,48	10,56	1,59	23,22	15,84	2,38
15	0,21	18,23	10,73	1,30	27,35	16,09	1,96
16	0,21	16,93	11,53	1,44	25,39	17,29	2,15
17	0,21	17,28	11,58	1,55	25,92	17,37	2,32
18	0,21	18,56	12,94	1,75	27,83	19,40	2,62
19	0,21	18,67	13,38	1,49	28,01	20,07	2,23
20	0,21	19,03	12,95	1,91	28,55	19,43	2,87
21	0,21	18,13	11,48	1,24	27,20	17,21	1,86
22	0,21	18,74	13,50	1,44	28,11	20,24	2,16
23	0,21	18,50	11,44	1,33	27,76	17,16	1,99
24	0,21	18,16	11,54	1,15	27,25	17,32	1,72

6.3.5 – Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 2.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.19.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.20.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.21.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.22.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 6.23.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 6.24.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 6.19.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	4,6	3.250	3.250	1.990	338
<i>Máximo</i>	15	6,0	3.880	5.605	3.975	564
<i>Rango o Amplitud</i>	10	1,4	630	2.355	1.985	226
<i>Media Aritmética</i>	10	5,1	3457	4.562	3.041	450
<i>Desviación media</i>	4,9653	0,2671	90,3993	753,9583	479,8611	52,8333
<i>Varianza</i>	24,83	0,13	16.235,37	65.7616,62	30.7913,89	3990,08
<i>Desviación típica</i>	4,9826	0,3643	127,4181	810,9356	554,8999	63,1671
<i>Coefficiente de Variación</i>	47,83	7,15	3,69	17,77	18,25	14,04

Cuadro 6.20.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	3,68	2,25	0,42
<i>Máximo</i>	0,21	19,03	13,50	1,91
<i>Rango o Amplitud</i>	0,14	15,35	11,24	1,49
<i>Media Aritmética</i>	0,15	11,47	7,63	1,04
<i>Desviación media</i>	0,0702	6,4988	4,2996	0,4738
<i>Varianza</i>	0,0050	44,1261	19,7597	0,2502
<i>Desviación típica</i>	0,0705	6,6428	4,4452	0,5002
<i>Coefficiente de Variación</i>	47,83	57,90	58,26	47,89

Cuadro 6.21.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	5,52	3,38	0,63
<i>Máximo</i>	28,55	20,24	2,87
<i>Rango o Amplitud</i>	23,03	16,87	2,24
<i>Media Aritmética</i>	17,21	11,45	1,57
<i>Desviación media</i>	8,4712	5,9001	0,7106
<i>Varianza</i>	99,2838	44,4594	0,5629
<i>Desviación típica</i>	9,9641	6,6678	0,7503
<i>Coefficiente de Variación</i>	57,90	58,26	47,89

Cuadro 6.22.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5,6	3.450	1.415	910	237
<i>Máximo</i>	7,9	3.980	5.380	3.770	401
<i>Rango o Amplitud</i>	2,3	530	3.965	2.860	164
<i>Media Aritmética</i>	6,7	3.728	3.715	2.366	325
<i>Desviación media</i>	0,4902	116,5972	900,7986	597,8472	33,6389
<i>Varianza</i>	0,38	19.691,49	11.36060,24	53.5857,64	1.741,72
<i>Desviación típica</i>	0,6183	140,3264	1.065,8613	732,0230	41,7339
<i>Coefficiente de Variación</i>	9,29	3,76	28,69	30,94	12,83

Cuadro 6.23.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO(%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	1,56	4,31	3,65
<i>Máximo</i>	60,69	65,40	48,99
<i>Rango o Amplitud</i>	59,14	61,08	45,34
<i>Media Aritmética</i>	19,55	22,90	26,39
<i>Desviación media</i>	11,1730	11,7646	11,4487
<i>Varianza</i>	2,31	2,70	1,84
<i>Desviación típica</i>	15,2039	16,4466	13,5730
<i>Coefficiente de Variación</i>	77,77	71,81	51,43

Cuadro 6.24.- Fase nº 2 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
<i>Mínimo</i>	0,03	0,99
<i>Máximo</i>	0,08	5,07
<i>Rango o Amplitud</i>	0,06	4,08
<i>Media Aritmética</i>	0,06	2,41
<i>Desviación media</i>	0,0260	1,4001
<i>Varianza</i>	0,0007	2,0970
<i>Desviación típica</i>	0,0262	1,4481
<i>Coefficiente de Variación</i>	47,03	59,96

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación

Gráfico 6.17.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 6.18.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 6.19.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 6.20.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 6.21.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 6.22.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.23.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 6.24.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.25.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 6.26.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

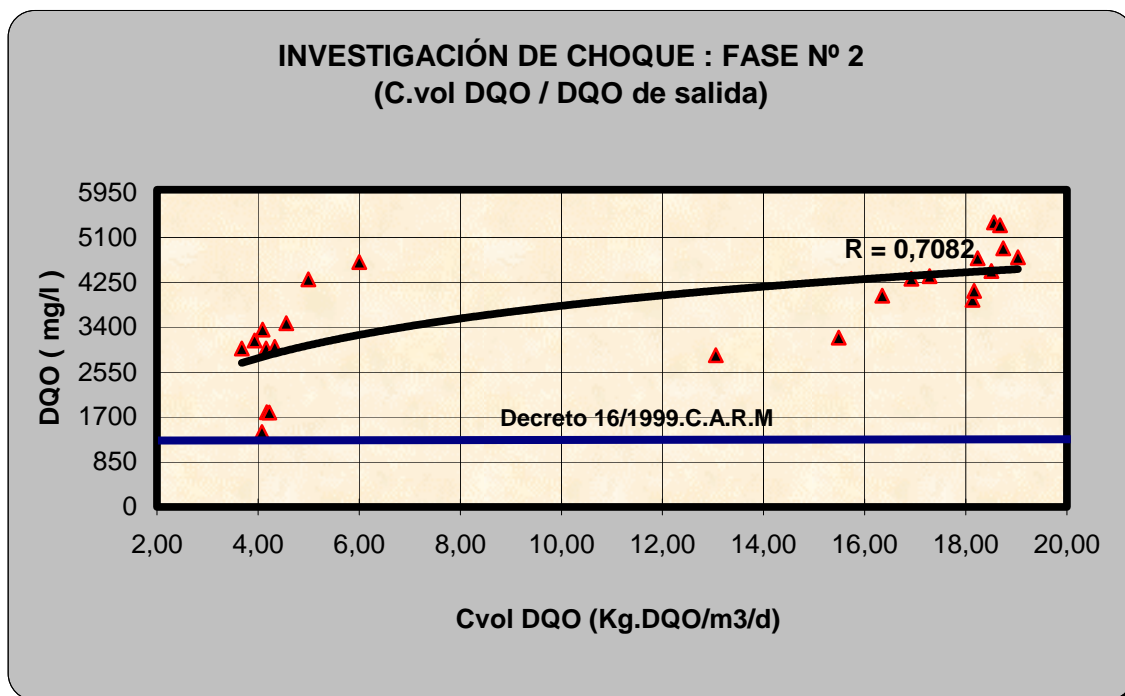


Gráfico 6.17.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida.

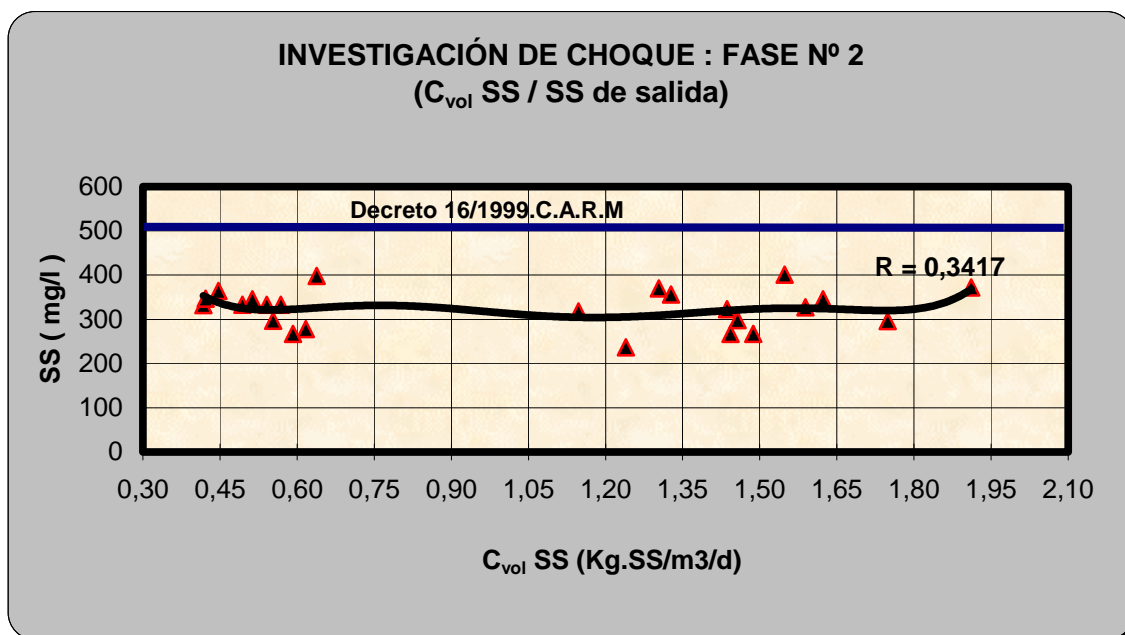


Gráfico 6.18.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida.

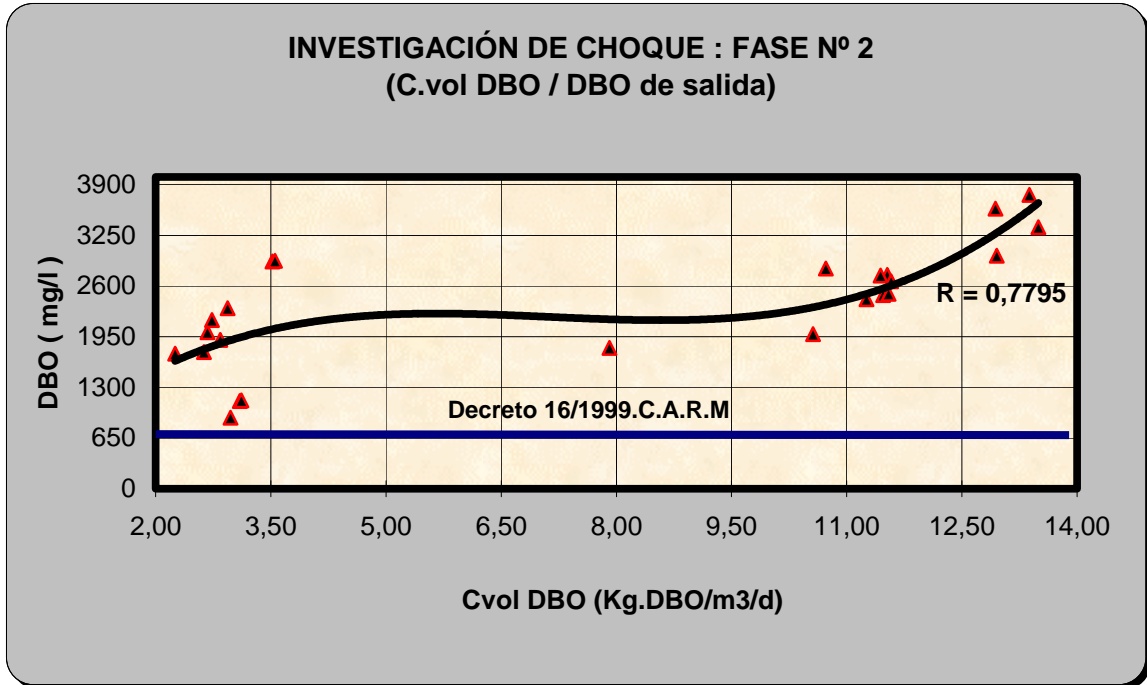


Gráfico 6.19.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.

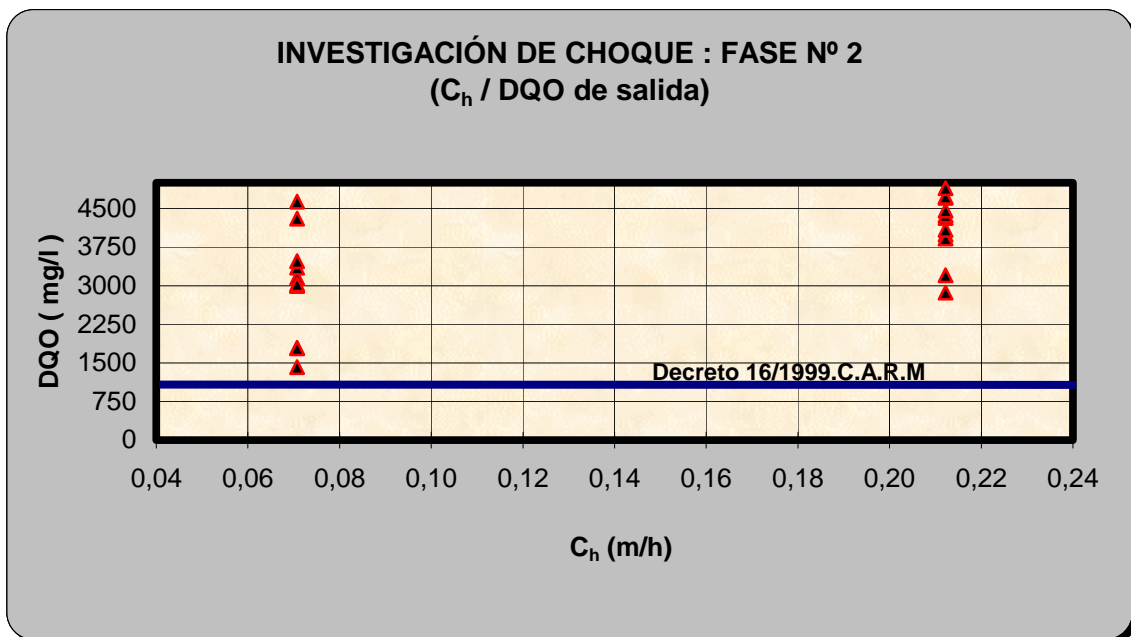


Gráfico 6.20.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida.

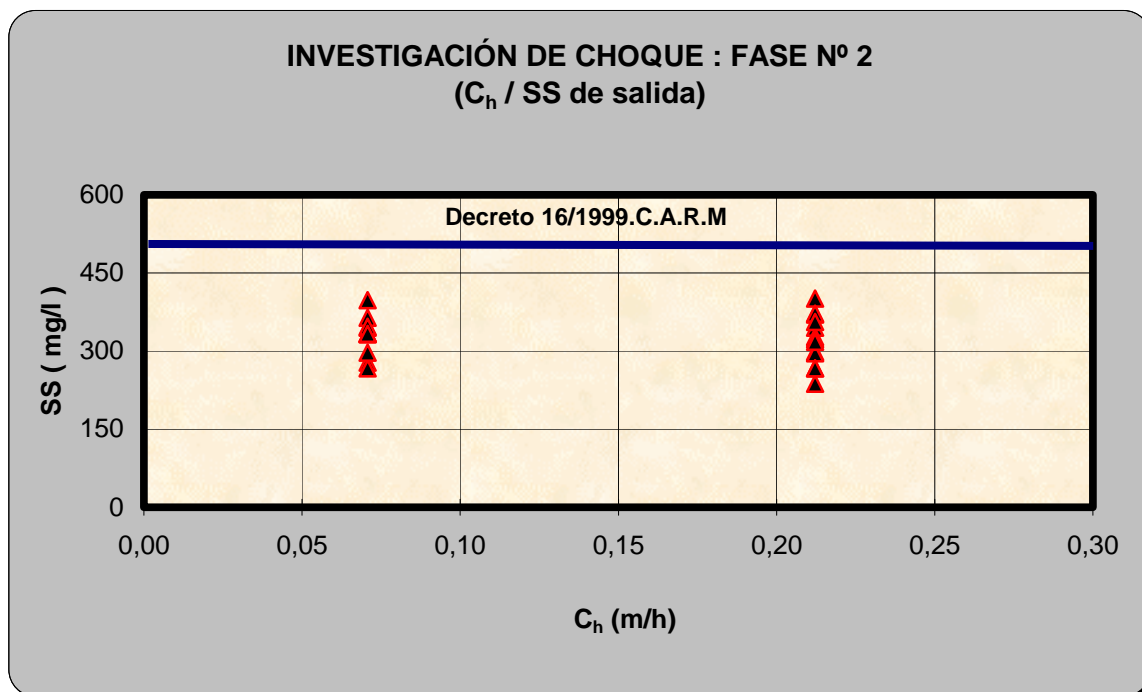


Gráfico 6.21.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida.

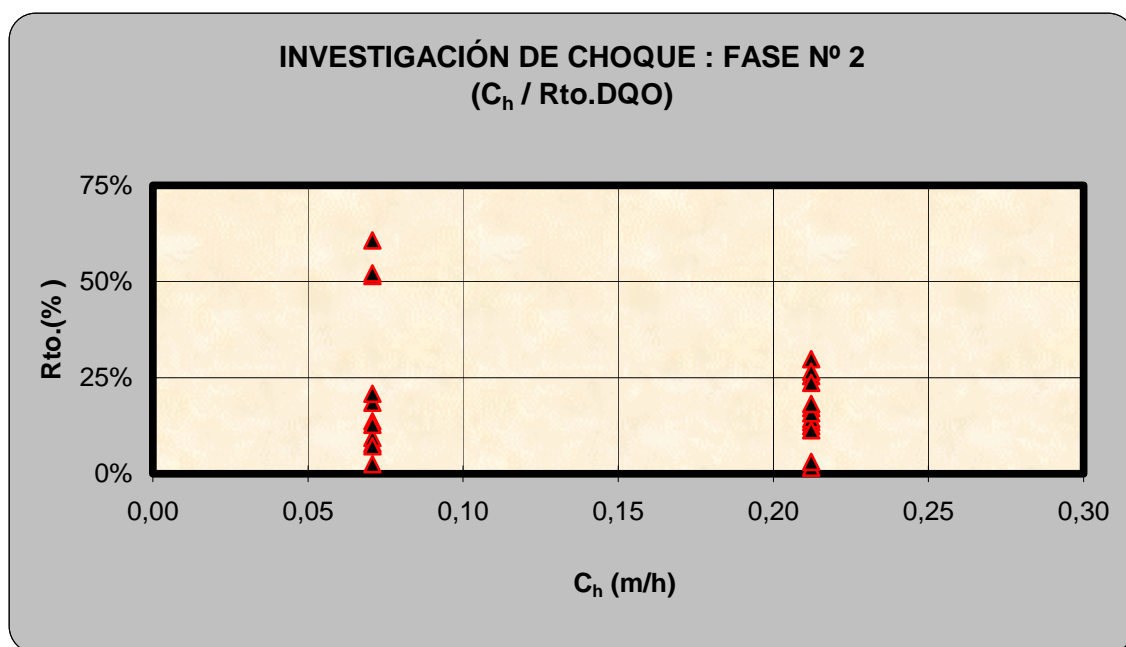


Gráfico 6.22.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

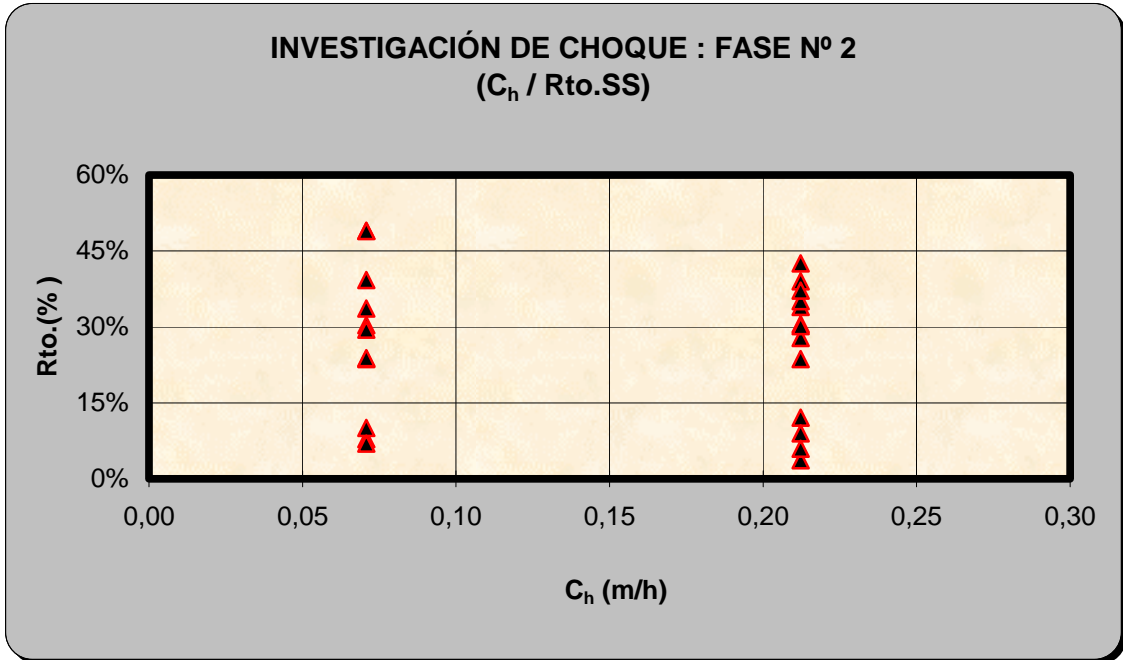


Gráfico 6.23.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

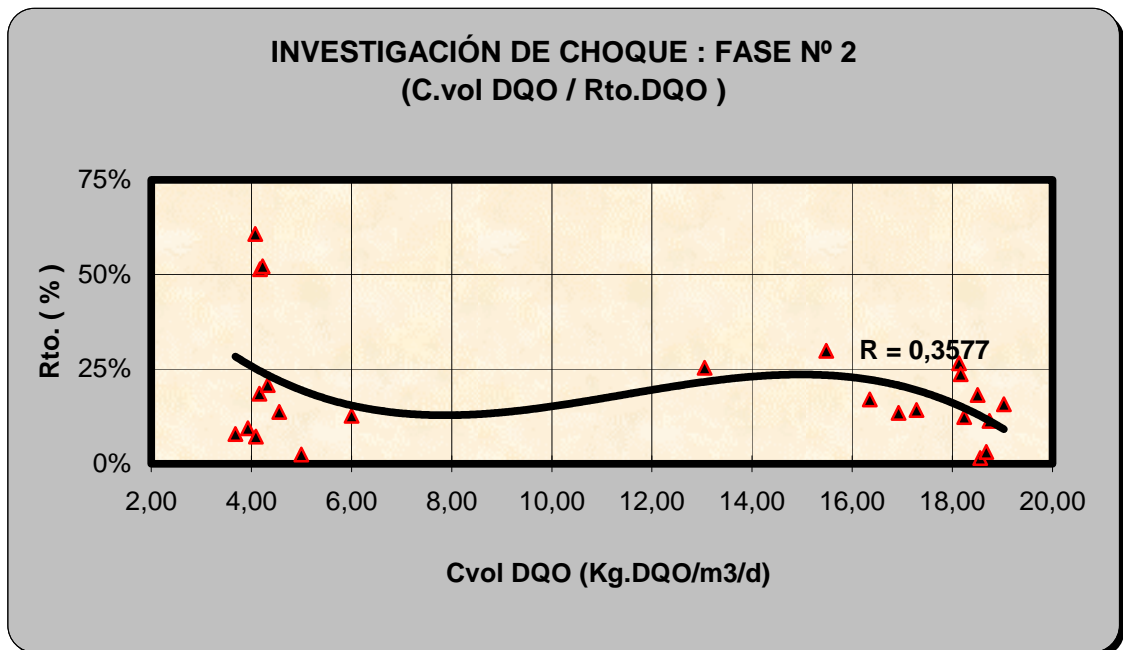


Gráfico 6.24.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

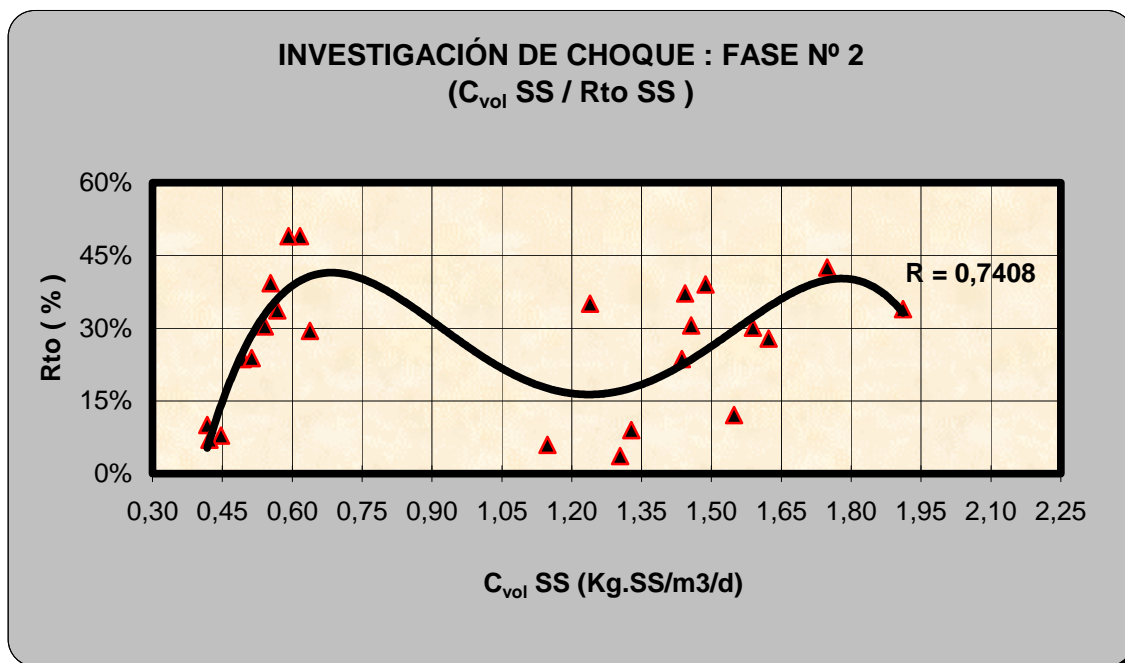


Gráfico 6.25.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

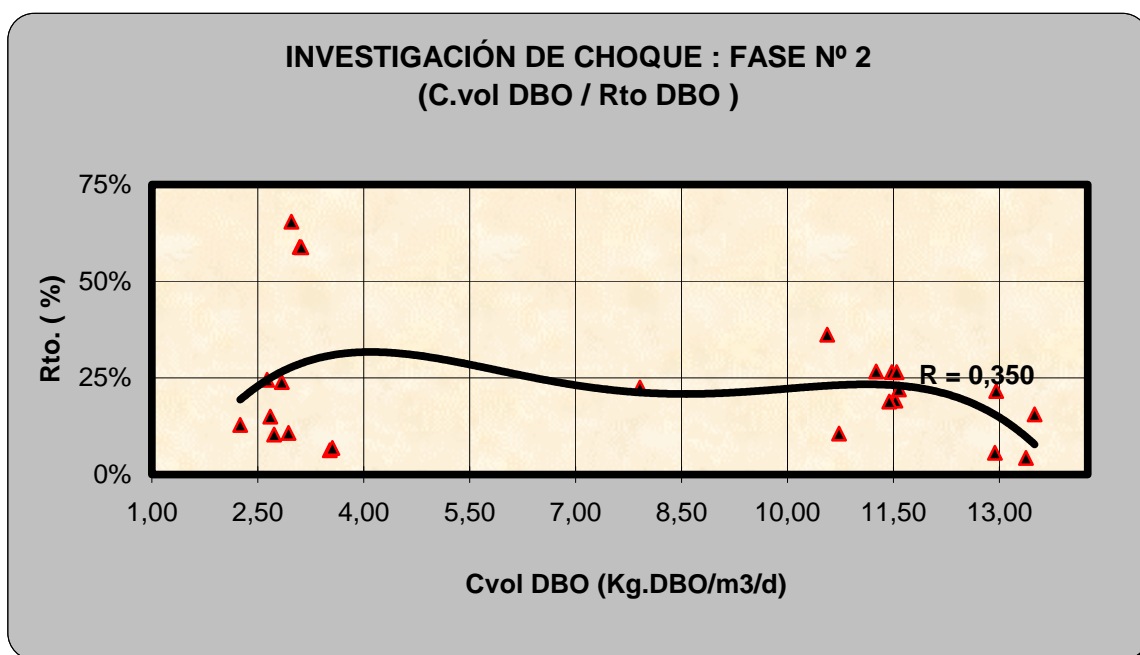


Gráfico 6.26.- Fase nº 2 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

6.3.6.- Discusión y resultados de la Fase nº 2

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. A lo largo de los veinticuatro días que duró esta fase se realizaron tres ensayos: el primero hasta el día once se suministró un caudal de aire de proceso de $20,94 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ con un aporte de agua bruta de 5 l/h. Durante este ensayo, en general se observó una buena neutralización del agua a tratar. Así mismo las concentraciones de los nutrientes presentaron grandes fluctuaciones a lo largo del ensayo; el segundo hasta el día catorce se mantuvo el aire de proceso y se incrementó el caudal de agua a tratar hasta los 15 l/h. El pH presentó valores poco habituales para un agua a la que se le ha sometido a un tratamiento biológico de depuración.; y por último el tercero hasta el día 24 del ensayo, se elevó el caudal de aire de proceso hasta los $24,44 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Se mantuvieron estables los valores de pH en el agua tratada, mostrando un buen poder de tamponamiento frente a los valores bajos del agua de entrada. Las concentraciones de nutrientes siguieron la misma pauta que en el ensayo primero.
- b. A lo largo de toda la experimentación durante esta fase se produjeron rendimientos de eliminación de DBO_5 mayores que la media pero que no fueron estables en el tiempo, pues se producía un empeoramiento del rendimiento de eliminación en días posteriores.
- c. En cuanto al cumplimiento del Decreto de Vertidos de la Región de Murcia para los parámetros DQO y DBO_5 , la totalidad de las muestras analizadas de la salida del lecho superaron la concentración máxima instantáneas permitida

por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l para la DQO y 650 mg/l para la DBO₅). En esta fase se incrementó el aporte de oxígeno al sistema para comprobar si era capaz de paliar la falta de nutrientes aunque se sabía que este incremento de consumo energético no justificaba la viabilidad económica del sistema. Los resultados obtenidos en esta fase no se tradujeron en una mejora en los resultados de salida.

- d. En lo que respecta al parámetro SS, los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. No obstante los resultados obtenidos de agua tratada no se pueden calificar de satisfactorios al obtenerse unos rendimientos extremadamente bajos.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Observando los gráficos que representan los rendimientos de eliminación de DQO/DBO₅ presentan una gran dispersión en los datos para el rango de cargas volumétricas ensayadas tanto en DQO (3,68-19,03) como en DBO₅ (2,25-13,50), consecuencia de la poca fiabilidad del sistema.
- b. SS.- Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida se observa que se mantiene prácticamente constante los niveles de salida para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,42-1,91).

6.3.7 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 3: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 10,47 y 13,96 Nm³/m²/h de aire(0,21 Kg O₂/h y 0,28 Kg O₂/h respectivamente) y flujo contracorriente.

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.25.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 6.26.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 6.27.- Fase nº 3 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.28.- Fase nº 3 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.29.- Fase nº 3 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 6.27.- Fase nº 3 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 6.28.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 6.29.- Fase nº 3 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.25.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	6,94	4.280	3.275	2.000	433	<0,5	39
2	10,47	5	7,23	4.280	2.690	1.705	456		
3	10,47	5	7,48	4.390	2.715	1.790	498		
4	10,47	5	7,31	2.800	2.130	1.645	468	17,43	87,35
5	10,47	5	6,63	3.850	3.155	1.945	512		
6	10,47	5	6,65	3.860	2.950	1.945	487		
7	10,47	5	5,38	3.740	3.190	1.960	398		
8	10,47	5	7,34	3.840	2.625	1.655	575	<0,5	37
9	10,47	5	7,63	3.710	2.420	1.765	523		
10	10,47	5	7,70	3.940	2.250	1.510	498		
11	10,47	5	5,52	3.850	3.035	1.985	438		
12	10,47	5	7,20	4.030	3.205	1.975	367		
13	10,47	5	8,32	3.290	3.315	2.010	456		
14	10,47	5	8,26	3.250	3.275	2.025	385	<0,5	28
15	10,47	5	8,00	3.300	3.125	1.915	434		
16	10,47	5	8,53	3.240	3.290	2.025	556		
17	10,47	15	7,16	4.240	3.300	2.005	396		
18	10,47	15	6,47	4.470	4.110	2.670	543	31,14	63,21
19	10,47	15	6,45	4.220	4.330	2.770	523		
20	10,47	15	5,96	4.140	4.115	2.650	454		
21	10,47	15	6,05	4.210	4.500	2.810	423		
22	10,47	15	6,02	4.220	4.520	2.835	418	<0,5	32
23	13,96	15	6,33	4.050	3.970	2.375	435	<0,5	36
24	13,96	15	6,77	4.200	3.485	2.210	523		
25	13,96	15	6,26	4.170	3.545	2.290	443		
26	13,96	15	5,21	3.740	4.300	2.710	374		
27	13,96	15	5,27	3.790	4.665	2.975	412		
28	13,96	15	5,04	3.780	4.440	2.790	389		
29	13,96	15	5,19	4.115	4.345	2.730	461		
30	13,96	15	5,53	3.995	4.455	2.710	384	<0,5	39

Cuadro 6.26.- Fase nº 3 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	7,10	4.300	3.225	1.975	401	<0,5	26
2	10,47	5	7,46	4.300	2.640	1.635	378		
3	10,47	5	7,73	4.340	2.100	1.325	367		
4	10,47	5	7,51	2.630	1.955	1.335	376	5,34	18
5	10,47	5	6,88	3.730	2.855	1.815	297		
6	10,47	5	6,78	3.840	2.835	1.905	268		
7	10,47	5	7,33	3.890	2.410	1.545	254		
8	10,47	5	7,97	3.870	1.770	950	357	<0,5	23
9	10,47	5	8,23	3.650	1.930	1.295	297		
10	10,47	5	7,99	3.940	2.090	1.310	286		
11	10,47	5	7,67	4.030	2.225	1.380	296		
12	10,47	5	7,69	4.060	2.845	1.790	312		
13	10,47	5	8,37	3.320	2.735	1.760	356		
14	10,47	5	8,16	3.310	2.670	1.675	234	<0,5	18
15	10,47	5	7,63	3.550	1.850	1.345	318		
16	10,47	5	8,35	3.330	1.765	945	296		
17	10,47	15	7,44	4.280	3.180	1.945	259		
18	10,47	15	7,47	4.600	4.085	2.660	376	6,45	21
19	10,47	15	6,81	4.290	4.255	2.750	267		
20	10,47	15	6,28	4.230	3.875	2.480	288		
21	10,47	15	6,84	4.280	4.230	2.770	345		
22	10,47	15	6,47	4.300	4.375	2.705	361	<0,5	22
23	13,96	15	6,76	4.110	3.510	2.240	387	<0,5	26
24	13,96	15	6,70	4.230	3.480	2.195	245		
25	13,96	15	6,31	4.190	3.380	2.130	333		
26	13,96	15	6,15	3.890	3.470	2.165	256		
27	13,96	15	7,78	3.750	2.400	1.510	285		
28	13,96	15	5,75	4.010	3.750	2.470	343		
29	13,96	15	7,16	3.755	3.625	2.355	278		
30	13,96	15	7,32	3.875	3.530	2.180	257	<0,5	30

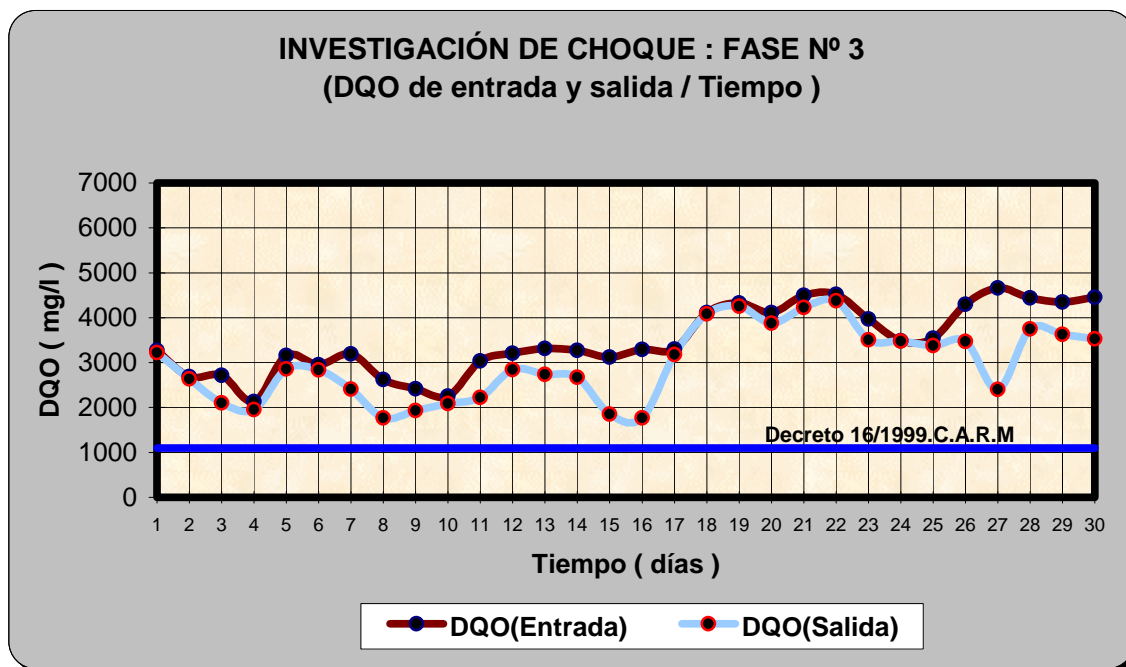


Gráfico 6.27.- Fase nº 3 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo.

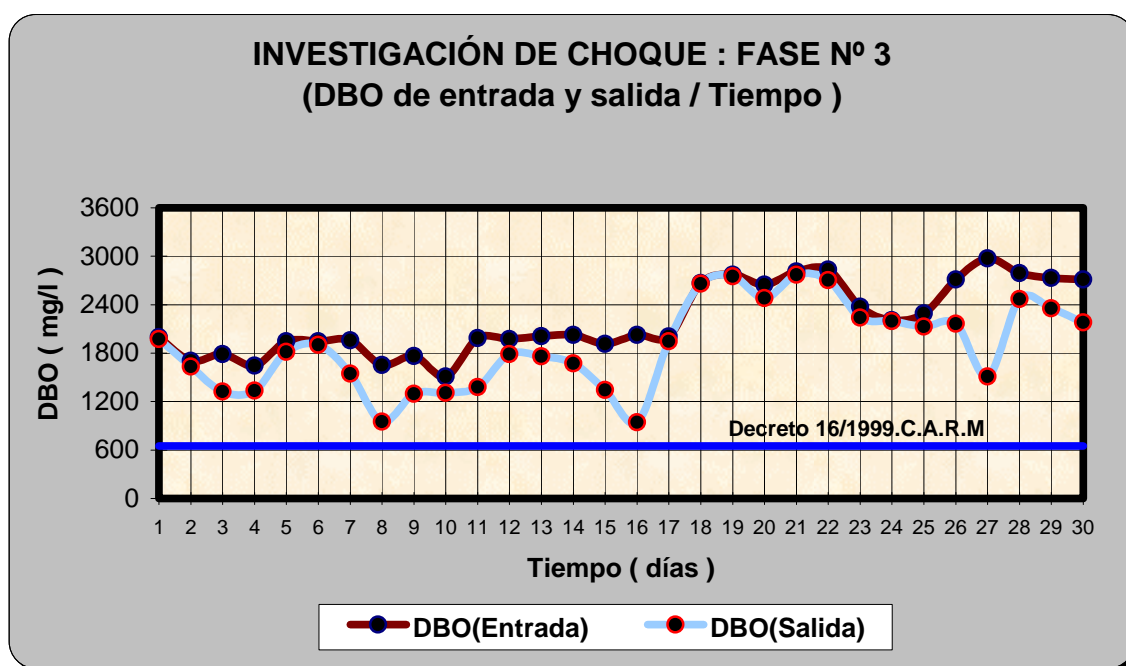


Gráfico 6.28.- Fase nº 3 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo.

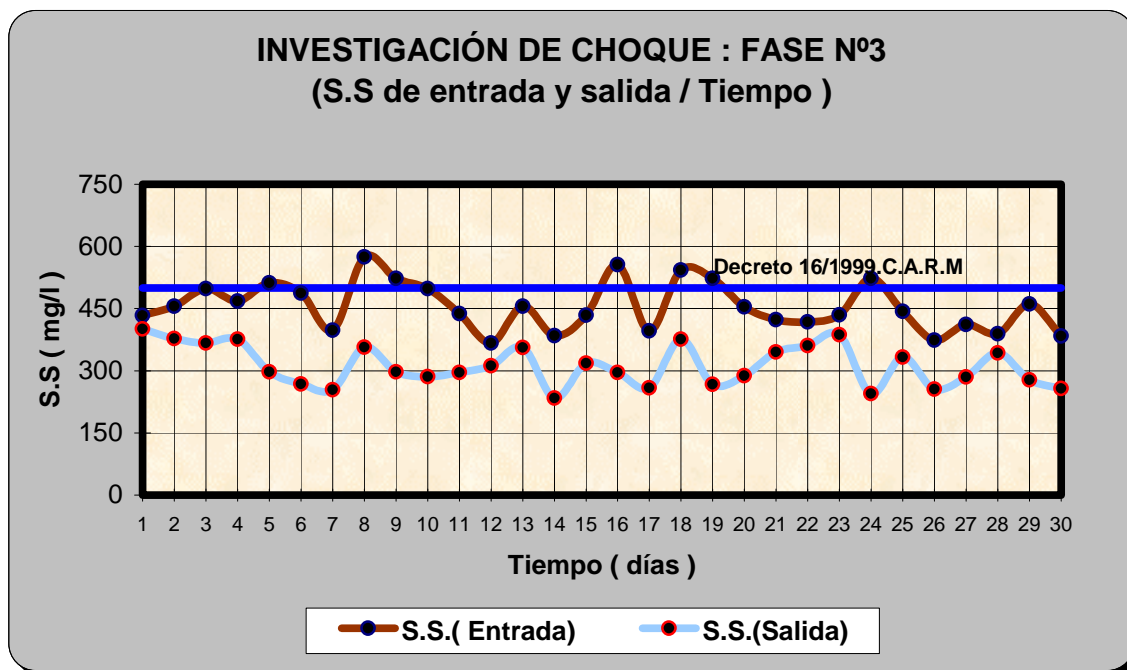


Gráfico 6.29.- Fase n° 3 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 6.27.- Fase nº 3 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	1,53%	1,25%	7,39%
2	1,86%	4,11%	17,11%
3	22,65%	25,98%	26,31%
4	8,22%	18,84%	19,66%
5	9,51%	6,68%	41,99%
6	3,90%	2,06%	44,97%
7	24,45%	21,17%	36,18%
8	32,57%	42,60%	37,91%
9	20,25%	26,63%	43,21%
10	7,11%	13,25%	42,57%
11	26,69%	30,48%	32,42%
12	11,23%	9,37%	14,99%
13	17,50%	12,44%	21,93%
14	18,47%	17,28%	39,22%
15	40,80%	29,77%	26,73%
16	46,35%	53,33%	46,76%
17	3,64%	2,99%	34,60%
18	0,61%	0,37%	30,76%
19	1,73%	0,72%	48,95%
20	5,83%	6,42%	36,56%
21	6,00%	1,42%	18,44%
22	3,21%	4,59%	13,64%
23	11,59%	5,68%	11,03%
24	0,14%	0,68%	53,15%
25	4,65%	6,99%	24,83%
26	19,30%	20,11%	31,55%
27	48,55%	49,24%	30,83%
28	15,54%	11,47%	11,83%
29	16,57%	13,74%	39,70%
30	20,76%	19,56%	33,07%

Cuadro 6.28.- Fase nº 3 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
1	0,042	2,520
2	0,042	2,956
3	0,042	2,816
4	0,042	3,064
5	0,042	2,591
6	0,042	2,591
7	0,042	2,571
8	0,042	3,045
9	0,042	2,856
10	0,042	3,338
11	0,042	2,539
12	0,042	2,552
13	0,042	2,507
14	0,042	2,489
15	0,042	2,632
16	0,042	2,489
17	0,014	0,838
18	0,014	0,629
19	0,014	0,606
20	0,014	0,634
21	0,014	0,598
22	0,014	0,593
23	0,019	0,943
24	0,019	1,014
25	0,019	0,978
26	0,019	0,827
27	0,019	0,753
28	0,019	0,803
29	0,019	0,821
30	0,019	0,827

Cuadro 6.29.- Fase nº 3 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	3,71	2,26	0,49	5,56	3,40	0,74
2	0,07	3,04	1,93	0,52	4,57	2,89	0,77
3	0,07	3,07	2,03	0,56	4,61	3,04	0,85
4	0,07	2,41	1,86	0,53	3,62	2,79	0,79
5	0,07	3,57	2,20	0,58	5,36	3,30	0,87
6	0,07	3,34	2,20	0,55	5,01	3,30	0,83
7	0,07	3,61	2,22	0,45	5,42	3,33	0,68
8	0,07	2,97	1,87	0,65	4,46	2,81	0,98
9	0,07	2,74	2,00	0,59	4,11	3,00	0,89
10	0,07	2,55	1,71	0,56	3,82	2,56	0,85
11	0,07	3,43	2,25	0,50	5,15	3,37	0,74
12	0,07	3,63	2,24	0,42	5,44	3,35	0,62
13	0,07	3,75	2,27	0,52	5,63	3,41	0,77
14	0,07	3,71	2,29	0,44	5,56	3,44	0,65
15	0,07	3,54	2,17	0,49	5,31	3,25	0,74
16	0,07	3,72	2,29	0,63	5,59	3,44	0,94
17	0,21	11,20	6,81	1,34	16,81	10,21	2,02
18	0,21	13,95	9,07	1,84	20,93	13,60	2,77
19	0,21	14,70	9,40	1,78	22,05	14,11	2,66
20	0,21	13,97	9,00	1,54	20,96	13,50	2,31
21	0,21	15,28	9,54	1,44	22,92	14,31	2,15
22	0,21	15,35	9,63	1,42	23,02	14,44	2,13
23	0,21	13,48	8,06	1,48	20,22	12,10	2,22
24	0,21	11,83	7,50	1,78	17,75	11,26	2,66
25	0,21	12,04	7,78	1,50	18,05	11,66	2,26
26	0,21	14,60	9,20	1,27	21,90	13,80	1,90
27	0,21	15,84	10,10	1,40	23,76	15,15	2,10
28	0,21	15,08	9,47	1,32	22,61	14,21	1,98
29	0,21	14,75	9,27	1,57	22,13	13,90	2,35
30	0,21	15,13	9,20	1,30	22,69	13,80	1,96

6.3.8 – Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 3.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.30.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.31.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.32.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.33.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 6.34.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 6.35.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 6.30.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	5,0	2.800	2.130	1.510	367
<i>Máximo</i>	15	8,5	4.470	4.665	2.975	575
<i>Rango o Amplitud</i>	10	3,5	1.670	2.535	1.465	208
<i>Media Aritmética</i>	10	6,7	3.900	3.491	2.213	455
<i>Desviación media</i>	4,9778	0,8411	303,6889	627,0000	384,0667	46,8933
<i>Varianza</i>	24,89	0,99	1.50374,89	53.4398,47	184.397,81	3.190,77
<i>Desviación típica</i>	4,9889	0,9967	387,7820	731,0256	429,4157	56,4869
<i>Coefficiente de Variación</i>	51,61	14,96	9,94	20,94	19,41	12,40

Cuadro 6.31.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	2,41	1,71	0,42
<i>Máximo</i>	0,21	15,84	10,10	1,84
<i>Rango o Amplitud</i>	0,14	13,43	8,39	1,43
<i>Media Aritmética</i>	0,14	8,33	5,26	0,98
<i>Desviación media</i>	0,0704	5,3691	3,3588	0,4823
<i>Varianza</i>	0,0050	29,9623	11,7350	0,2507
<i>Desviación típica</i>	0,0706	5,4738	3,4256	0,5007
<i>Coefficiente de Variación</i>	51,61	65,69	65,12	51,01

Cuadro 6.32.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	3,62	2,56	0,62
<i>Máximo</i>	23,76	15,15	2,77
<i>Rango o Amplitud</i>	20,14	12,59	2,14
<i>Media Aritmética</i>	12,50	7,89	1,47
<i>Desviación media</i>	8,0537	5,0381	0,7235
<i>Varianza</i>	67,4151	26,4037	0,5641
<i>Desviación típica</i>	8,2107	5,1385	0,7511
<i>Coefficiente de Variación</i>	65,69	65,12	51,01

Cuadro 6.33.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5,8	2.630	1.765	945	234
<i>Máximo</i>	8,4	4.600	4.375	2.770	401
<i>Rango o Amplitud</i>	2,6	1.970	2.610	1.825	167
<i>Media Aritmética</i>	7,3	3.929	2.968	1.885	312
<i>Desviación media</i>	0,5677	308,0444	694,3778	443,6667	42,4244
<i>Varianza</i>	0,46	162.197,89	632.974,14	272.431,56	2.298,98
<i>Desviación típica</i>	0,6764	402,7380	795,5967	521,9498	47,9477
<i>Coefficiente de Variación</i>	9,30	10,25	26,80	27,69	15,35

Cuadro 6.34.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	0,14	0,37	7,39
<i>Máximo</i>	48,55	53,33	53,15
<i>Rango o Amplitud</i>	48,41	52,96	45,76
<i>Media Aritmética</i>	15,04	15,31	30,61
<i>Desviación media</i>	10,6597	11,4208	10,2293
<i>Varianza</i>	1,75	2,03	1,48
<i>Desviación típica</i>	13,2336	14,2638	12,1737
<i>Coefficiente de Variación</i>	87,99	93,18	39,77

Cuadro 6.35.- Fase nº 3 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
<i>Mínimo</i>	0,01	0,59
<i>Máximo</i>	0,04	3,34
<i>Rango o Amplitud</i>	0,03	2,75
<i>Media Aritmética</i>	0,03	1,81
<i>Desviación media</i>	0,0126	0,9689
<i>Varianza</i>	0,0002	0,9855
<i>Desviación típica</i>	0,0127	0,9927
<i>Coefficiente de Variación</i>	42,21	54,73

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 6.30.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 6.31.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 6.32.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 6.33.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 6.34.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 6.35.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.36.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 6.37.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.38.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 6.39.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

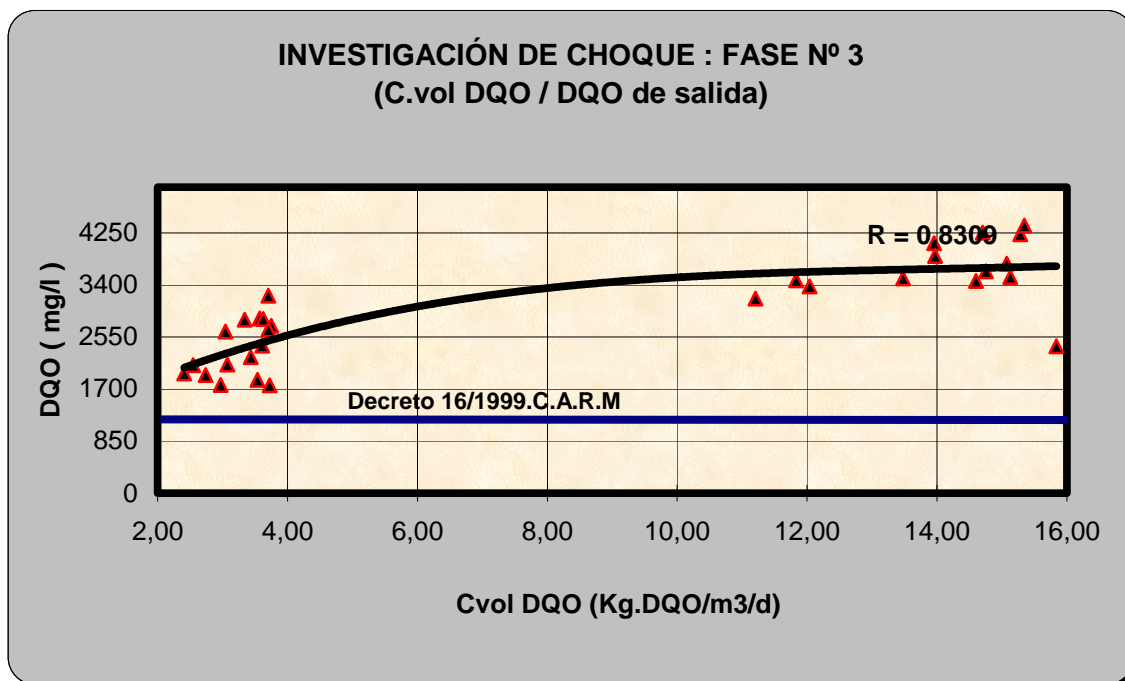


Gráfico 6.30.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida.

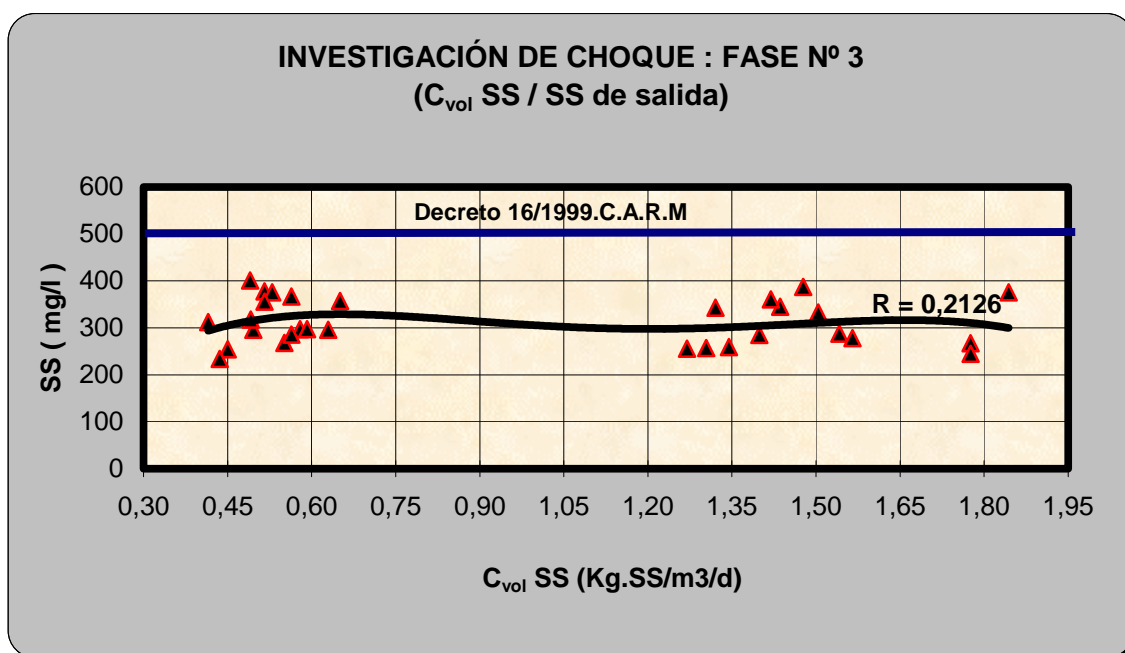


Gráfico 6.31.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida.

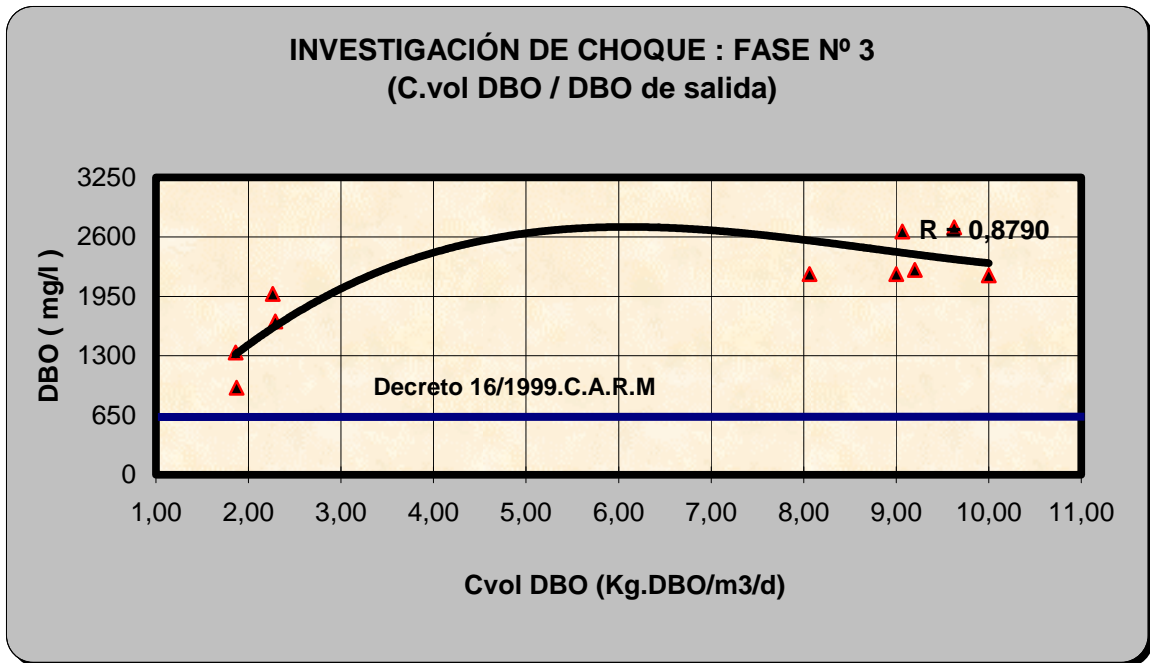


Gráfico 6.32.- Fase n° 3 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.

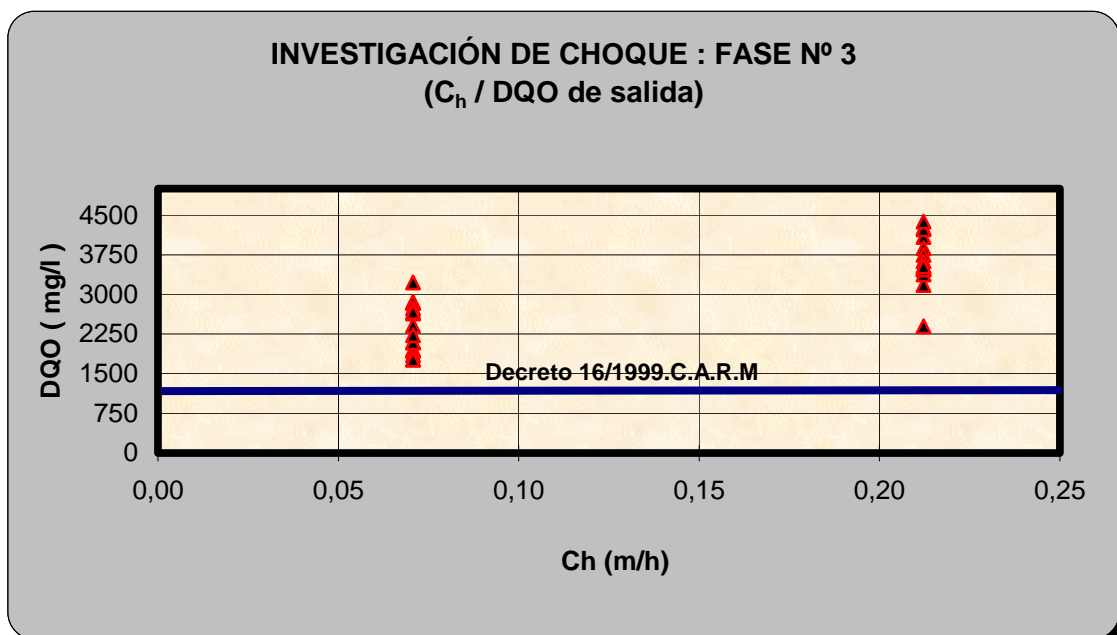


Gráfico 6.33.- Fase n° 3 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida.

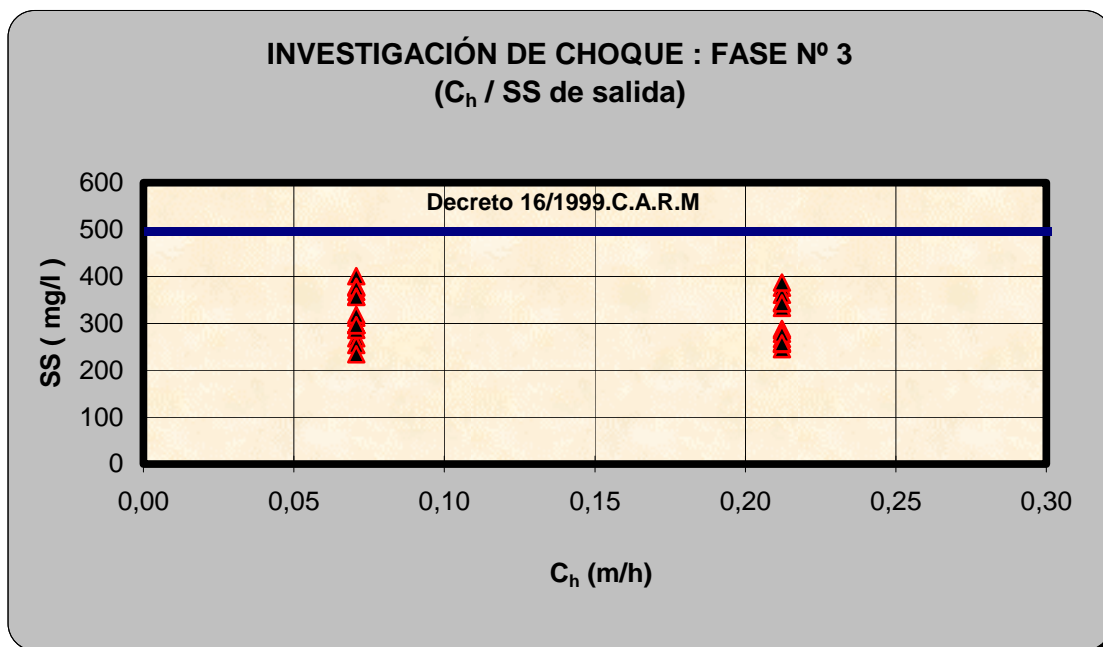


Gráfico 6.34.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida.

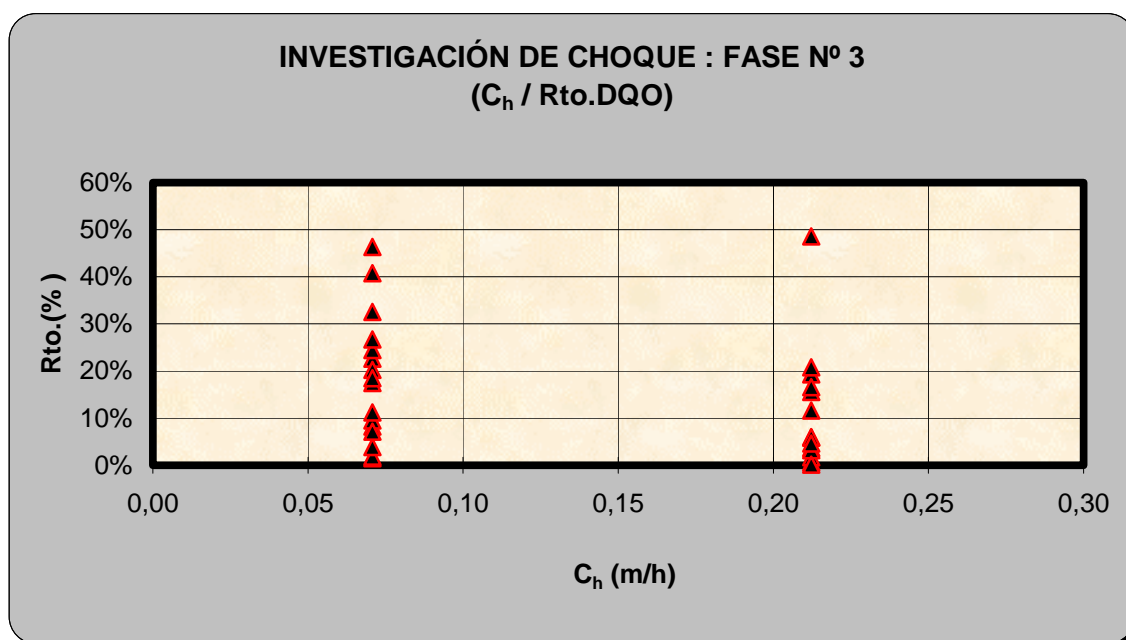


Gráfico 6.35.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

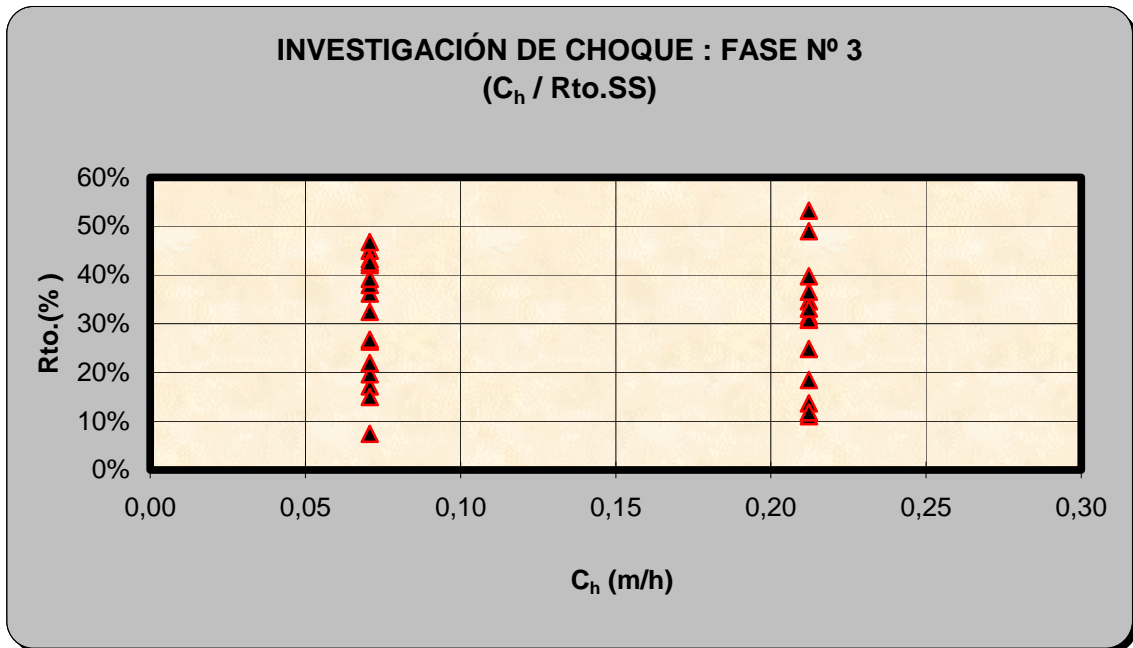


Gráfico 6.36.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

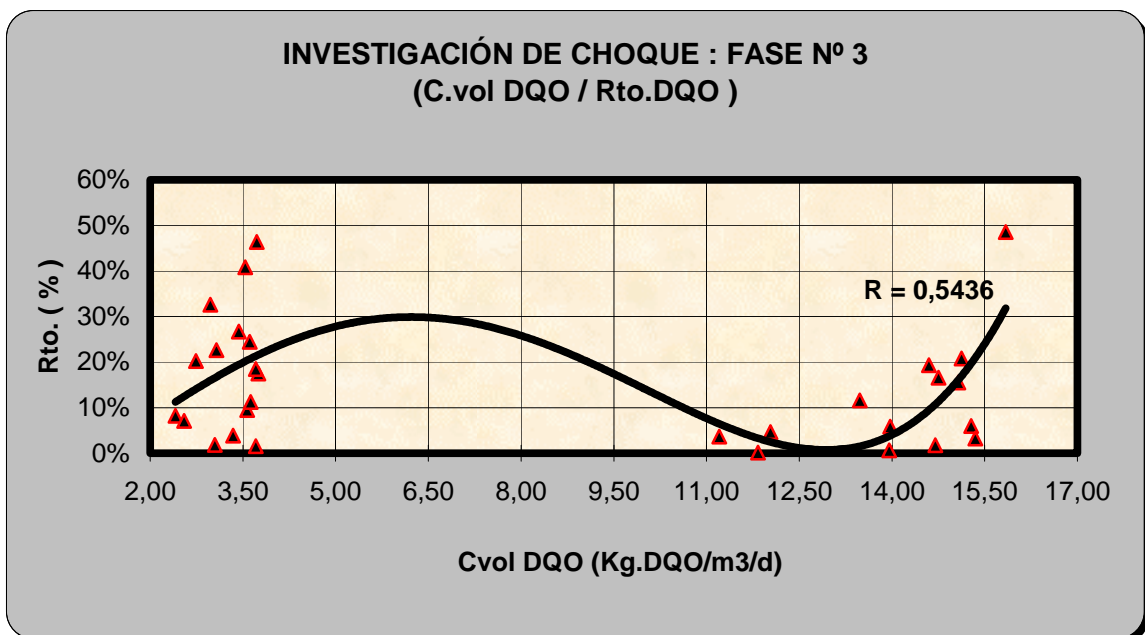


Gráfico 6.37.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

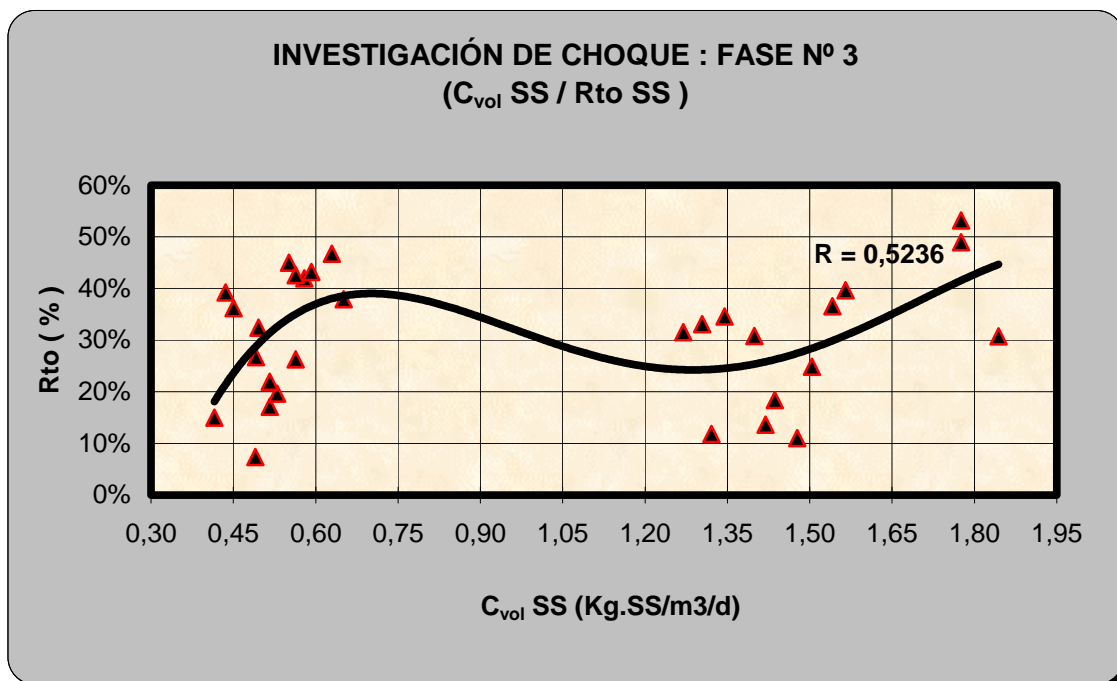


Gráfico 6.38.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

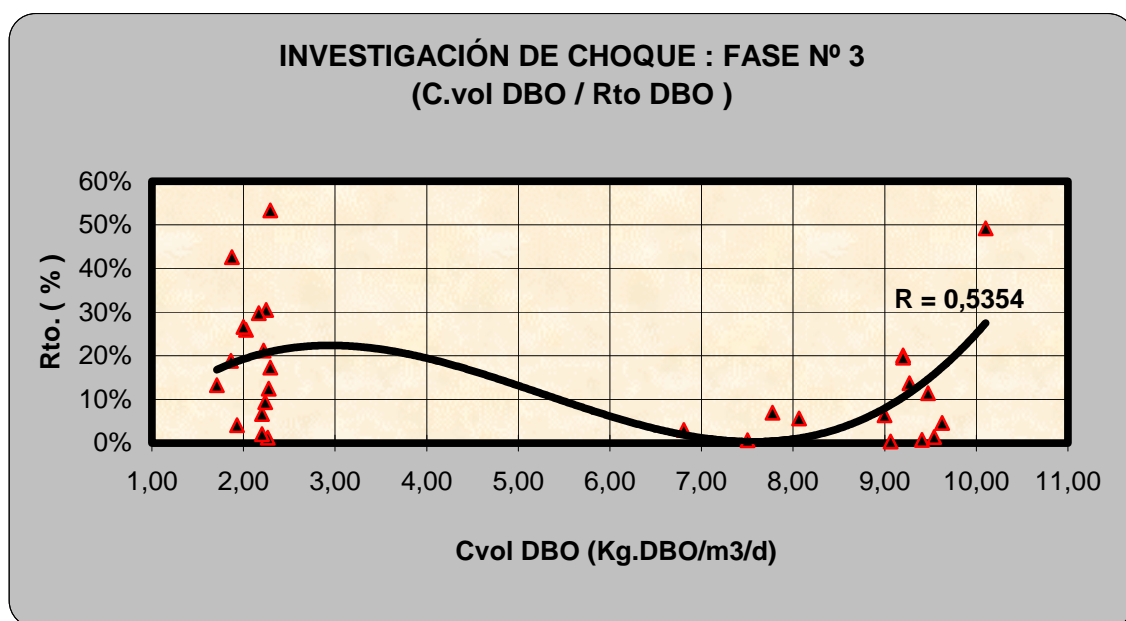


Gráfico 6.39.- Fase nº 3 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

6.3.9.- Discusión y resultados de la Fase nº 3

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. Al igual que la fase 1, durante los treinta días que duró esta fase se realizaron tres ensayos: el primero hasta el día 16 se suministró un caudal de aire de proceso de $10,47 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ con un aporte de agua bruta de 5 l/h. En general el sistema presentó una buena capacidad de neutralización de la acidez del agua residual, a la vez que mostraba en las concentraciones de nutrientes grandes fluctuaciones a lo largo del ensayo; el segundo hasta el día 21 se mantuvo el aire de proceso y se incrementó el caudal de agua a tratar hasta los 15 l/h. El pH del agua tratada se mantuvo en rangos de valores inferiores al anterior ensayo, sin perder la capacidad de neutralización; y por último el tercero hasta el día 30 del ensayo, se elevó el caudal de aire de proceso hasta los $13,96 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Las concentraciones de nutrientes siguieron la misma pauta que en el ensayo primero.

- b. En cuanto al cumplimiento del Decreto de Vertidos de la Región de Murcia de los límites admisibles para los parámetros DQO y DBO_5 , la totalidad de las muestras analizadas de la salida del lecho superaron la concentración máxima instantánea permitida por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l para la DQO y 650 mg/l para la DBO_5). Igualmente que la fase 1 el incremento de aporte de oxígeno al sistema no se tradujo en una mejora en los resultados de salida, mostrando unos rendimientos de eliminación muy bajos.

- c. En lo que respecta al parámetro SS, los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, debido a un mejor comportamiento de retención de las partículas en el filtro, al haber disminuido la granulometría del material de relleno del lecho.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.-Observando los gráficos que representan los rendimientos de eliminación de DQO/DBO₅ presentan una gran dispersión en los datos para el rango de cargas volumétricas ensayadas tanto en DQO (2,41-15,84) como en DBO₅ (1,71-10,10), consecuencia de la falta de fiabilidad del sistema.
- b. SS.- Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida se observa que se mantiene prácticamente constante los niveles de salida para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,42-1,84).

6.3.10 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 4: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 20,94 y 24,44 Nm³/m²/h de aire (0,42 Kg O₂/h y 0,49 Kg O₂/h respectivamente) y flujo contracorriente.

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.36.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 6.37.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 6.40.- Fase nº 4 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.41.- Fase nº 4 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 6.42.- Fase nº 4 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 6.38.- Fase nº 4 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 6.39.- Fase nº 4 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 6.40.- Fase nº 4 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.36.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	20,94	5	5,92	3.880	3.185	1.955	435	<0,5	37
2	20,94	5	6,03	3.550	4.575	2.905	438		
3	20,94	5	5,72	3.490	3.730	2.255	488		
4	20,94	5	5,34	3.380	3.735	2.440	458	21,14	56
5	20,94	5	5,19	3.390	3.760	2.215	533		
6	20,94	5	5,11	3.500	3.695	2.360	657		
7	20,94	5	5,22	3.460	3.530	2.250	399		
8	20,94	5	5,14	3.640	3.810	2.280	385	<0,5	33
9	20,94	5	4,92	3.400	4.110	2.505	428		
10	20,94	5	4,76	3.440	4.510	2.975	421		
11	20,94	5	4,79	3.380	4.490	2.870	389	23,14	31
12	20,94	15	4,89	3.380	4.475	2.925	426		
13	20,94	15	4,97	3.400	4.455	2.875	489		
14	20,94	15	4,60	3.490	4.530	2.990	387		
15	24,44	15	4,92	3.400	4.110	2.515	375	<0,5	45
16	24,44	15	4,76	3.440	4.510	2.970	565		
17	24,44	15	4,79	3.380	4.490	2.860	458		
18	24,44	15	4,89	3.380	4.465	2.825	568		
19	24,44	15	4,97	3.400	4.455	2.895	485	18,45	39
20	24,44	15	4,83	3.555	4.550	2.995	465		
21	24,44	15	5,02	3.650	4.275	2.820	428		
22	24,44	15	5,13	3.550	4.460	2.810	419		
23	24,44	15	4,60	3.490	4.530	2.860	390	<0,5	31
24	24,44	15	4,74	3.350	5.375	3.400	466	<0,5	38

Cuadro 6.37.- Fase nº 4 (I. Choque): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DOO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	20,94	5	6,48	3.980	2.200	1.455	395	<0,5	37
2	20,94	5	6,55	3.570	4.475	2.775	345		
3	20,94	5	6,35	3.530	3.620	2.185	376		
4	20,94	5	5,62	3.440	3.525	2.290	433		
5	20,94	5	5,86	3.470	3.295	2.015	365		
6	20,94	5	6,35	3.570	3.625	2.190	315		
7	20,94	5	6,55	3.570	2.805	1.790	199		
8	20,94	5	6,62	3.660	2.700	1.625	364	<0,5	29
9	20,94	5	5,59	3.720	3.735	2.305	276		
10	20,94	5	5,35	3.830	4.220	2.755	299		
11	20,94	5	5,25	3.820	4.275	2.780	284	12,56	32
12	20,94	15	5,33	3.720	4.315	2.810	315		
13	20,94	15	6,11	3.750	3.785	2.340	295		
14	20,94	15	5,38	3.770	4.125	2.640	267		
15	24,44	15	6,59	3.720	3.735	2.315	348	<0,5	32
16	24,44	15	6,35	3.830	4.230	2.750	293		
17	24,44	15	6,25	3.820	4.215	2.735	342		
18	24,44	15	6,33	3.720	4.310	2.790	387		
19	24,44	15	6,11	3.750	3.785	2.475	342	18,38	22
20	24,44	15	6,02	3.850	4.355	2.825	365		
21	24,44	15	6,39	3.780	3.915	2.420	288		
22	24,44	15	6,93	3.825	3.750	2.395	255		
23	24,44	15	5,38	3.770	3.875	2.100	363	<0,5	37
24	24,44	15	6,05	3.790	4.885	3.100	398	<0,5	3100

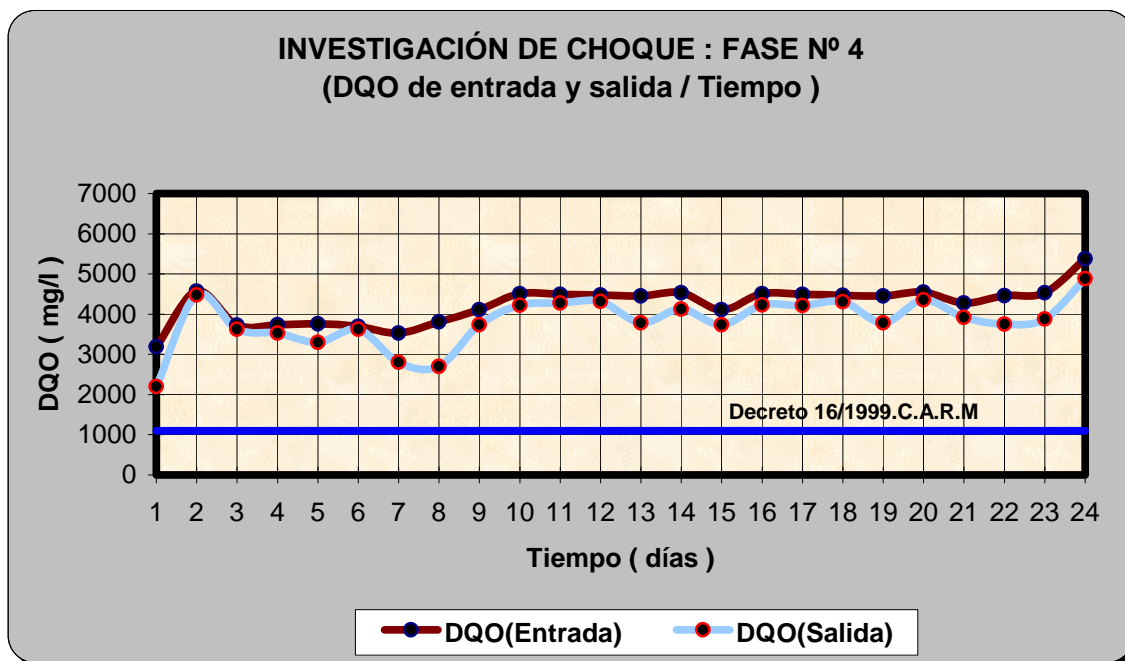


Gráfico 6.40.- Fase nº 4 (I. Choque): DQO de entrada y salida/Tiempo.

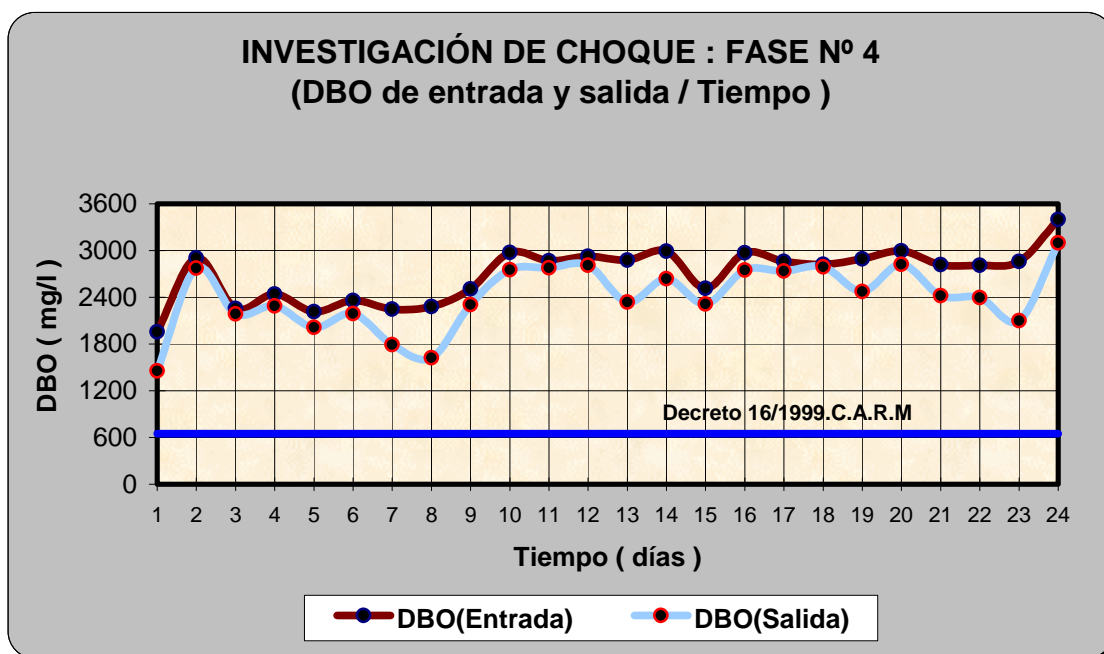


Gráfico 6.41.- Fase nº 4 (I. Choque): DBO de entrada y salida/Tiempo.

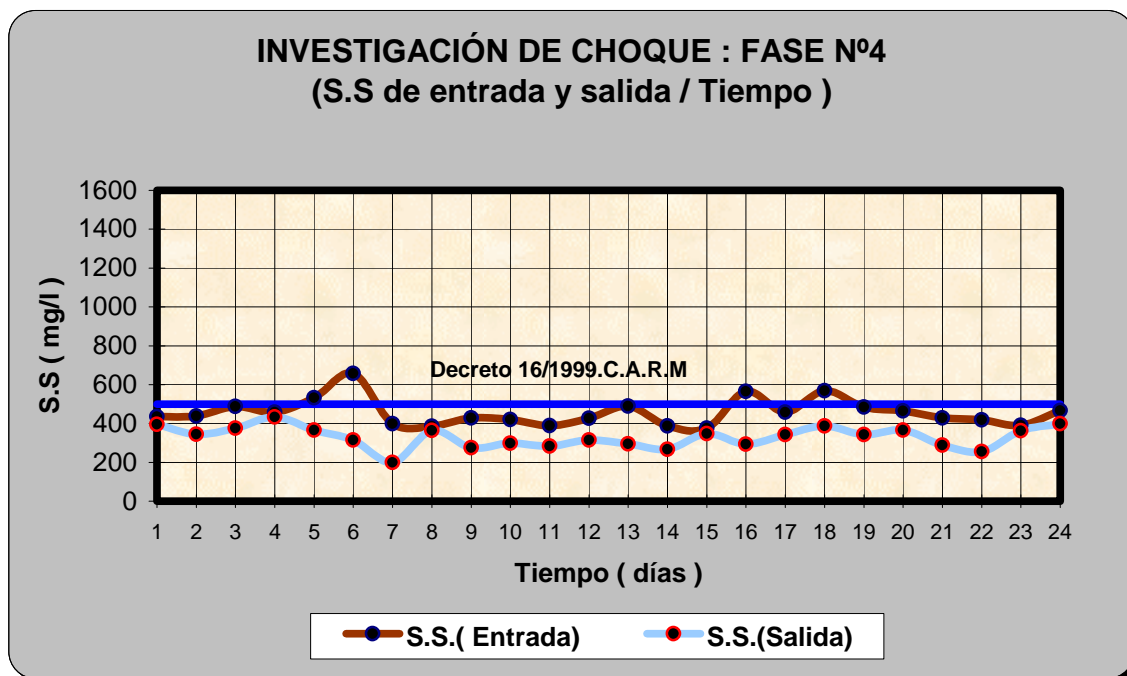


Gráfico 6.42.- Fase n° 4 (I. Choque): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 6.38.- Fase nº 4 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	30,93%	25,58%	9,20%
2	2,19%	4,48%	21,23%
3	2,95%	3,10%	22,95%
4	5,62%	6,15%	5,46%
5	12,37%	9,03%	31,52%
6	1,89%	7,20%	52,05%
7	20,54%	20,44%	50,13%
8	29,13%	28,73%	5,45%
9	9,12%	7,98%	35,51%
10	6,43%	7,39%	28,98%
11	4,79%	3,14%	26,99%
12	3,58%	3,93%	26,06%
13	15,04%	18,61%	39,67%
14	8,94%	11,71%	31,01%
15	9,12%	7,95%	7,20%
16	6,21%	7,41%	48,14%
17	6,12%	4,37%	25,33%
18	3,47%	1,24%	31,87%
19	15,04%	14,51%	29,48%
20	4,29%	5,68%	21,51%
21	8,42%	14,18%	32,71%
22	15,92%	14,77%	39,14%
23	14,46%	26,57%	6,92%
24	9,12%	8,82%	14,59%

Cuadro 6.39.- Fase n^o 4 (I Choque): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
1	0,084	5,156
2	0,084	3,470
3	0,084	4,470
4	0,084	4,131
5	0,084	4,551
6	0,084	4,271
7	0,084	4,480
8	0,084	4,421
9	0,084	4,024
10	0,084	3,388
11	0,084	3,512
12	0,028	1,149
13	0,028	1,169
14	0,028	1,124
15	0,033	1,559
16	0,033	1,320
17	0,033	1,371
18	0,033	1,388
19	0,033	1,354
20	0,033	1,309
21	0,033	1,390
22	0,033	1,395
23	0,033	1,371
24	0,033	1,153

Cuadro 6.40.- Fase nº 4 (I. Choque): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	3,60	2,21	0,49	5,41	3,32	0,74
2	0,07	5,18	3,29	0,50	7,77	4,93	0,74
3	0,07	4,22	2,55	0,55	6,33	3,83	0,83
4	0,07	4,23	2,76	0,52	6,34	4,14	0,78
5	0,07	4,26	2,51	0,60	6,38	3,76	0,90
6	0,07	4,18	2,67	0,74	6,27	4,01	1,12
7	0,07	4,00	2,55	0,45	5,99	3,82	0,68
8	0,07	4,31	2,58	0,44	6,47	3,87	0,65
9	0,07	4,65	2,84	0,48	6,98	4,25	0,73
10	0,07	5,10	3,37	0,48	7,66	5,05	0,71
11	0,07	5,08	3,25	0,44	7,62	4,87	0,66
12	0,21	15,19	9,93	1,45	22,79	14,90	2,17
13	0,21	15,13	9,76	1,66	22,69	14,64	2,49
14	0,21	15,38	10,15	1,31	23,07	15,23	1,97
15	0,21	13,95	8,54	1,27	20,93	12,81	1,91
16	0,21	15,31	10,08	1,92	22,97	15,13	2,88
17	0,21	15,24	9,71	1,56	22,87	14,57	2,33
18	0,21	15,16	9,59	1,93	22,74	14,39	2,89
19	0,21	15,13	9,83	1,65	22,69	14,74	2,47
20	0,21	15,45	10,17	1,58	23,17	15,25	2,37
21	0,21	14,51	9,57	1,45	21,77	14,36	2,18
22	0,21	15,14	9,54	1,42	22,71	14,31	2,13
23	0,21	15,38	9,71	1,32	23,07	14,57	1,99
24	0,21	18,25	11,54	1,58	27,37	17,32	2,37

6.3.11 – Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 4.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.41.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.42.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.43.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 6.44.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 6.45.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 6.46.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 6.41.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	4,6	3.350	3.185	1.955	375
<i>Máximo</i>	15	6,0	3.880	5.375	3.400	657
<i>Rango o Amplitud</i>	0	1,4	530	2.190	1.445	282
<i>Media Aritmética</i>	10	5,1	3.474	4.242	2.698	456
<i>Desviación media</i>	4,9653	0,2791	87,9514	376,1458	292,1875	51,0278
<i>Varianza</i>	24,83	0,14	13.914,54	210.906,08	113.153,99	4.507,47
<i>Desviación típica</i>	4,9826	0,3711	117,9599	459,2451	336,3837	67,1377
<i>Coefficiente de Variación</i>	47,83	7,33	3,40	10,83	12,47	14,71

Cuadro 6.42.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	3,60	2,21	0,44
<i>Máximo</i>	0,21	18,25	11,54	1,93
<i>Rango o Amplitud</i>	0,14	14,65	9,33	1,49
<i>Media Aritmética</i>	0,15	10,34	6,61	1,07
<i>Desviación media</i>	0,0702	5,4064	3,5143	0,5108
<i>Varianza</i>	0,0050	30,0089	12,7080	0,2879
<i>Desviación típica</i>	0,0705	5,4780	3,5648	0,5365
<i>Coefficiente de Variación</i>	47,83	53,00	53,91	49,92

Cuadro 6.43.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	5,41	3,32	0,65
<i>Máximo</i>	27,37	17,32	2,89
<i>Rango o Amplitud</i>	21,97	14,00	2,24
<i>Media Aritmética</i>	15,50	9,92	1,61
<i>Desviación media</i>	8,1095	5,2715	0,7662
<i>Varianza</i>	67,5201	28,5931	0,6477
<i>Desviación típica</i>	8,2171	5,3473	0,8048
<i>Coefficiente de Variación</i>	53,00	53,91	49,92

Cuadro 6.44.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5,3	3.440	2.200	1.455	199
<i>Máximo</i>	6,9	3.980	4.885	3.100	433
<i>Rango o Amplitud</i>	1,7	540	2.685	1.645	234
<i>Media Aritmética</i>	6,1	3.719	3.823	2.411	330
<i>Desviación media</i>	0,4262	101,8924	443,1250	327,0833	44,9132
<i>Varianza</i>	0,24	16.795,79	354.253,78	163.486,81	2.829,41
<i>Desviación típica</i>	0,4914	129,5986	595,1922	404,3350	53,1922
<i>Coefficiente de Variación</i>	8,09	3,48	15,57	16,77	16,14

Cuadro 6.45.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	1,89	1,24	5,45
<i>Máximo</i>	30,93	28,73	52,05
<i>Rango o Amplitud</i>	29,03	27,49	46,60
<i>Media Aritmética</i>	10,24	10,96	26,80
<i>Desviación media</i>	5,9606	6,3735	10,7383
<i>Varianza</i>	0,59	0,60	1,82
<i>Desviación típica</i>	7,6715	7,7153	13,4934
<i>Coefficiente de Variación</i>	74,94	70,41	50,36

Cuadro 6.46.- Fase nº 4 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,entrada}
<i>Mínimo</i>	0,03	1,12
<i>Máximo</i>	0,08	5,16
<i>Rango o Amplitud</i>	0,06	4,03
<i>Media Aritmética</i>	0,06	2,62
<i>Desviación media</i>	0,0260	1,4195
<i>Varianza</i>	0,0007	2,1596
<i>Desviación típica</i>	0,0262	1,4695
<i>Coefficiente de Variación</i>	47,03	56,05

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 6.43.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 6.44.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 6.45.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 6.46.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 6.47.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 6.48.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.49.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 6.50.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 6.51.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 6.52.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

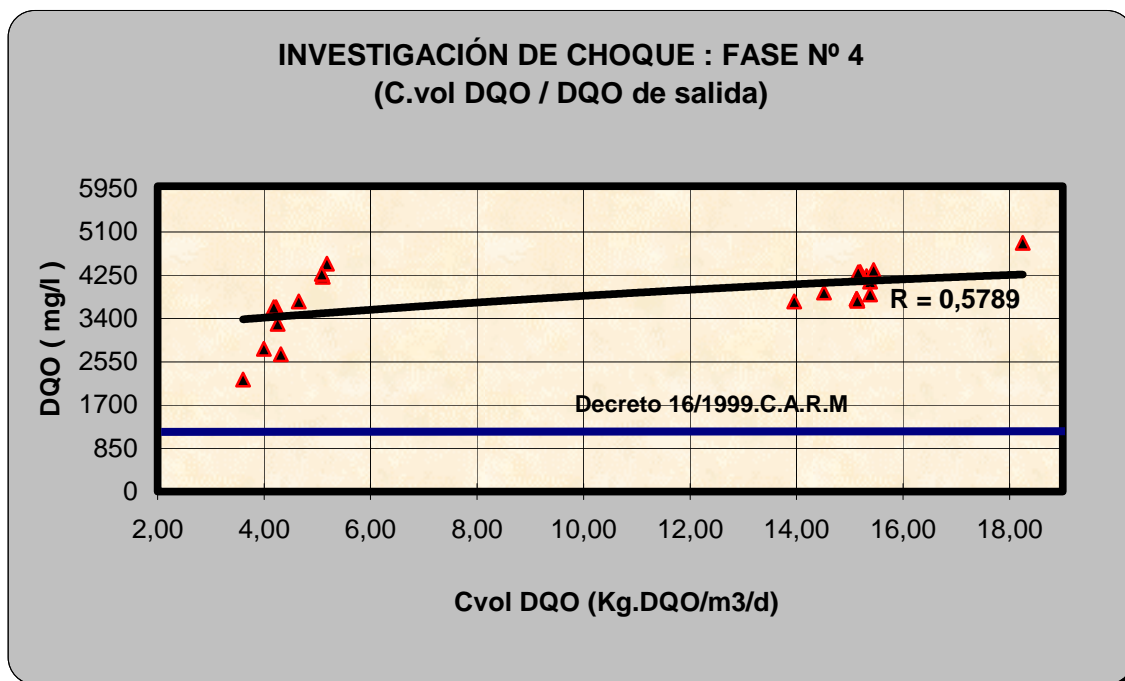


Gráfico 6.43.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DQO/DQO de salida.

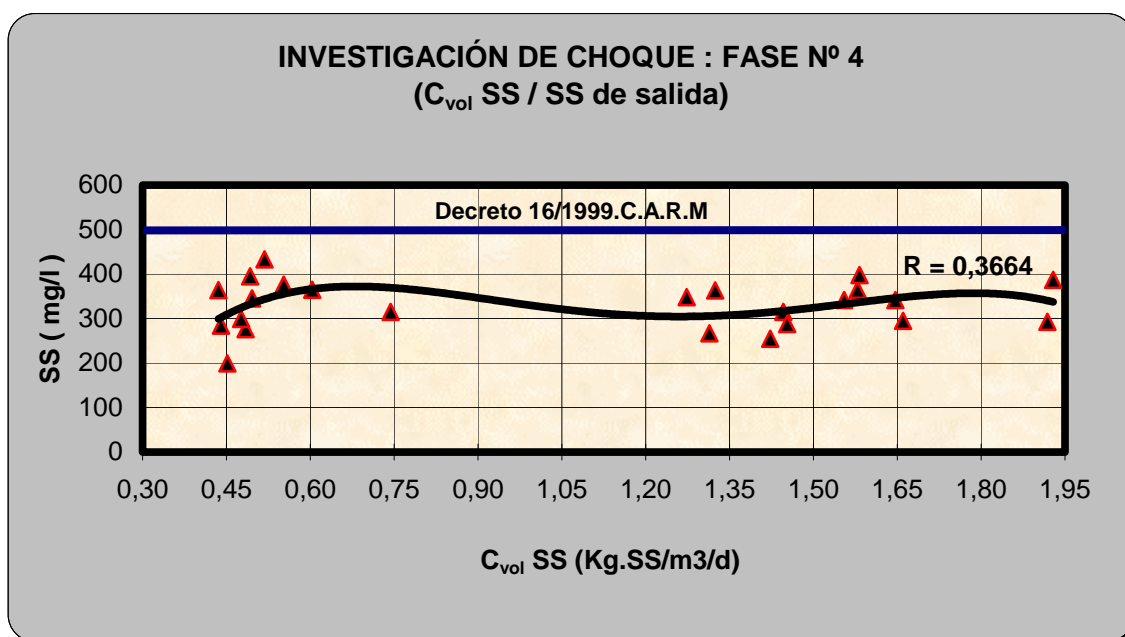


Gráfico 6.44.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. SS/SS de salida.

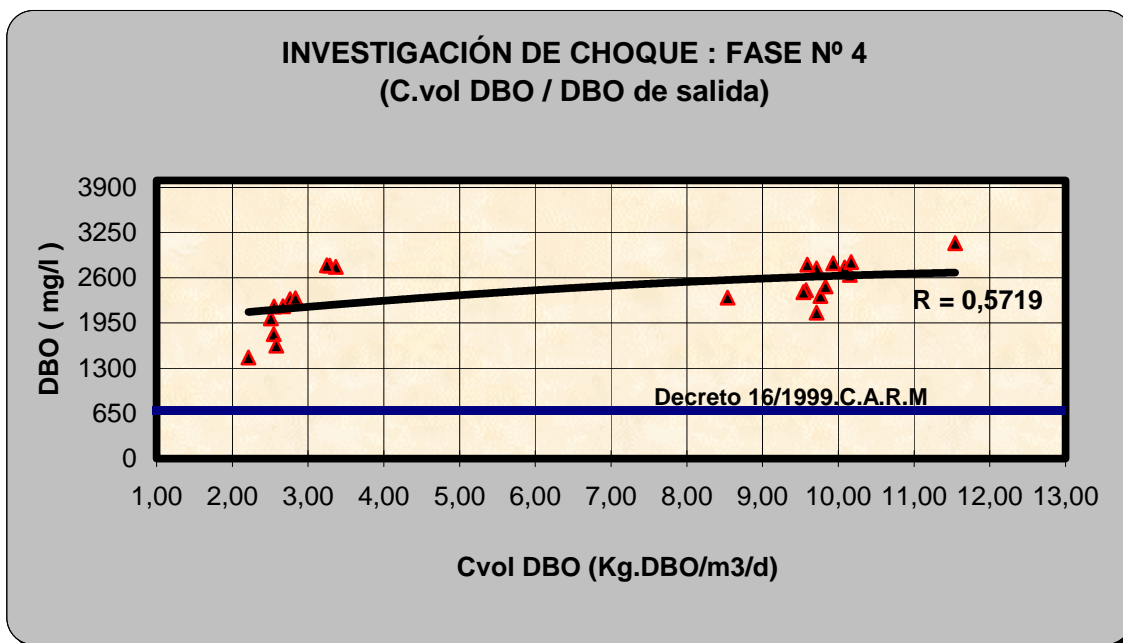


Gráfico 6.45.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DBO/DBO de salida.

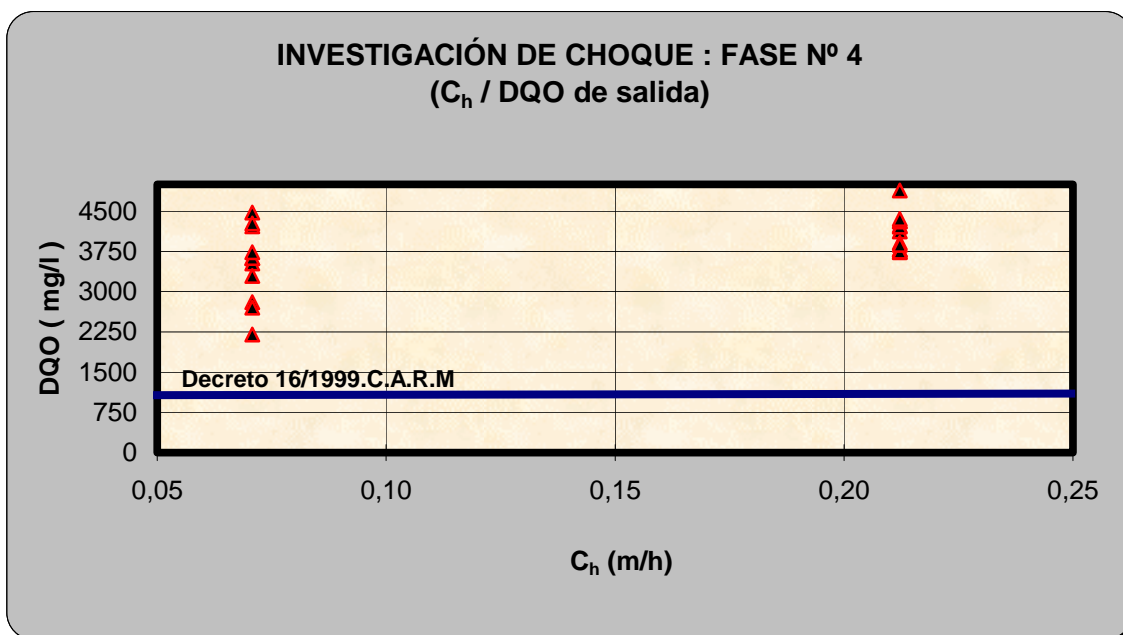


Gráfico 6.46.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/DQO de salida.

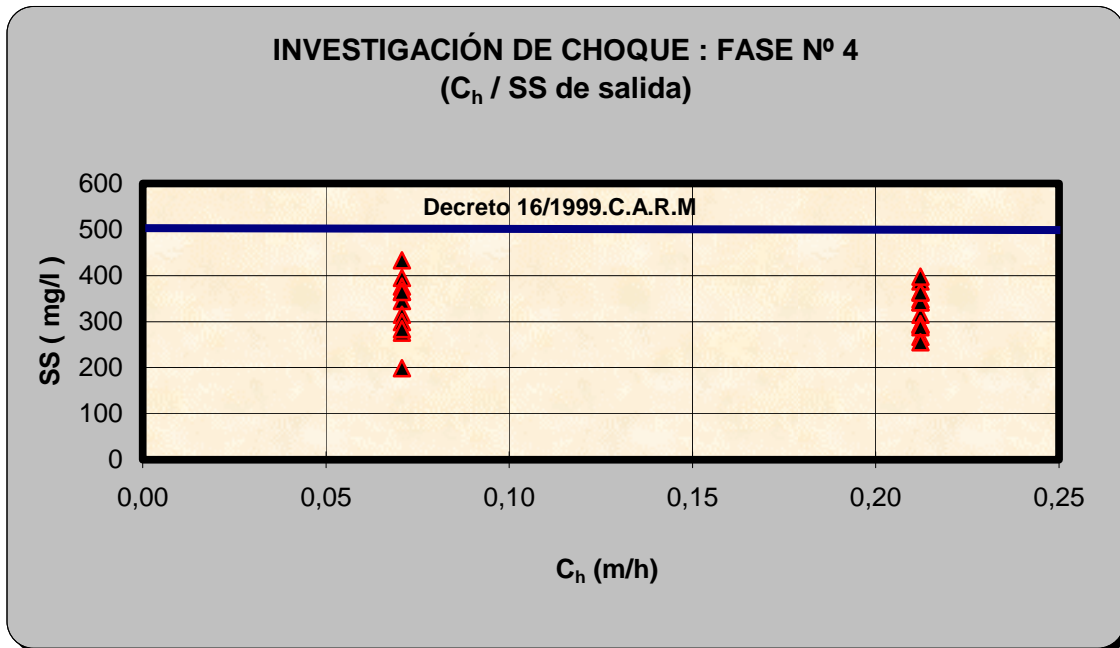


Gráfico 6.47.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/SS de salida.

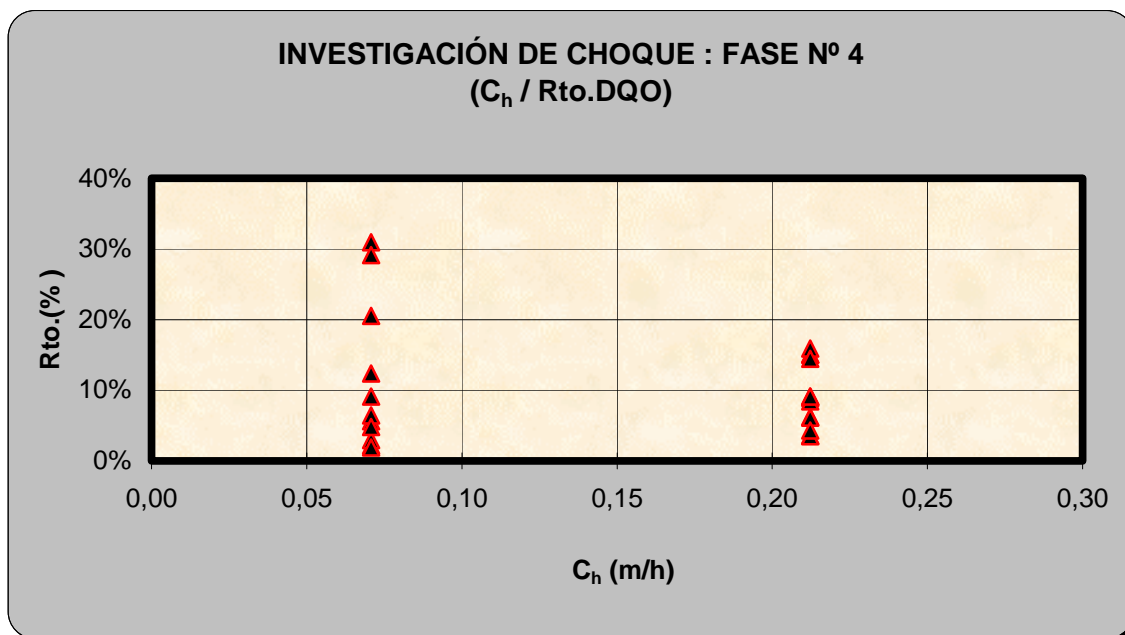


Gráfico 6.48.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

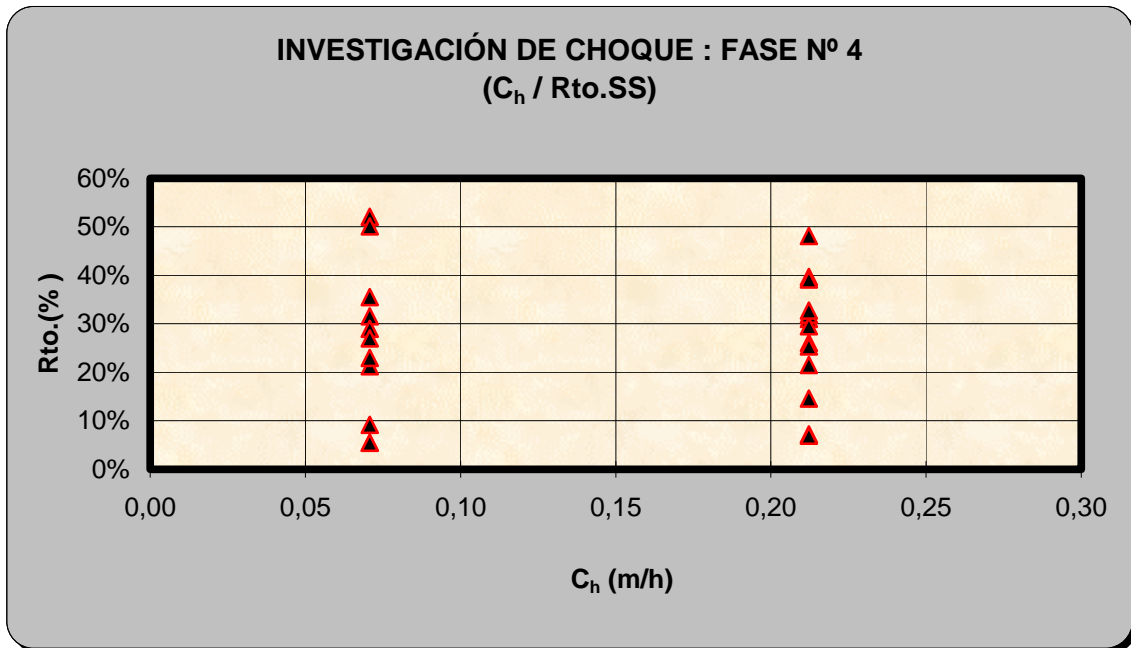


Gráfico 6.49.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

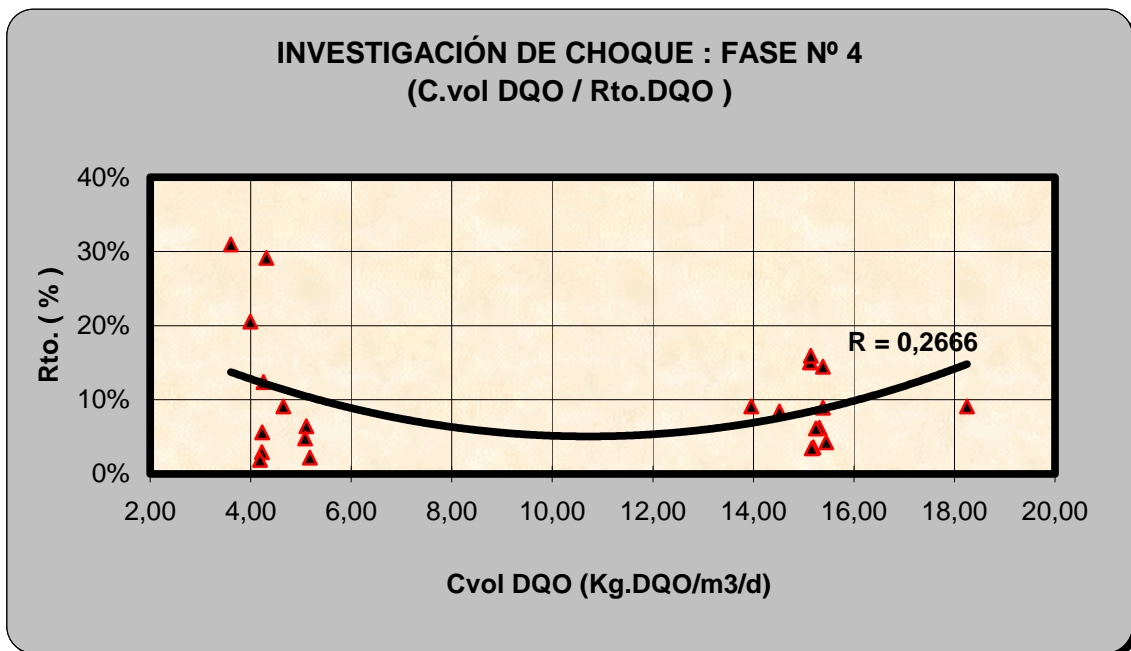


Gráfico 6.50.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

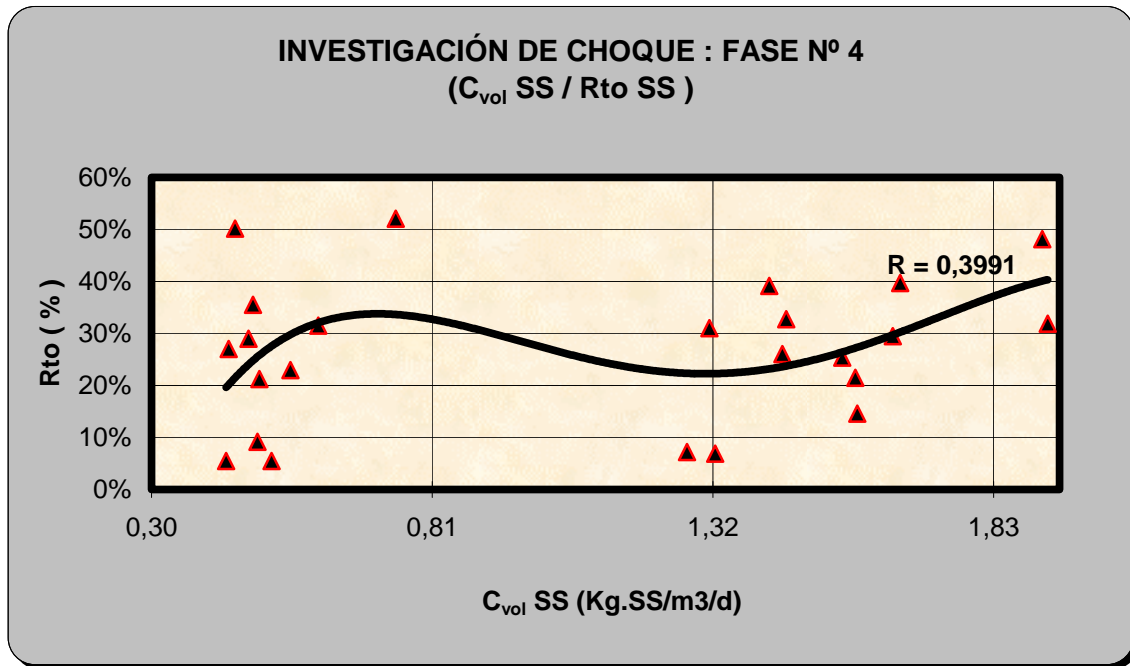


Gráfico 6.51.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

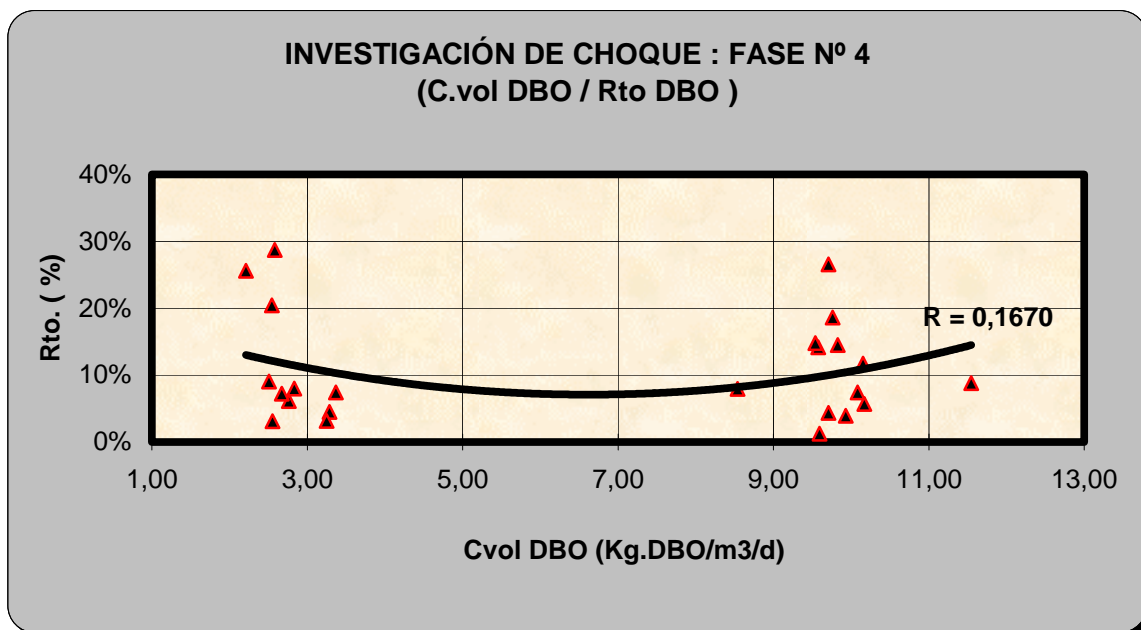


Gráfico 6.52.- Fase nº 4 (I. Choque): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

6.3.12.- Discusión y resultados de la Fase nº 4

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. Durante los veinticuatro días que duró esta fase se realizaron tres ensayos al igual que en la Fase 2: el primero hasta el día once se suministró un caudal de aire de proceso de $20,94 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ con un aporte de agua bruta de 5 l/h. Durante este ensayo, en general no se observó una adecuada neutralización del agua residual. Así mismo las concentraciones de los nutrientes siguieron presentando grandes fluctuaciones a lo largo del ensayo; el segundo hasta el día catorce se mantuvo el aire de proceso y se incrementó el caudal de agua a tratar hasta los 15 l/h. El pH presentó valores puntuales bajos poco habituales para un agua a la que se le ha sometido a un tratamiento biológico de depuración que ha sido eficiente; y por último el tercero hasta el día 24 del ensayo, se elevó el caudal de aire de proceso hasta los $24,44 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Las concentraciones de nutrientes siguieron la misma pauta que en el ensayo primero.
- b. A lo largo de toda la experimentación durante esta fase se producían incrementos de los rendimientos de eliminación de DBO_5 mayores que la media pero que no se mantenían en el tiempo.
- c. En cuanto al cumplimiento del Decreto de Vertidos de la Región de Murcia de los límites admisibles para los parámetros DQO y DBO_5 , la totalidad de las muestras analizadas a la salida del lecho superaron los límites de vertido establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l para la DQO y 650 mg/l para la DBO_5). Al igual

que en la fase 2 se incrementó el aporte de oxígeno al sistema para comprobar si era capaz de paliar la falta de nutrientes. Los resultados obtenidos en esta fase no se tradujeron en una mejora en los resultados de salida.

- d. En lo que respecta al parámetro SS, los resultados obtenidos, al igual que la fase nº 3 no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, debido a un mejor comportamiento de retención de las partículas en el filtro, al haber disminuido la granulometría del material de relleno del lecho.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.-Observando los gráficos que representan los rendimientos de eliminación de DQO/DBO₅ presentan una gran dispersión en los datos para el rango de cargas volumétricas ensayadas tanto en DQO (3,60-18,25) como en DBO₅ (2,21-11,54), que manifiesta la falta de fiabilidad del sistema.
- b. SS.- Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida se observa que se mantiene prácticamente constante los niveles de salida para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,44-1,93).

6.3.13 – Comparativa de resultados entre fases. Presentación gráfica.

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación

Gráfico 6.53.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de DQO

Gráfico 6.54.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de SS

Gráfico 6.55.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de DBO_5

Gráfico 6.56.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de DQO

Gráfico 6.57.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de SS

Gráfico 6.58.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de DBO_5

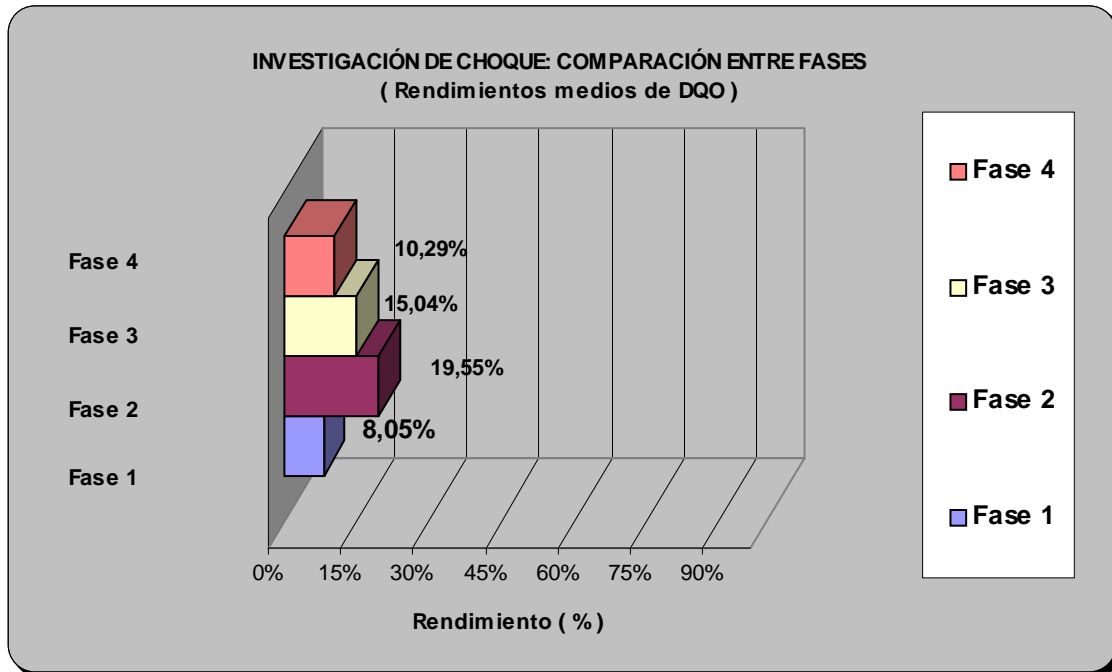


Gráfico 6.53.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de DQO

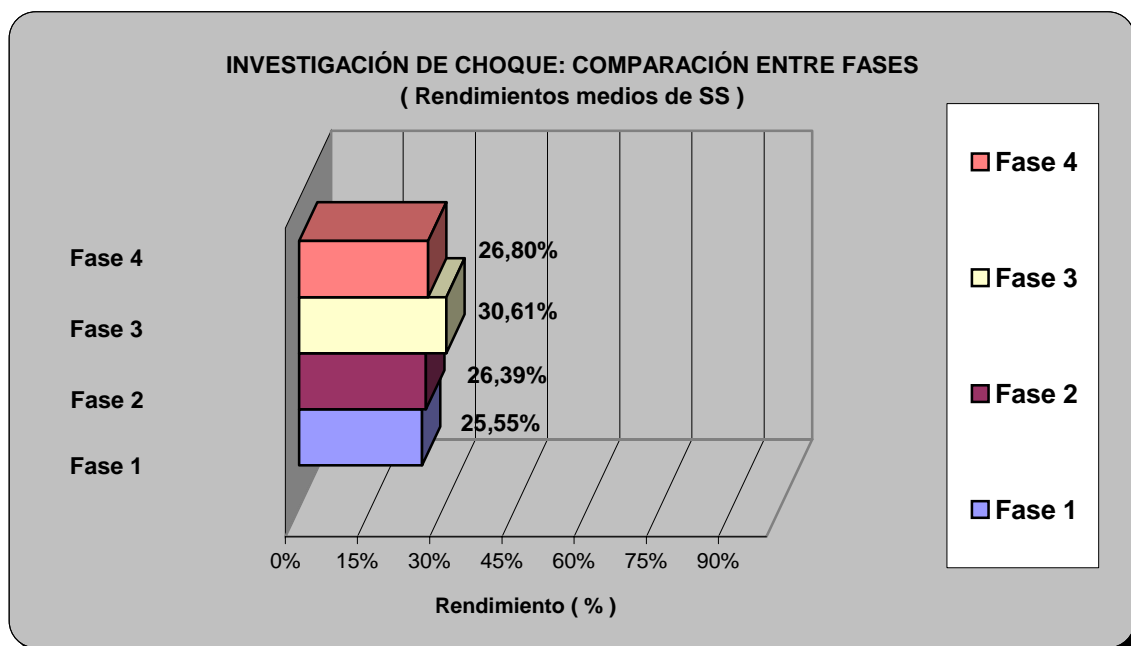


Gráfico 6.54.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de SS.

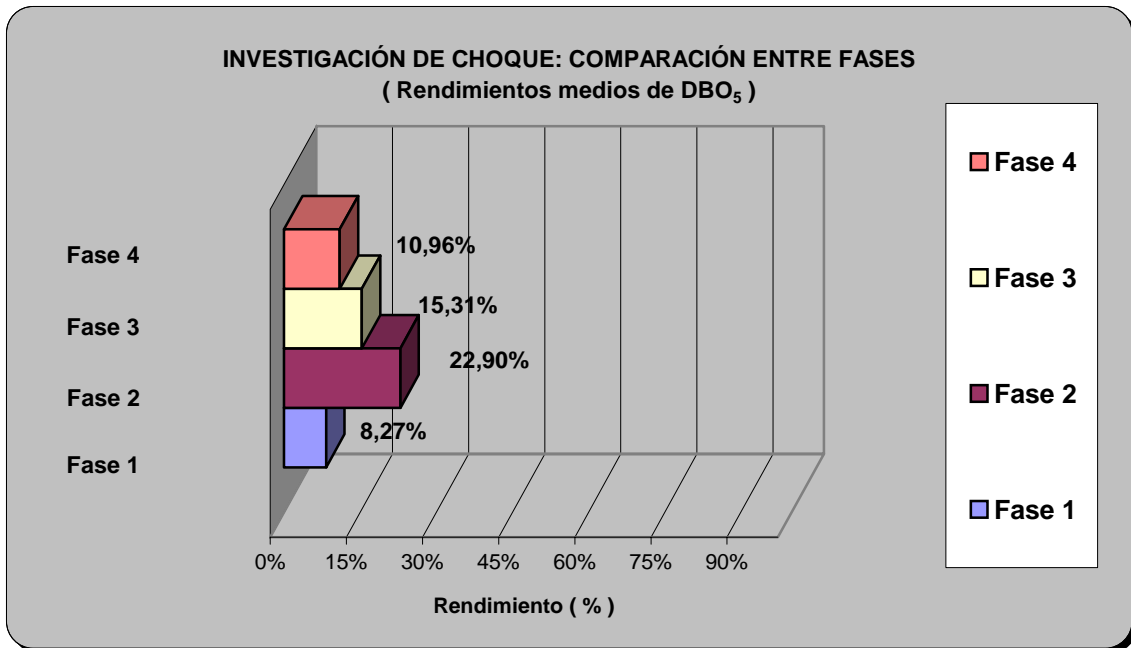


Gráfico 6.55.- Comparación entre fases (I. Choque): Rendimientos medios de DBO₅.

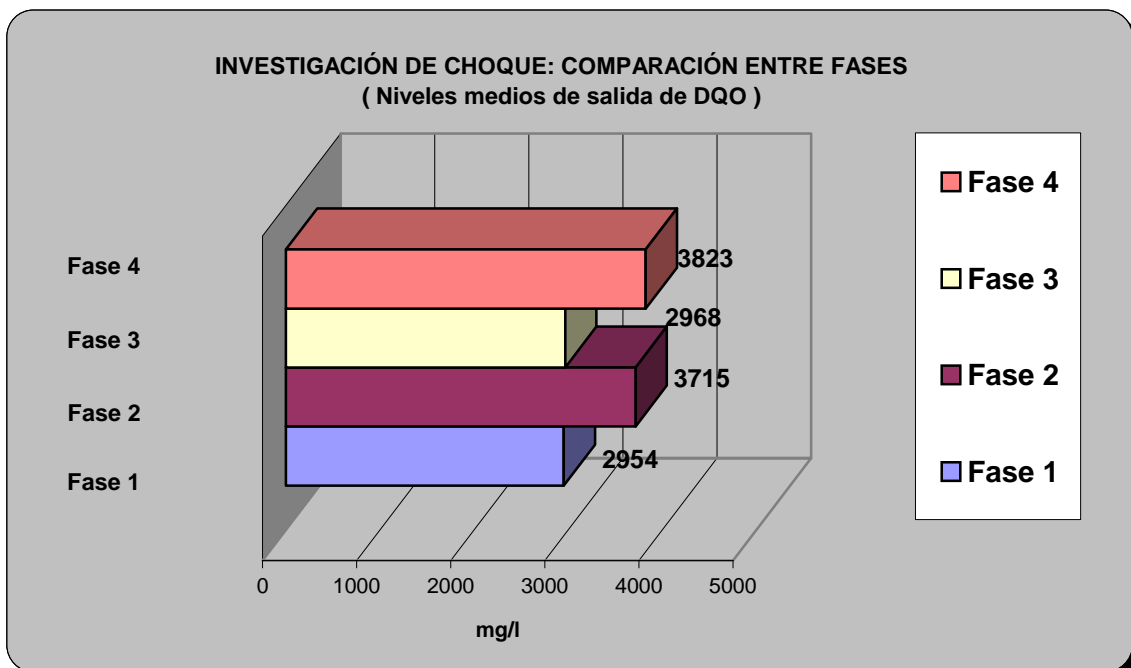


Gráfico 6.56.- Comparación entre fases (I. Choque): Niveles medios de salida de DQO.

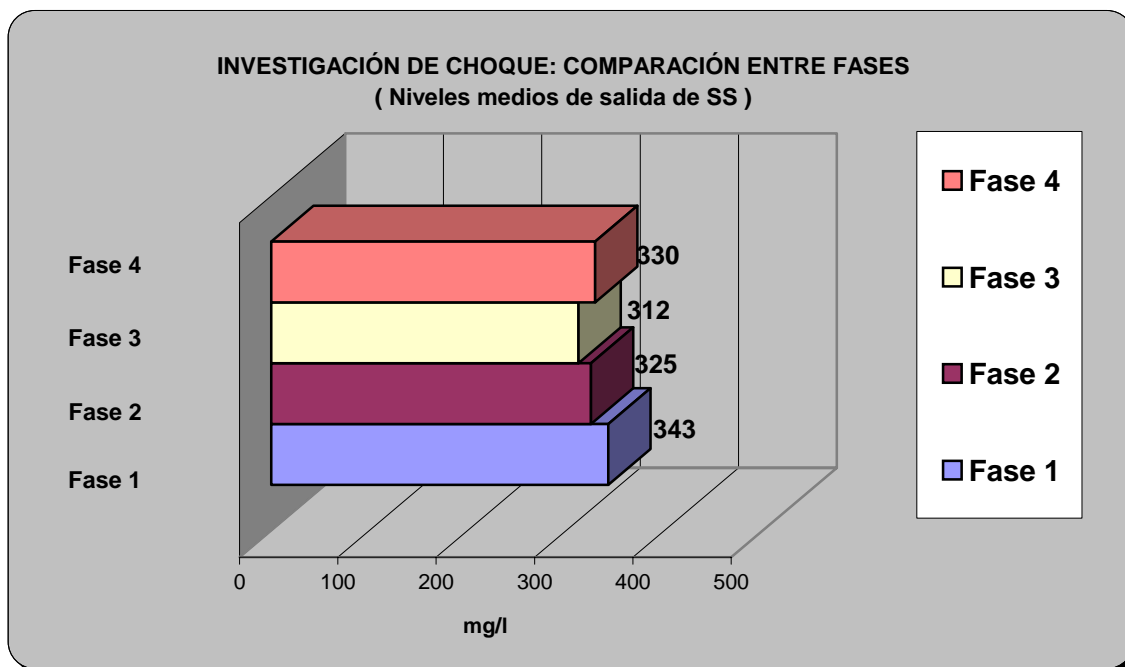


Gráfico 6.57.- Comparación entre fases (I. Choque):Niveles medios de salida de SS.

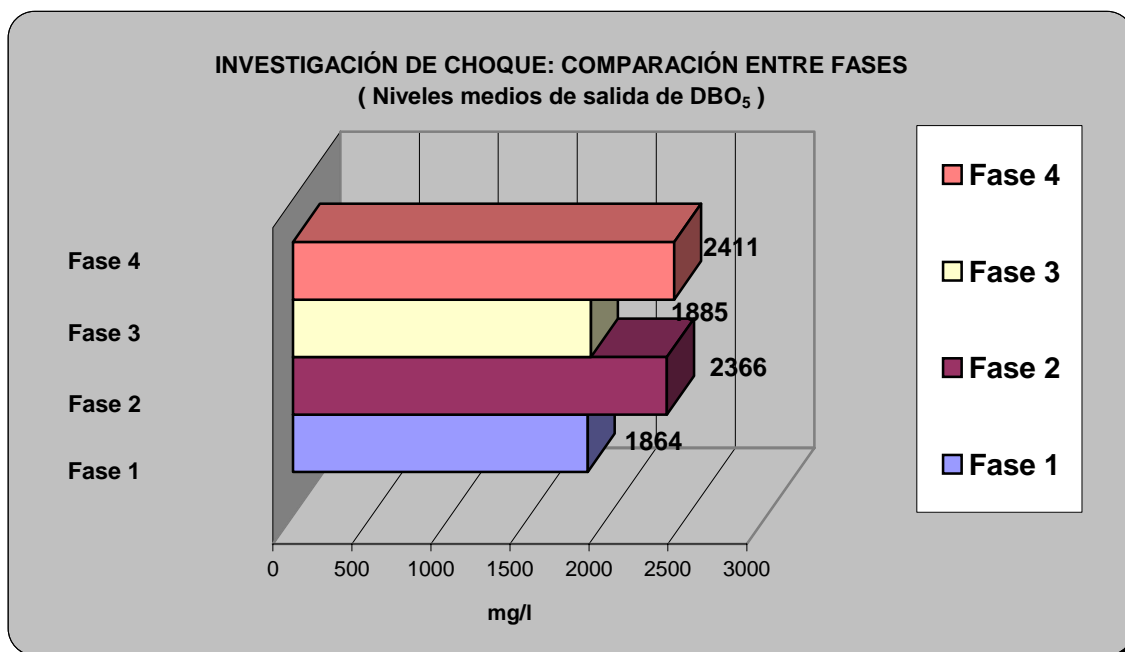


Gráfico 6.58.- Comparación entre fases (I. Choque):Niveles medios de salida de DBO₅.

6.4.-CONCLUSIONES PREVIAS

6.4.1.- Conclusiones principales

1. Considerando que a lo largo de la investigación de choque se ha operado con un relleno de granulometría 2-5mm. y el otro de 3-7mm, y flujo contracorriente se puso de manifiesto que los resultados obtenidos para ambos rellenos NO ERAN SATISFACTORIOS, debido probablemente a la insuficiencia de las concentraciones de nutrientes, lográndose una mínima eliminación de DBO₅ y DQO con el relleno de granulometría de 3-7 mm (Fase 2). Destacable que en las Fases 3 y 4 se observó una disminución del rendimiento de eliminación de DQO y DBO₅ cuando se incrementaba aireación en los ensayos. Respecto a la eliminación de SS sí hubo diferencia observándose un mayor rendimiento con la granulometría de menor tamaño (2-5 mm), y especialmente a caudales de aire inferiores.
2. Tras el análisis de los resultados obtenidos el relleno de arcilla expandida de granulometría de 3-7 mm, se observó que aun siendo éstos INSATISFACTORIOS es el relleno que mejores rendimientos medios de eliminación de DQO y DBO₅ obtiene (Fase 2), obteniéndose los mejores niveles medios de salida en la fase 1.
3. Se confirma que este tipo de efluentes presentan variaciones en las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), consecuencia de los diferentes procesos productivos, que se derivan de la tipología de las materias primas utilizadas en los proceso fabriles, y es por ello que se producen

incrementos en el rendimiento del sistema unos días después del incremento de las concentraciones de nutrientes. Por ello SE ESTIMA NECESARIO, TRAS ESTA INVESTIGACIÓN DE CHOQUE, PARA POSTERIORES INVESTIGACIONES EL ENSAYO CON DOSIFICACIÓN DE NUTRIENTES para garantizar en cualquier período estacional la adecuada concentración de estos nutrientes en el agua bruta que será objeto de estudio.

4. Se plantea el estudio para fases posteriores de esta investigación, del COMPORTAMIENTO DE LOS RELLENOS DE ARCILLA TAMBIÉN CON FLUJO COCORRIENTE, al considerar que el comportamiento de este tipo de efluentes industriales no siguen las mismas pautas frente a tecnologías de lechos inundados que los efluentes urbanos, que ya han sido estudiados en otras investigaciones.
5. El material mostró una gran resistencia a la agresividad del medio, causada por el paso de esta agua residual industrial.

6.4.2.- Otras conclusiones

1. Para la eliminación de SS en suspensión se cumplió mayoritariamente para las cargas ensayadas (hidráulica y volumétrica) en las diferentes fases de trabajo, la limitación del Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, referente a las concentraciones instantáneas máximas admisibles, debido a que el propio lecho se comportó como un filtro que retuvo los SS.
2. El aumento en los niveles de aireación en las diferentes ensayos de las diferentes fases no tuvieron un efecto positivo sobre la eliminación de DQO y

DBO₅, ni sobre la eliminación de los SS en ninguna de las fases estudiadas, pues oc. En definitiva, la retención física del filtro se ve poco afectada por la cantidad de oxígeno suministrado al sistema.

7.- MODIFICACIÓN DE LAS BASES DE PARTIDA

7.1.- OBJETIVOS FINALES

El objetivo principal que se plantea en el capítulo 2 de esta Tesis Doctoral, sigue manifestándose como la vía a seguir en todos los trabajos realizados, es decir ***“El objetivo principal es comprobar, y en su caso optimizar el funcionamiento del sistema de lechos inundados en la industria agroalimentaria: En particular en la del sector cítrico”***.

La investigación de choque se planteó para conocer la viabilidad de este tipo de tratamiento en el agua residual a tratar, obteniéndose unos resultados que permiten concluir que el tratamiento puede ser viable pero apuntan a posibles modificaciones de las bases de partida.

Por tanto los objetivos iniciales que se marcaron en un principio, no han sido alcanzados por los primeros experimentos.

Seguidamente se fijan y analizan los objetivos finales:

- 1) Estudio de la viabilidad del uso como relleno de la arcilla expandida,** en aplicaciones de tecnología de lechos inundados en el tratamiento de efluentes industriales procedentes del sector cítrico, elección y optimización del tamaño óptimo de la arcilla expandida objeto de estudio.
- 2) Control de las variables de los procesos,** a fin de conocer la relación entre dichas variables y los parámetros, contemplando la reacción ante la posible variabilidad de éstos.
- 3) Adecuación de los parámetros de diseño** para encontrar las condiciones más favorables de trabajo.

7.2.- VARIABLES Y PARÁMETROS ADOPTADOS

Se van enumerar las variables y parámetros que van a ser objeto de estudios posteriores, seleccionados entre los que se contemplaron inicialmente adecuados para el estudio de este tipo de tecnologías de tratamiento de aguas.

7.2.1.- Variables

- Caudal de agua.
- Caudal de aire de proceso.
- Material de relleno.

7.2.2.- Parámetros

- Sólidos en Suspensión.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Nitrógeno total y fósforo.

7.3.- MODIFICACIONES DE LA PLANTA PILOTO

Las Conclusiones que se han obtenido durante la Investigación de Choque, básicamente afirmaban que aun siendo INSATISFACTORIOS todos los resultados obtenidos, el relleno de granulometría 3-7 mm era el que obtenía mejores resultados de eliminación de DQO y DBO, no pudiendo afirmar de ninguna manera la idoneidad de este material de relleno (arcilla expandida) para el tratamiento de los efluentes industriales ensayados.

Se consideraba necesario para futuras investigaciones, resolver la problemática de tratar efluentes con fluctuaciones en las concentraciones de nutrientes (Nitrógeno y fósforo), y por ello se estimaba necesario, tras la investigación de choque, el ensayo con dosificación de nutrientes para garantizar en cualquier momento la adecuada concentración de éstos en el agua bruta industrial objeto de estudio.

Se planteó también la Investigación de Fondo dirigida a comprender los procesos bioquímicos que ocurren en el reactor, con el fin de adaptar el sistema y mejorarlo de tal forma que se puedan aplicar cargas de trabajo mayores, junto con la consecución de unos niveles de alta calidad en el agua tratada en el lecho inundado.

En el apartado de Conclusiones Previas ya se apuntó la necesidad del estudio en fases posteriores del comportamiento de los rellenos de arcilla también con flujo co-corriente.

Así se concibieron unas modificaciones en la planta piloto original, de tal forma que éstas facilitasen la operación para el funcionamiento adaptado a las situaciones planteadas. Las modificaciones principales que se adoptaron respecto a la primera planta piloto utilizada fueron:

- Montaje de las tuberías, y accesorios en la alimentación de agua bruta y recogida del agua tratada en los prototipos, así como las electroválvulas necesarias para poder utilizar un mismo prototipo para ensayos tanto en flujos contracorrientes como en co-corriente.
- Instalación de un depósito de 250 litros donde se dispondrá de una solución de dihidrógenofosfato potásico (KH_2PO_3) y urea ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) que será añadida a cada uno de los depósitos de alimentación intermedios mediante bombas peristálticas independientes (Caudal: 0,6-4 l/hora).
- Instalación de un nuevo sistema de toma de muestras del agua tratada que consistirá en el montaje de válvulas de aguja que nos permitirá realizar una toma de muestra más representativa y homogénea al poder disponer de una adecuada regulación en el caudal del agua a muestrear.

- Adecuación del software de control existente a las nuevas configuraciones que se ensayarán en cuanto a los diferentes tipos de flujo (contracorriente y co-corriente).
- Instalación de un depósito de 250 litros de una solución de sosa (NaOH), que será dosificada mediante bombas peristálticas a los tanques de almacenamiento intermedios, a efectos de neutralizar el agua residual de una forma más homogénea y evitar variaciones bruscas de pH.

8.- DISEÑO DE LA NUEVA PLANTA PILOTO

8.1.- INTRODUCCIÓN

El diseño de las modificaciones a realizar en la planta piloto original se concibió cuando se tuvo la certeza de ser factibles éstas,

La planta piloto modificada se mantuvo con las mismas tres columnas (una en reserva) de PVC de diámetro interior de 300 mm que se utilizaron en la Investigación de Choque y que constituyen el receptáculo para el material soporte de los lechos inundados.

El autómata de control de la planta nos permitirá contabilizar el valor que alcanzan en cada instante diversos parámetros y variables (presión, caudales, pH, temperatura, etc.).

8.2- DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

8.2.1.- Circuito de agua bruta

Al igual que en la planta donde se realizó la investigación de choque, a alimentación de agua residual industrial comienza en una bomba centrífuga horizontal autoaspirante (BD-A), marca GRUNFOSS y a través de una tubería de polietileno se alimentan los depósitos intermedios (DP-PP-A1, DP-PP-A2 y DP-PP-A3) que a su vez mediante bombas dosificadoras independientes, marca DOSAPRO MILTON-ROY de un caudal unitario de: 0-83 l/hora (BD-PP-A1, BD-PP-A2 y BD-PP-A3) alimentan a los tres prototipos de columnas.

De las bombas dosificadoras e independientemente el agua se puede contabilizar y enviar a los siguientes destinos:

- Entrada superior del Reactor Biológico.
- Entrada inferior del Reactor Biológico, para poder ensayar el comportamiento del filtro con flujos ascendentes (flujo co-corriente).
- Toma de muestras de Agua Bruta.

Las diferencias fundamentales de esta planta piloto modificada con respecto a la planta piloto inicial donde se realizó la Investigación de Choque, radicó en la instalación de nuevos circuitos de alimentación de agua bruta y recogida de agua tratada (tuberías, válvulas, etc), que nos permitiría ensayar el comportamiento del filtro alimentándolo por la parte inferior (Co-corriente).

Así mismo se instalaron en esta nueva planta piloto en el circuito de recogida del agua tratada ventosas para la eliminación de aire, y así evitar variaciones incontroladas en la velocidad de salida del agua tratada.

8.2.2.- Circuito de aire de proceso

Se mantuvo la misma instalación de la planta piloto inicial, en lo que respecta a la soplante de aire (SP-PP), a la calderería y a los accesorios que conducen el aire al lecho. Se enviaron los rotámetros (FI) de medición del aire de proceso al fabricante para su revisión y calibración, y como único cambio a destacar es la sustitución del difusor de burbuja fina inicialmente de material EPDM, por otro de silicona, que es más resistente y es usado habitualmente en aplicaciones industriales, y que garantiza las mismas tasas de transferencia de oxígeno al agua residual.

8.2.3.- Circuito de lavado del Reactor Biológico

Manteniendo básicamente la misma disposición que la de la planta piloto inicial, los cambios que se han realizado en esta nueva planta piloto han sido los siguientes:

- Sustitución del colector de salida del aire de lavado por uno en forma de anillo que garantizará el reparto del aire uniformemente, y que al estar equilibradas las presiones del aire dentro del colector nos garantizará la no existencia de flujos preferenciales en la salida del aire del aire de lavado, aumentando la eficacia del lavado dentro del Reactor Biológico.
- Revisión y calibración por parte del fabricante de los rotámetros de aire y agua de lavado.



Figura 8.1.- Detalle de difusor de membrana de silicona.



Figura 8.2.- Detalle de sistema de aireación del lavado.

Al igual que en la Investigación de Choque, durante el ensayo con flujo descendente (flujo contracorriente), para garantizar un nivel constante de agua residual sobre el relleno, el agua que atravesaba el lecho se recogió por la parte inferior, volviendo a subir hasta una altura que garantizó la inundación del material para posteriormente ser conducida por gravedad al depósito de agua tratada.

En el caso de flujo descendente (flujo co-corriente), se garantizará un nivel constante sobre el relleno el agua recogiénola por la parte superior con un nuevo sistema de recogida de agua, para posteriormente ser enviada al depósito de agua tratada.

8.2.4.- Circuito de dosificación de nutrientes

El circuito de dosificación de nutrientes se utiliza para suministrar las cantidades necesarias de nutrientes (Nitrógeno y fósforo), que suplirán la carencia de estos elementos en el agua residual en momentos que las materias primas de los procesos fabriles no los aporten.

El circuito comienza con tres bombas peristálticas, una para cada filtro, de un caudal variable de 0,6-4 l / hora (BD-N1, BD-N2 y BD-N3). Estas bombas toman el agua de un depósito de 250 litros donde se dispondrá de una solución de dihidrógenofosfato potásico (KH_2PO_3), y urea ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$), al 46% de riqueza que garantizarán en cada ensayo al menos 250 ppm de concentración de Nitrógeno total y 50 ppm de fósforo total, que garantizarán en cada momento una dosis de urea de 6 ppm y 1 ppm de dihidrógenofosfato potásico.

8.2.5.- Circuito de Neutralización-Corrección de pH

Se dispondrá de un depósito de 250 litros de sosa diluida al 33% (DP-PP-SOSA), y mediante una bomba peristáltica se dosifica la solución básica que nos neutralizará el agua bruta. La regulación de la dosificación se realiza de forma manual y la planta al igual que el diseño original dispone de un medidor de pH a la entrada del lecho, y asociado a un registrador que nos permitirá en todo momento garantizar valores de pH dentro de los intervalos óptimos de funcionamiento.

8.2.6.- Toma de muestras

Se instaló un nuevo sistema manual de toma de muestras del agua tratada que consistió en el montaje de válvulas de aguja que nos permitieran realizar una toma de muestra más representativa y homogénea al poder disponer de una adecuada regulación en el caudal del agua a muestrear a lo largo del día.

Los puntos de muestreo se situaron en: Agua Bruta, previo a la entrada del Reactor Biológico y Agua Tratada, a la salida del Reactor Biológico, independiente del sentido de alimentación (superior o inferior).

Figura 8.3.- Esquema de prototipo de lecho filtrante.

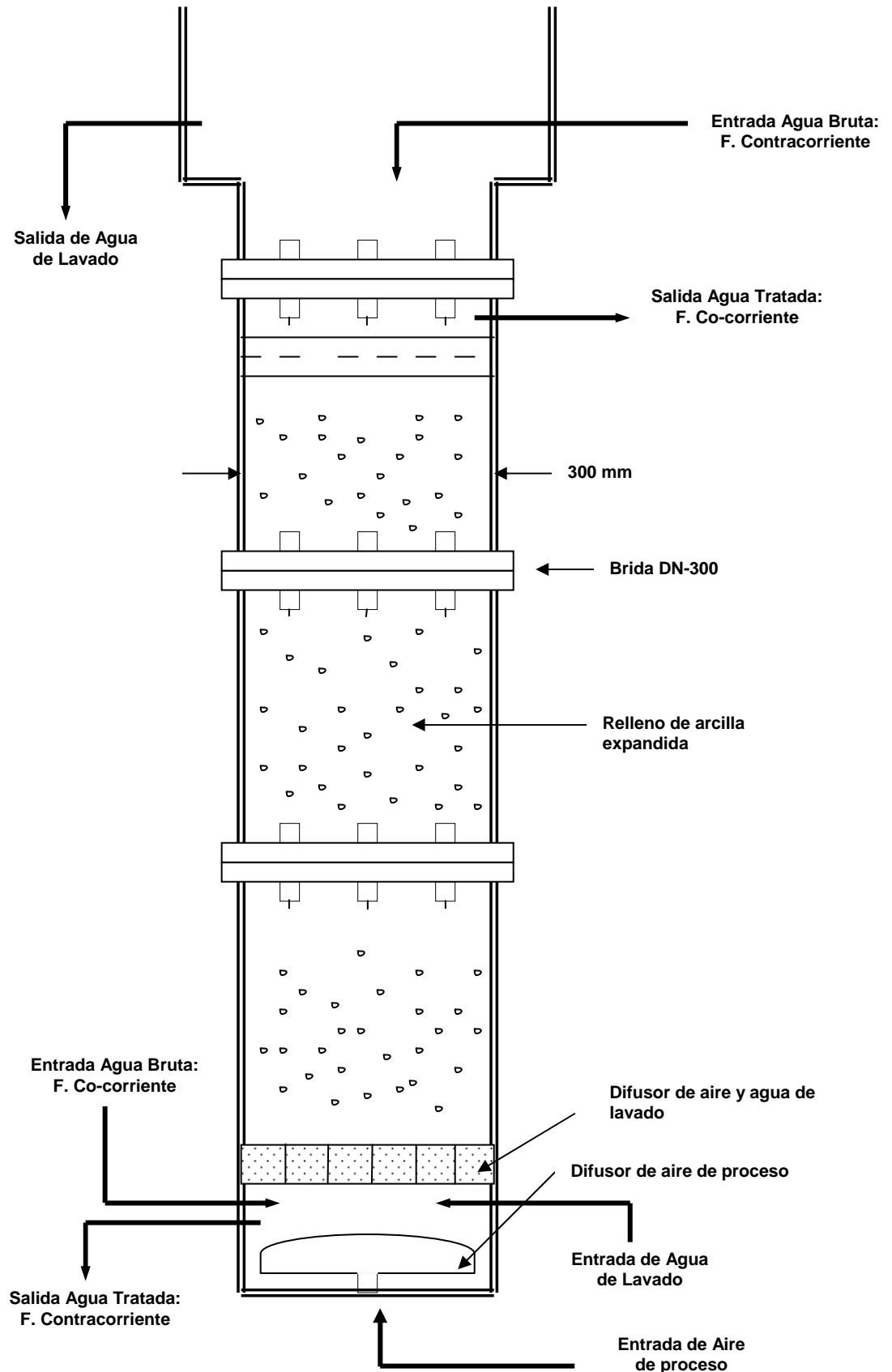
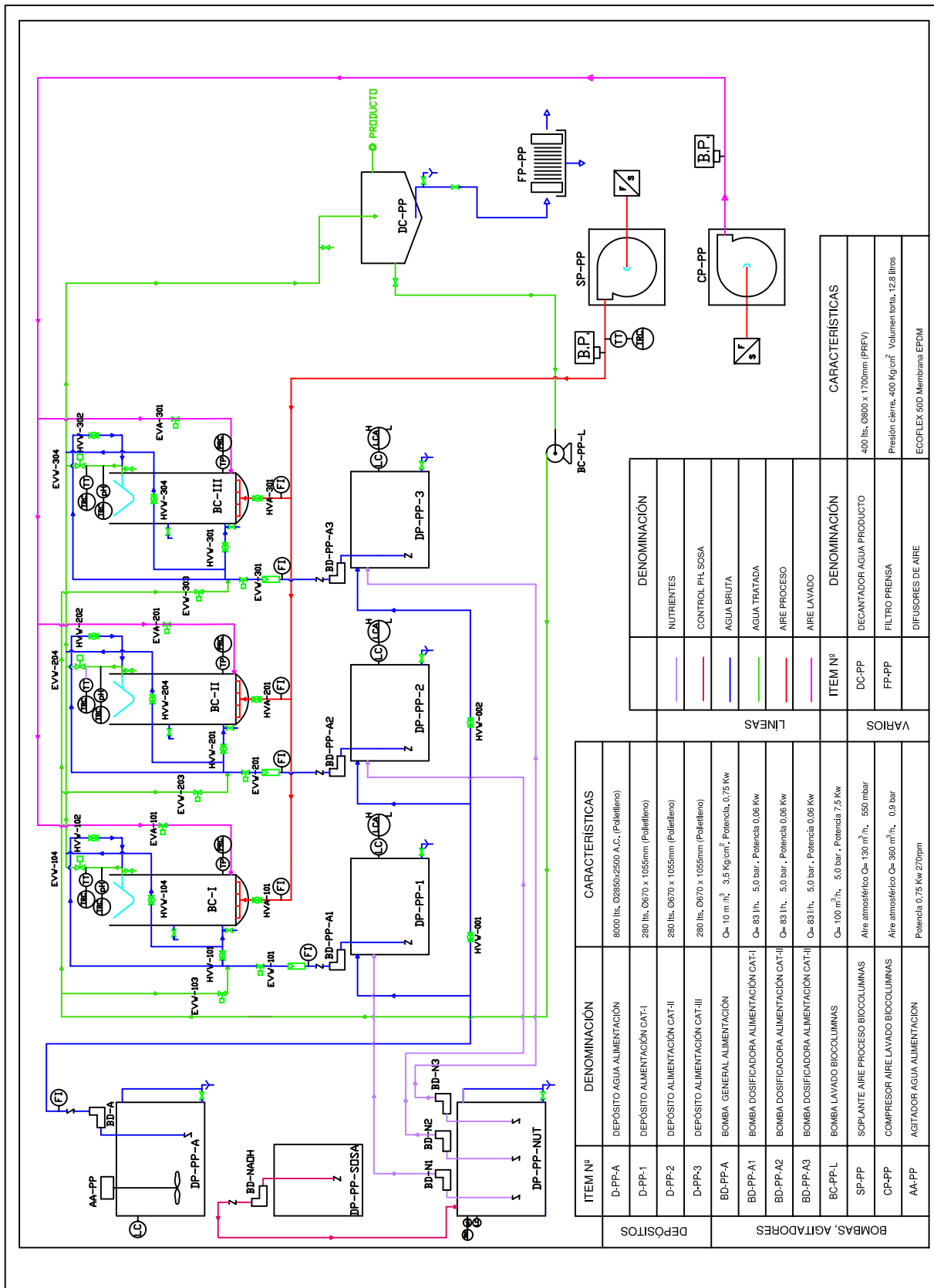


Figura 8.4.- Diagrama de flujo en la planta piloto.



**9.- PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA
PILOTO MODIFICADA**

9.1.- MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA PILOTO MODIFICADA

Se realiza una prueba de estanqueidad de la planta, una vez terminada las modificaciones el día 4 de marzo de 2003.

Se observó al realizar la comprobación del circuito de agua tratada en el flujo co-corriente que no se evacuaba correctamente el agua depurada, provocando reboses puntuales por la parte superior del lecho, a la vez que empezaban a aparecer problemas de estanqueidad en las electroválvulas.

Estos problemas obligan a la suspensión de la puesta en marcha para proceder al cambio de las electroválvulas iniciales por otras de tipo industrial y suficientemente probadas en la Industria Química, con fluidos con características agresivas, así como la sustitución del sistema de evacuación de agua tratada en la configuración de flujo co-corriente por otro de mayor diámetro y con las pendientes adecuadas que permitan una buena circulación de agua industrial depurada hasta el depósito de agua tratada.

El 26 de marzo de 2003 se realizó el llenado de los filtros con el material de relleno (arcilla expandida) y se puso en marcha el día 29 por primera vez. A partir de este momento comenzó un período de tiempo que se correspondió con la Puesta a Punto de la planta, y posteriormente se ajustaron las electroválvulas, los automatismos y diversos mecanismos electromecánicos como el sistema de toma de muestras, a la vez que se realiza la calibración de los diferentes aparatos de medida.

Así, el 31 de marzo de 2003, se realizó una nueva Puesta en Marcha, y se inició la toma sistemática de datos, correspondientes a las fases de trabajo en la planta piloto modificada, y que se describen detalladamente a continuación.

9.2.- PLAN DE TRABAJO

9.2.1.- Introducción

Las modificaciones de las bases de partida justificadas por las conclusiones previas obtenidas en la Investigación de Choque de la primera planta nos apuntaban TRES líneas de investigación a seguir en la nueva planta piloto: 1.-Ensayo con dosificación de nutrientes para garantizar en cualquier momento la adecuada concentración de estos nutrientes en el agua bruta industrial objeto de estudio.2.- Comportamiento de los rellenos de arcilla también con flujo co-corriente.3.-Necesidad de adaptar el sistema y mejorarlo de tal forma que se pudieran aplicar cargas de trabajo mayores, a la vez que nos permitiesen la consecución de unos niveles de alta calidad en el agua tratada.

El ensayo con dosificación de reactivos nos obligaba a replantear y corroborar algunos resultados de la Investigación de Choque, por lo que se consideró necesario repetir algunas fases ya experimentadas, para confirmar los resultados obtenidos, y contrastar así los resultados a obtener con esta dosificación de reactivos que sin duda tenía que causar progresos positivos en el funcionamiento.

9.2.2.- Metodología para la toma de datos

La planificación de todo lo relacionado con el muestreo coincidió con lo realizado en la Investigación de Choque con la planta piloto inicial, con lo que se remite al capítulo 6, donde se indica el procedimiento de toma de muestras, selección de horas para la realización del muestreo, puntos de muestreo, periodicidad y las

analíticas realizadas a cada muestra en el laboratorio (salvo que no se realizaron analíticas de DBO₅).

9.2.3.- Fases de trabajo de la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto

9.2.3.1.- Introducción

El replanteamiento se centró en repetir experimentos con diferentes tamaños de granos del material del lecho (arcilla expandida); relleno monocapa con granulometrías de 2-5 mm, y relleno monocapa con granulometría de 3-7 mm. manteniendo la altura de relleno al igual que en la Investigación de Choque en 1,5 metros.

Se pensó en utilizar los dos tipos, es decir en un relleno bicapa que dependiendo del tipo de flujo, fuese con la de menor tamaño en la parte inferior o superior, pero los espesores igualmente se tendrían que estudiar, lo que alargaría en demasía la investigación, además toda la complejidad que conllevaría su construcción, dejándose para otras futuras líneas de trabajo su estudio.

El Caudal de agua bruta ensayado en toda la experimentación se mantuvo constante a 30 litros/hora.

Para el relleno cerámico del Reactor los estudios precedentes realizados al respecto se conocían los óptimos resultados obtenidos con Flujo Descendente del agua (Flujo Contracorriente), mejores a los que se podían obtener con flujo co-corriente, no pudiendo generalizar este comportamiento para efluentes industriales, al haberse ensayado durante la Investigación de Choque sólo con flujos contracorriente.

Es por ello que se adoptó contrastar las dos disposiciones para ver cual es la que mejor se adaptaba a estos efluentes industriales.

Se probaron niveles de aireación desde los 0,111 Kg O₂/h hasta los 0,488 Kg O₂/h, intercalando ensayos con 0,125, 0,139, 0,167, 0,195, 0,209, 0,237, 0,265, 0,279, 0,307, 0,348 y 0,418 Kg O₂/h. Este amplio rango obedecía a los resultados deficientes obtenidos durante la Investigación de Choque.

Al igual que durante la Investigación de Choque se mantuvo una periodicidad de los lavados de 24 horas, independientemente de las variaciones de carga que se aplicaron al Reactor Biológico.

La puesta a punto de la planta piloto reformada comenzó el 31 de marzo de 2003.

A continuación, se inserta un cuadro resumen de todas las fases de trabajo de la Investigación seguida en la puesta a punto de la nueva planta piloto, detallándose minuciosamente más adelante cada una de ellas.

Cuadro 9.1.- Síntesis de las fases de trabajo de la Investigación en la investigación seguida en la Puesta a punto de la nueva planta Piloto.

Fase	Fecha P. Marcha de la fase	Tipo de Flujo	Relleno del filtro (tipo de relleno)	Caudal de aire (Kg. O ₂ /h)	Observaciones		
1	marzo	Flujo Contracorriente	Relleno monocapa (3-7mm)	$Q_{\text{aire}} \geq 0,348$	ELA, DN		
2		Flujo Co-corriente					
3	abril	Flujo Contracorriente		Relleno monocapa (3-7mm)	$Q_{\text{aire}} \leq 0,139$	BA, DN	
4		Flujo Co-corriente					
5	mayo	Flujo Contracorriente			Relleno monocapa (3-7mm)	$0,139 < Q_{\text{aire}} < 0,348$	MA, DN
6		Flujo Co-corriente					
7	marzo	Flujo Contracorriente	Relleno monocapa (2-5mm)			$Q_{\text{aire}} \geq 0,348$	ELA, DN
8		Flujo Co-corriente					
9	abril	Flujo Contracorriente		Relleno monocapa (2-5mm)		$Q_{\text{aire}} \leq 0,139$	BA, DN
10		Flujo Co-corriente					
11	mayo	Flujo Contracorriente			Relleno monocapa (2-5mm)	$0,139 < Q_{\text{aire}} < 0,348$	MA, DN
12		Flujo Co-corriente					

BA=Baja aireación; MA=Media aireación; ELA=Elevada aireación; DN=Dosificación de nutrientes

9.2.3.2.- Fases 1 y 2. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 1) y co-corriente (Fase 2).

Esta fase comenzó el 31 de marzo de 2003. Dada la importancia que tenía la obtención de resultados positivos, una vez de los desfavorables conseguidos en la Investigación de Choque sin dosificación de nutrientes, donde se había dudado de la viabilidad del sistema e incluso de la aplicación de este tipo de relleno a aplicaciones industriales, se decidió realizar los primeros ensayos con una gran cantidad de aire de proceso (en detrimento de la economía del sistema). Primero se sometió el Reactor a flujo contracorriente y una vez obtenidos los resultados se procedió al ensayo con flujo co-corriente.

Se ensayaron niveles de aporte de oxígeno desde los 0,348 Kg O₂/h (17,45 Nm³/m²/h) hasta los 0,488 Kg O₂/h (24,44 Nm³/m²/h), intercalando ensayo con 0,418 Kg/O₂/h (20,94 Nm³/m²/h).

9.2.3.3.- Fases 3 y 4. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 3) y co-corriente (Fase 4).

Esta fase da comienzo el 28 de abril de 2003. Como se comentaba con anterioridad y debido la importancia económica de la aireación en un filtro biológico inundado, se continuó la Investigación suministrando caudales de aire mínimos.

Se comprobó al poco tiempo de comenzada la fase que el oxígeno proporcionado al sistema era escaso tanto para el flujo contracorriente como para el co-corriente, y se ensayaron niveles de aporte de oxígeno desde los 0,1111 Kg O₂/h (5,59 Nm³/m²/h) hasta los 0,139 Kg O₂/h (6,98 Nm³/m²/h), intercalando ensayo con 0,125 Kg/O₂/h (6,28 Nm³/m²/h).

9.2.3.4.- Fases 5 y 6. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 5) y co-corriente (Fase 6).

Se reinició la operación de la nueva planta piloto el día 5 de mayo de 2003. En estas nuevas fases los escalones de aireación que se ensayaron fueron desde 0,167 Kg O₂/h (8,38 Nm³/m²/h) hasta los 0,334 Kg O₂/h (16,76 Nm³/m²/h).

Entre tanto se había intercalado ensayos con 0,195, 0,209, 0,237, 0,265, 0,279 y 0,307 Kg/O₂/h (9,77; 10,47; 11,87; 13,27; 13,96 y 15,36 Nm³/m²/h, respectivamente) aparte de las dos etapas ya mencionadas.

9.2.3.5.- Fases 7 y 8. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 7) y co-corriente (Fase 8).

Esta fase comenzó el 31 de marzo de 2003. Primero se sometió el Reactor a flujo contracorriente y una vez obtenidos los resultados se procedió al ensayo con flujo co-corriente.

Se ensayaron niveles de aporte de oxígeno desde los 0,348 Kg O₂/h (17,45 Nm³/m²/h) hasta los 0,488 Kg O₂/h (24,44 Nm³/m²/h), intercalando ensayo con 0,418 Kg/O₂/h (20,94 Nm³/m²/h).

9.2.3.6.- Fases 9 y 10. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 9) y co-corriente (Fase 10).

Esta fase dio comienzo el 28 de abril de 2003. Al igual que lo observado en el material de relleno de granulometría de 3-7 mm se comprobó al poco tiempo de comenzada la fase que el oxígeno proporcionado al sistema era escaso tanto para el flujo contracorriente como para el co-corriente, y se ensayaron niveles de aporte de oxígeno desde los 0,111 Kg O₂ /h (5,59 Nm³/m²/h) hasta los 0,111 Kg O₂/h (5,59

Nm³/m²/h) hasta los 0,139 Kg O₂/h (6,98 Nm³/m²/h), intercalando ensayo con 0,125 Kg/O₂/h (6,28 Nm³/m²/h).

9.2.3.7.- Fases 11 y 12. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 11) y co-corriente (Fase 12).

Al igual que en las fases 5 y 6, se reinició la operación de la nueva planta piloto el día 5 de mayo de 2003 en el otro Reactor biológico. En estas nuevas fases los escalones de aireación que se ensayaron fueron desde 0,167 Kg O₂/h (8,38 Nm³/m²/h) hasta los 0,334 Kg O₂/h (16,76 Nm³/m²/h). Entre tanto se había intercalado ensayos con 0,195; 0,209; 0,237; 0,265; 0,279 y 0,307 Kg/O₂/h (9,77; 10,47; 11,87; 13,27; 13,96 y 15,36 Nm³/m²/h, respectivamente) aparte de las dos etapas ya mencionadas.

9.3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS

9.3.1.- Introducción

La Investigación realizada durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto consistió en la búsqueda de las condiciones idóneas que permitieran alcanzar niveles adecuados de depuración. En algunas etapas en particular, los resultados aparecieron en gran medida dispersos. Mejores rendimientos suelen asociarse a menor dispersión y mayor calidad, si cabe la expresión de los datos. Por otra parte, no se advirtieron diferencias significativas entre algunos grupos de datos de las fases expuestas anteriormente.

9.3.2.- Análisis de los resultados analíticos

A lo largo de este capítulo se ha pretendido destacar la ausencia de problemas mecánicos durante la puesta en marcha, lo que nos garantizaba para inicio de la Investigación de Fondo disponer de una planta perfectamente calibrada, y de la que se controlan la mayoría de los aspectos relacionados con la operación.

Se había cubierto el objetivo de Puesta a Punto. Estos meses de trabajo se aprovecharon para la toma de datos que nos permitieron en algunos casos la racionalización del proceso investigativo, y en otros la consecución de una dispersión de valores obtenidos en las muestras analizadas.

Es por todo lo anterior, que sólo puede aventurarse a afirmar lo que sigue sobre los resultados observados en esta fase de la investigación. El deseo de alcanzar otras conclusiones obligaría al replanteamiento de algunas fases ensayadas.

9.3.2.1.- Fases 1 y 2. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 1) y co-corriente (Fase 2).

Los resultados que se obtuvieron en los niveles de depuración mejoraron muy significativamente alcanzándose resultados de rendimientos medios de eliminación de DQO del 71,2 % con un 74,3% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M. para el flujo contracorriente. En el ensayo con flujo co-corriente los resultados de rendimientos medios de eliminación sorprendentemente fueron mayores que los obtenidos con el ensayo a flujo contracorriente, alcanzándose un rendimiento medio de eliminación de DQO del 84,1 % y un 88,4% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M.

Se observó que la periodicidad de los lavados que se había propuesto inicialmente no provocaban atascamientos del filtro, por lo que se consideró adecuado este régimen debido a la economicidad y ventajas que presenta trabajar con la menor periodicidad posible en los lavados.

Todos estos resultados obtenidos confirmaban que el material de relleno podía servir para los objetivos encomendados.

Durante la fase 1 se consiguen valores medios de salida de DQO inferiores a lo establecido en el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de Murcia como límite, alcanzándose niveles medios de salida de 876 mg/l. En la fase 2 con estos niveles de aireación elevados se obtuvieron valores mayoritariamente por debajo de lo establecido en los límites del Decreto 16/1999 de la C.A.R.M. presentando las muestras valores medios de salida de 597 mg/l.

En referencia a los SS, se pueden calificar los resultados de satisfactorios en las fases 1 y 2, alcanzándose niveles medios de salida de 273 y 259 mg/l respectivamente.

9.3.2.2.- Fases 3 y 4. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 3) y co-corriente (Fase 4).

Los resultados que se obtuvieron en los niveles de depuración manifestaron significativamente resultados inadmisibles alcanzándose resultados de rendimientos medios de eliminación de DQO del 32,4 % con un 0% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M. para el flujo contracorriente. En el ensayo con flujo co-corriente los resultados de rendimientos medios de eliminación siguen la misma tendencia que los ensayados con flujo contracorriente, alcanzándose un rendimiento medio de eliminación de DQO del 31,3 % y un 0% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M.

Durante estas fases nunca se llegaron a alcanzar valores de salida próximos a lo establecido en el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de Murcia como límite, alcanzándose niveles medios de salida de 1.568 y 1.387 mg/l en las fases 1 y 2 respectivamente.

En referencia a los SS, se pueden calificar los resultados de mayoritariamente satisfactorios, alcanzándose niveles medios de salida de 394 y 381 mg/l en las fases 3 y 4 respectivamente.

9.3.2.3.- Fases 5 y 6. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 3-7 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 5) y co-corriente (Fase 6).

Los primeros resultados obtenidos en flujo contracorriente no defraudaron, y que sin ser plenamente satisfactorios aún quedaban algo distante de lo esperado, por ello se incrementó la cantidad de aire suministrada. No se pretendía la optimización del funcionamiento, pero se pretendía volver a confirmar la viabilidad del sistema.

Los resultados que se obtuvieron en los niveles de depuración sin ser satisfactorios plenamente mejoraron muy significativamente respecto a la fase anterior alcanzándose resultados de rendimientos medios de eliminación de DQO del 67,1 % con un 65,0% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M. para el flujo contracorriente. En el ensayo con flujo co-corriente los resultados de rendimientos medios de eliminación al igual que en las fases 1 y 2 confirmaron un mejor comportamiento que los obtenidos con el ensayo a flujo contracorriente, alcanzándose un rendimiento medio de eliminación de DQO del 81,4% y un 83,4% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M.

Se observó que la periodicidad de los lavados que se había propuesto inicialmente no provocaba atascamientos del filtro, por lo que se consideró adecuado este régimen de trabajo.

En ambas fases el incremento progresivo de aporte de oxígeno al sistema se tradujo en una mejora de los resultados, que fueron muy alentadores, especialmente en la fase 6 (Flujo co-corriente) donde se mostraron relativamente estables, pues presentaron poca variabilidad en función de la carga aplicada. Como cabría esperar la disminución en los niveles de aireación supuso, una ligera disminución de los rendimientos de salida, pero a su vez es de destacar que los resultados de depuración

obtenidos con estos niveles de aireación ya no iban en contra de la economía del sistema.

De nuevo un aumento cuantitativo del caudal de aire, muy especialmente en los primeros tramos (0,167; 0,195 y 0,209 Kg O₂/h) se tradujo en una mejora de los resultados positivos, traduciéndose en una mejora progresiva y paralela de los resultados, alcanzándose niveles medios de salida de 1.084 y 842 mg/l en las fases 5 y 6 respectivamente.

En referencia a los SS, se pueden calificar los resultados de satisfactorios en las fase 5 y 6, alcanzándose niveles medios de salida de 282 y 268 mg/l en las fases 5 y 6 respectivamente.

9.3.2.4.- Fases 7 y 8. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., elevada aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 7) y co-corriente (Fase 8).

En los resultados de los niveles de depuración se alcanzaron resultados de rendimientos medios de eliminación de DQO del 67,2 % con un 47,2% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M. para el flujo contracorriente. En el ensayo con flujo co-corriente los resultados de rendimientos medios de eliminación fueron mayores que los obtenidos con el ensayo a flujo contracorriente, alcanzándose un rendimiento medio de eliminación de DQO del 81,3 % y un 85,2% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M.

Se observó que la periodicidad de los lavados que se había propuesto inicialmente no provocaban atascamientos del filtro, por lo que se consideró adecuado

este régimen debido a la economicidad y ventajas que presenta trabajar con la menor periodicidad posible en los lavados.

Todos estos resultados obtenidos confirmaban que este material de relleno de menor granulometría también podía servir para los objetivos encomendados.

En la fase 7 se consiguen valores medios de salida de DQO superiores a lo establecido en el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de Murcia como límite, alcanzándose niveles medios de salida de 907 mg/l. En la fase 8 con estos niveles de aireación elevados se obtuvieron valores mayoritariamente por debajo de lo establecido en los límites del Decreto 16/1999 de la C.A.R.M. presentando las muestras valores medios de salida de 789 mg/l.

En referencia a los SS, se pueden calificar los resultados de satisfactorios en las fases 7 y 8, alcanzándose niveles medios de salida de 277 y 259 mg/l respectivamente.

9.3.2.5.- Fases 9 y 10. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., baja aireación, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 9) y co-corriente (Fase 10).

Los resultados que se obtuvieron en los niveles de depuración manifestaron significativamente resultados inadmisibles alcanzándose resultados de rendimientos medios de eliminación de DQO del 31,2 % con un 0% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M. para el flujo contracorriente. En el ensayo con flujo co-corriente los resultados de rendimientos medios de eliminación siguieron la misma tendencia que los ensayados con flujo contracorriente, alcanzándose un rendimiento medio de eliminación de DQO del 32,6 % y un 0% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M.

Durante estas fases nunca se llegaron a alcanzar valores de salida próximos a lo establecido en el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de Murcia como límite, alcanzándose niveles medios de salida de 1.636 y 1.487 mg/l en las fases 9 y 10 respectivamente.

En referencia a los SS, se pueden calificar los resultados de mayoritariamente satisfactorios, alcanzándose niveles medios de salida de 366 y 351 mg/l en las fases 9 y 10 respectivamente.

9.3.2.6.- Fases 11 y 12. Relleno en Reactor Biológico (1,5 metros) con arcilla expandida de granulometría 2-5 mm., aireación media, dosificación de nutrientes, y sometiéndolo a flujo contracorriente (Fase 11) y co-corriente (Fase 12).

Los primeros resultados obtenidos en flujo contracorriente, no eran del todo satisfactorios, por ello se incrementó la cantidad de aire suministrada. No se pretendía la optimización del funcionamiento, pero se pretende volver a confirmar la viabilidad del sistema.

Los resultados que se obtuvieron en los niveles de depuración mejoraron significativamente respecto a la fase anterior alcanzándose resultados de rendimientos medios de eliminación de DQO del 64,6 % con un 62,3% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M. para el flujo contracorriente. En el ensayo con flujo co-corriente los resultados de rendimientos medios de eliminación confirmaron un mejor comportamiento que los obtenidos con el ensayo a flujo contracorriente, alcanzándose un rendimiento medio de eliminación de DQO del 77,8 % y un 79,2% de conformidad de las muestras analizadas con el decreto 16/1999 de la C.A.R.M.

Al igual que en el resto de la Investigación de Puesta en Marcha de la nueva Planta Piloto se observó que la periodicidad de los lavados que se había propuesto inicialmente no provocaban atascamientos del filtro, por lo que se consideró adecuado este régimen de trabajo.

En ambas fases el incremento progresivo de aporte de oxígeno al sistema se tradujo en una mejora de los resultados.

También con esta granulometría del relleno un aumento cuantitativo del caudal de aire, muy especialmente en los primeros tramos (0,167; 0,195 y 0,209 Kg O₂/h) se tradujo en una mejora de los resultados positivos, alcanzándose niveles medios de salida de 1.236 y 938 mg/l. en las fases 11 y 12 respectivamente.

En referencia a los SS, se pueden calificar los resultados de satisfactorios en alcanzándose niveles medios de salida de 267 y 261 mg/l en las fases 11 y 12 respectivamente.

9.3.3.- Comparativa de resultados entre fases. Presentación gráfica

Los gráficos que se muestran a continuación intentan reflejar todo lo expuesto hasta el momento de la Puesta a punto, y fundamentarán las conclusiones de la información recabada.

Los gráficos son los siguientes:

Gráfico 9.1.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de DQO

Gráfico 9.2.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de SS

Gráfico 9.3.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de DQO

Gráfico 9.4.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de SS

Gráfico 9.5.- Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de DQO

Gráfico 9.6.- Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de SS

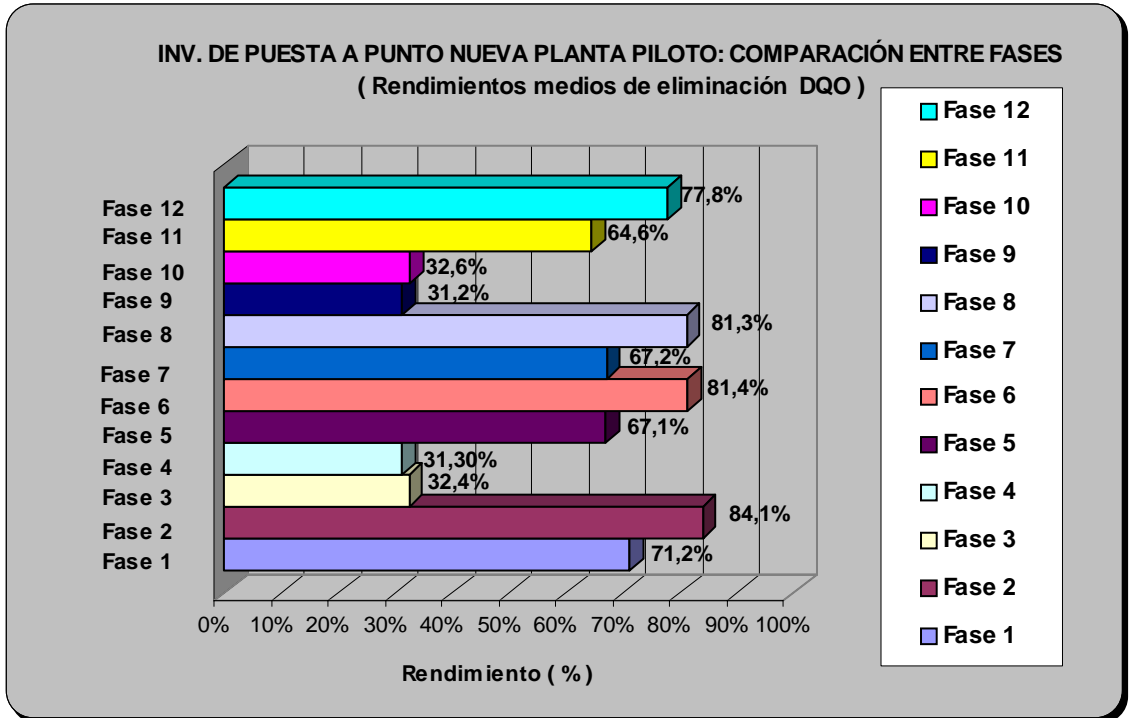


Gráfico 9.1.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de DQO.

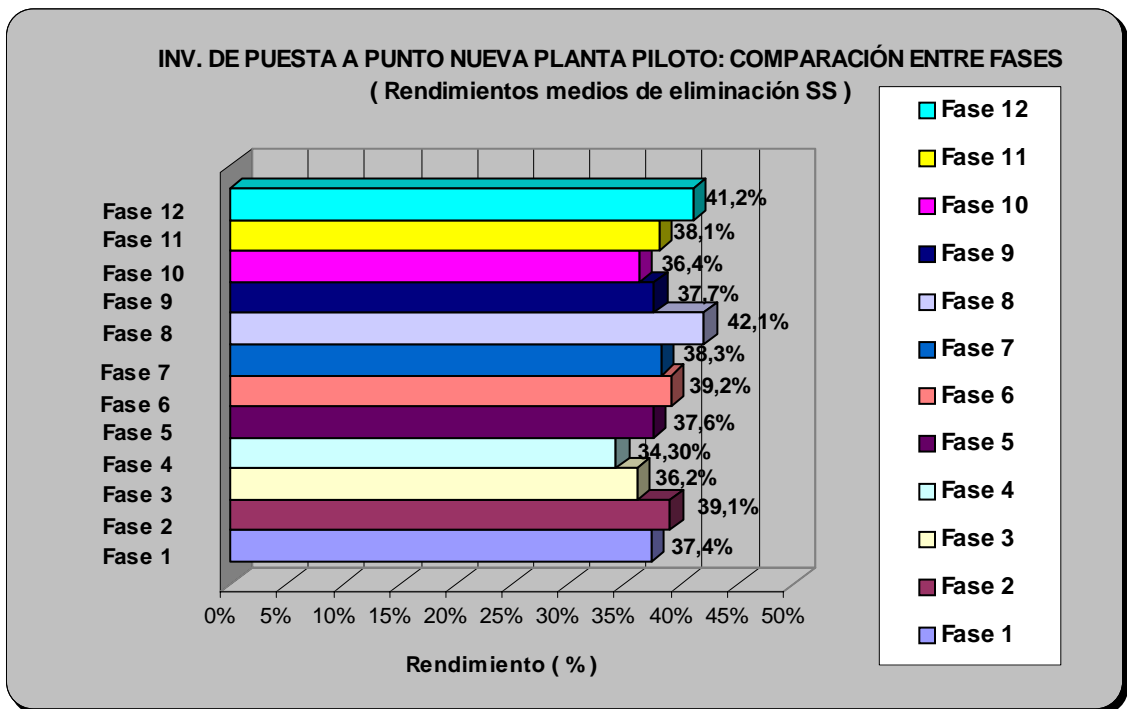


Gráfico 9.2.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de SS.

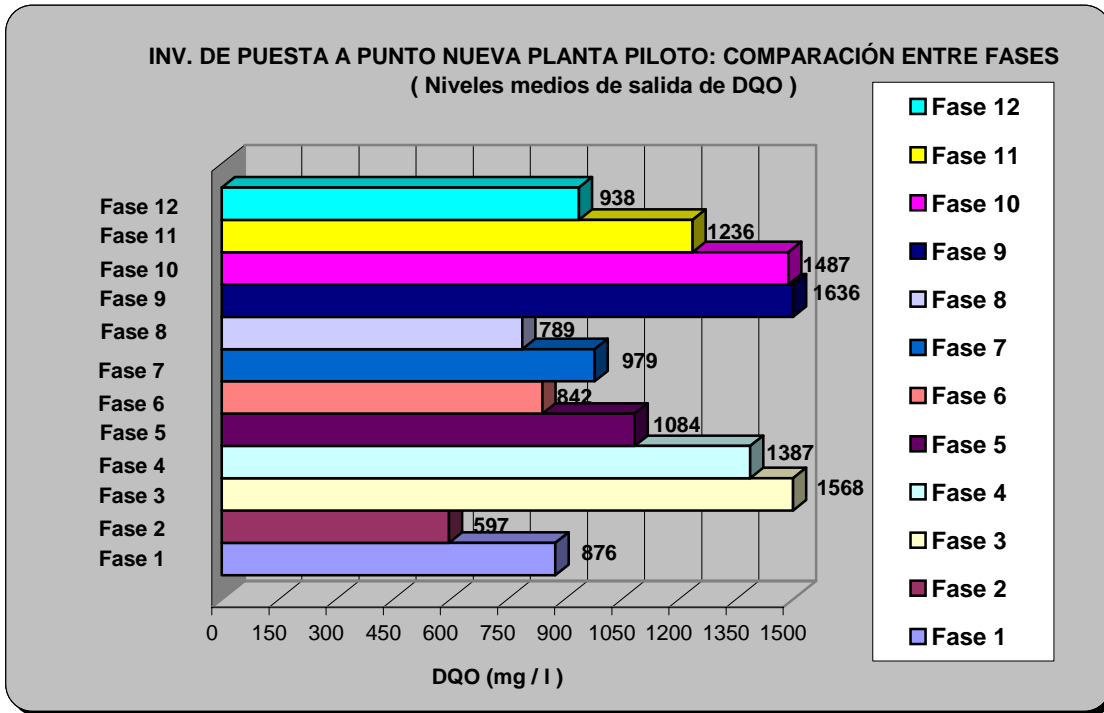


Gráfico 9.3.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de DQO.

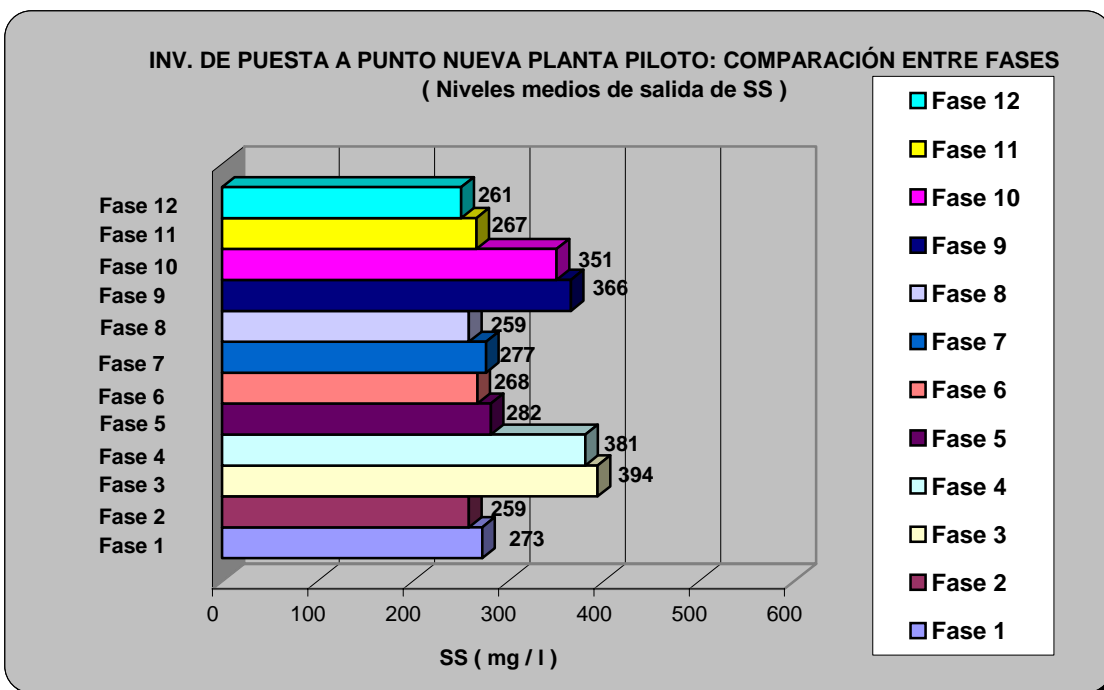


Gráfico 9.4.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de SS.

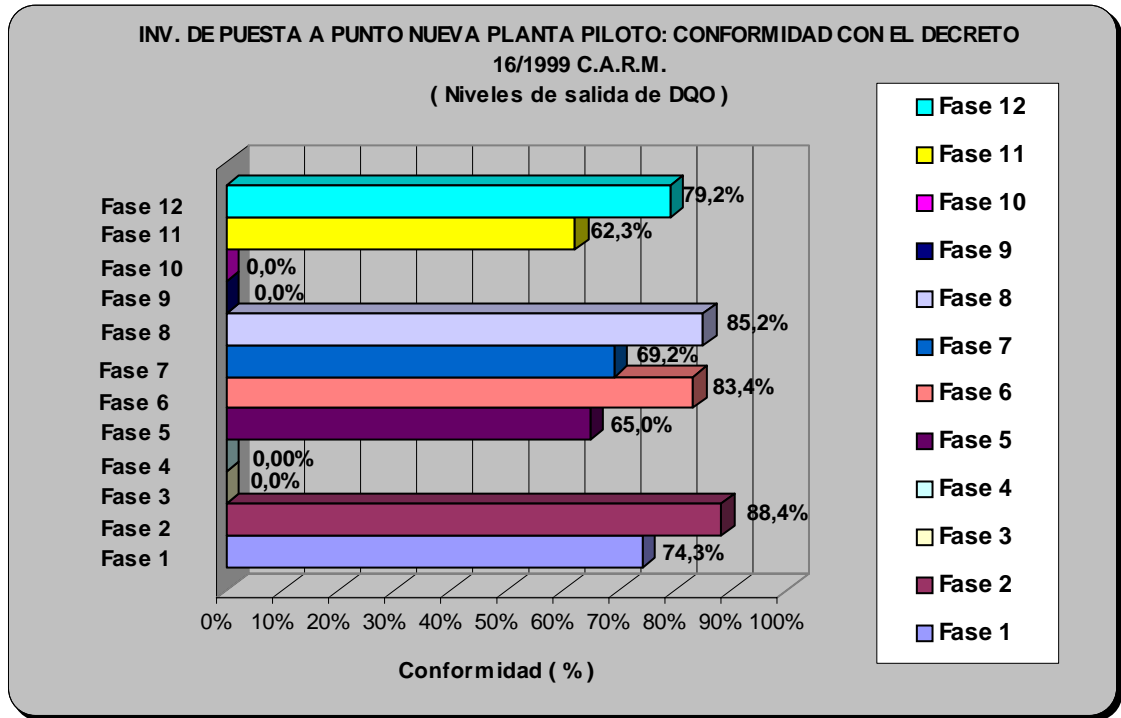


Gráfico 9.5.- Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de DQO.

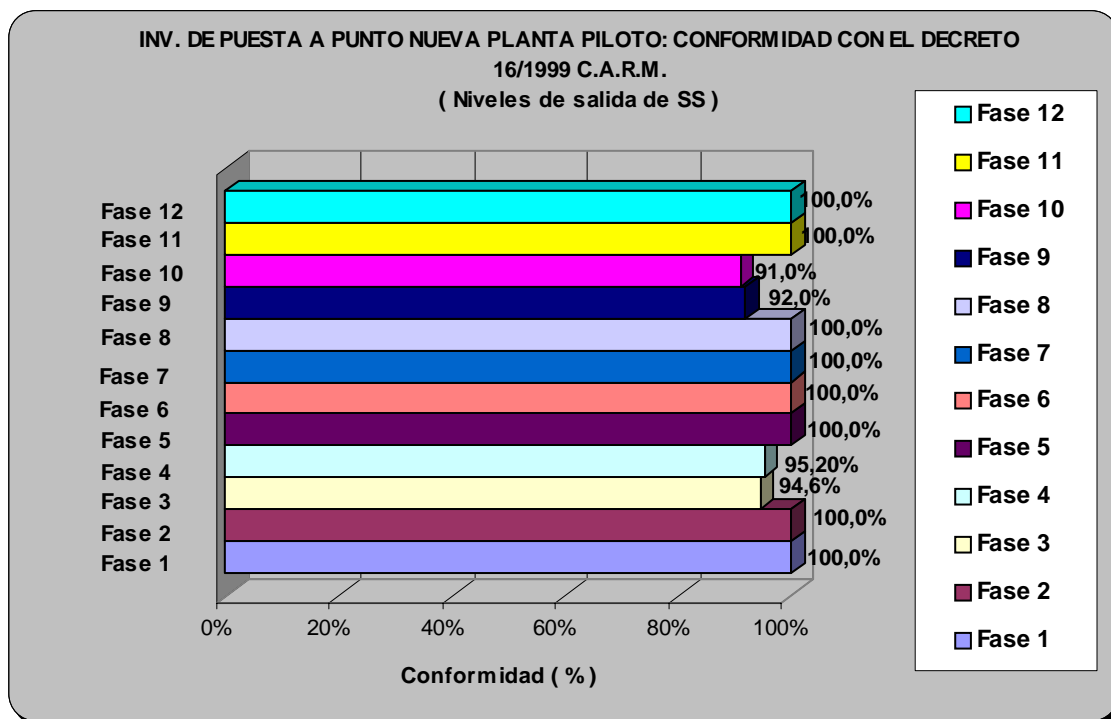


Gráfico 9.6.- Conformidad con el Decreto 16/1999 de la CARM (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de SS.

9.4.- CONCLUSIONES BÁSICAS DE LA INVESTIGACIÓN SEGUIDA DURANTE LA PUESTA A PUNTO DE LA PLANTA PILOTO MODIFICADA

Las conclusiones que se muestran seguidamente vienen a complementar las expresadas en el capítulo correspondiente a “Conclusiones Previas“. Estas son las conclusiones que se pueden enunciar:

1. Se puede afirmar que se ha resuelto SATISFACTORIAMENTE, el tratar efluentes que presentan variaciones en las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), consecuencia de los diferentes procesos productivos, mediante la dosificación de 1,2 L/h de una solución de nutrientes (dihidrógeno fosfato potásico y urea) y así garantizar en cualquier período estacional la adecuada concentración de estos nutrientes en el agua bruta a investigar.
2. El material de relleno se considera adecuado para este tipo de aplicaciones de tratamientos de efluentes industriales procedentes del sector cítrico, conclusión que no pudo afirmarse tras la Investigación de Choque tras los malos resultados obtenidos. Se observan mejores resultados, al igual que durante la Investigación de Choque, para el relleno de granulometría 3-7 mm. No obstante se espera confirmación durante la Investigación de Fondo.
3. Los resultados obtenidos en la Investigación seguida durante la Puesta Punto de la nueva planta piloto indican un mejor comportamiento del flujo co-corriente que el flujo contracorriente en la eliminación de DQO tal y como queda reflejado en las fases 2, 6, 8 y 12, con rendimientos medios de eliminación del 84,1 %, 81,4 %, 81,3% Y 77,8% respectivamente y concentraciones medias de

salida de DQO de 597, 842, 789, y 938 mg / L de. Al igual que en la conclusión anterior se espera confirmación durante la Investigación de Fondo.

4. La aireación influye en mayor medida sobre los resultados de eliminación de materia carbonatada, mientras que la eliminación de SS se mantiene en unos niveles similares, aumentando ligeramente en las fases con relleno de granulometría 2-5 mm: fases 7, 8, 9, 10, 11 y 12, con rendimientos medios de eliminación del 38,3 %, 42,1 %, 37,7 %, 36,4 % 38,1 % y 41,2 % respectivamente, y niveles medios de salida de SS de 277, 259, 366, 351 267 y 261 mg/L. Se comprueba que es más adecuada la media aireación (MA), porque los resultados son similares a los obtenidos con elevada aireación (ELA), con el consiguiente ahorro energético que conlleva.

5. Los rendimientos medios de eliminación de DQO en la fase 6 y 8 son semejantes. Dado que en la fase 6 hay un menor gasto de energía, lo que implicará un menor ratio de necesidades de oxígeno por Kilogramo de DBO_5 eliminado será este rango de aireación el que defenderemos en la Investigación de Fondo.

10.- INVESTIGACIÓN DE FONDO

10.1.- ESTABLECIMIENTO DE LAS BASES DE PARTIDA

10.1.1.- Introducción

La Investigación de fondo comienza el día 26 de Mayo de 2003. Las modificaciones que se llevaron a cabo fueron las realizadas en la nueva planta piloto y que dio lugar a la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto. Para la Investigación de fondo no se realizaron modificaciones en la planta, limitándose a realizar una nueva calibración y verificación de todos equipos electromecánicos y la instrumentación de proceso.

10.1.2.- Establecimiento de las bases para diseñar un Plan de Trabajo

En la Investigación de Fondo ningún objetivo fue revisado respecto a los reseñados en el capítulo "Modificaciones de las bases de partida", tras la Investigación de Choque. Igualmente, se adoptaron las mismas variables y parámetros.

Los ensayos desarrollados durante la Investigación de Choque, tanto en la primera planta piloto, como en la Puesta a punto de la nueva, concluyeron en afirmar la

conveniencia de estudiar en la definitiva Investigación de Fondo, las siguientes alternativas de operación:

- Material de relleno, de arcilla expandida FILTRALITE, con altura de trabajo de 1,5 metros.
- Flujo contracorriente y co-corriente.

10.1.2.1.- Material de relleno

Se continuó ensayando durante esta Investigación de Fondo las dos granulometrías ensayadas durante la Investigación de Choque y la Investigación seguida tras la Puesta en marcha de la nueva planta piloto, a efectos de confirmar los resultados de las investigaciones precedentes.

En cuanto a la aireación, y dados los resultados obtenidos durante la Investigación seguida tras la Puesta en marcha de la nueva planta piloto donde se obtenían resultados positivos en el intervalo de aireación de 0,139 a 0,348 Kg O₂/h, se continúa con 0,209 Kg O₂/h, que es el suministro de aire que dentro del intervalo anteriormente mencionado obtuvo unas buenas relación entre rendimiento y consumo energético. La idea consiste en ensayar con una aireación preconcebida como adecuada en investigaciones anteriores y otra que, a priori, se antoja excesiva (0,488 Kg O₂/h), con la intención de contrastar resultados.

10.1.2.2.- Flujo contracorriente y co-corriente

Se continuaron aplicando durante esta Investigación ensayos con Flujo contracorriente y co-corriente, dados los resultados obtenidos durante la Investigación

seguida tras la Puesta en marcha de la nueva planta piloto que manifestaban un mejor comportamiento en los ensayos realizados con flujo co-corriente que en los de flujo contracorriente, que es el flujo más utilizado para el tratamiento de efluentes urbanos. Se trata de ensayar otra vez con estos dos tipos de flujo para confirmar durante períodos más prolongados de tiempo lo concluido en la anterior etapa de la investigación.

10.2.- PLAN DE TRABAJO

10.2.1. – Metodología para la toma de datos

10.2.1.1.- Toma de las muestras

Al igual que durante la Investigación de Choque y la Investigación seguida durante la puesta a punto de la nueva planta piloto, la toma de las muestras se realizó de forma integrada.

Las muestras se recogían una vez al día, tras días completos de funcionamiento para realizar posteriormente su analítica. No obstante si se consideraba necesario en días aleatorios se tomaban muestras aisladas.

El número total de muestras analizadas diariamente en cada uno de los dos prototipos ascendió a un total de dos asociadas a los siguientes puntos de muestreo:

- Entrada del agua a los prototipos de la planta piloto(procedentes del tanque de almacenamiento homogeneizado de agua residual industrial.
- Salida del agua depurada del lecho inundado.

10.2.1.2. – Analítica de las muestras:

A las muestras tomadas diariamente de cada uno de los prototipos les fueron realizados los siguientes análisis:

Cuadro 10.1.- Síntesis de las tomas de muestras realizadas, indicando muestreo y periodicidad.

Punto de muestreo	Análisis	Frecuencia
Entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB)	pH	Diaria
	Conductividad	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Sem/diaria
	SS	Diaria
	N _{total} y P	Semanal
Salida de agua tratada de los lechos inundados (AT)	pH	Diaria
	Conductividad	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Sem/diaria
	SS	Diaria
	N _{total} y P	Semanal

10.2.2. – Fases de trabajo en la investigación de fondo

La Investigación de Fondo comienza el 26 de mayo de 2003.

En base a la exposición desarrollada en la introducción de este Plan de Trabajo, las fases adoptadas se muestran a continuación en un cuadro síntesis:

Cuadro 10.2.- Síntesis de las fases de trabajo en la investigación de fondo

Fase	Fecha Puesta en marcha de la fase	Tipo de Flujo	Relleno del filtro (tipo de relleno)	Caudal de aire (Kg O ₂ /h-Nm ³ /m ² /h)
1	26/05/03	Flujo Contracorriente con dosificación de nutrientes)	Relleno monocapa (3-7mm)	0,209-10,47
2	7/07/03	Flujo Contracorriente con dosificación de nutrientes)		0,488-24,44
3	3/9/03	Flujo Co-corriente con dosificación de nutrientes)		0,209-10,47
4	6/10/03	Flujo Co-corriente con dosificación de nutrientes)		0,488-24,44
5	26/05/03	Flujo Contracorriente con dosificación de nutrientes)	Relleno monocapa (2-5mm)	0,209-10,47
6	7/07/03	Flujo Contracorriente con dosificación de nutrientes)		0,488-24,44
7	3/09/03	Flujo Co-corriente con dosificación de nutrientes)		0,209-10,47
8	6/10/03	Flujo Co-corriente con dosificación de nutrientes)		0,488-10,47

10.3.- RESULTADOS ANALÍTICOS Y ESTUDIO SISTEMÁTICO DE LA RELACION ENTRE VARIABLES Y PARÁMETROS. DISCUSIÓN

10.3.1 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 1: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O₂/h-10,47 Nm³/m²/h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.3.- Fase nº 2 (I.Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.4.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.1.- Fase nº 2 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.2.- Fase nº 2 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.3.- Fase nº 2 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo)

Cuadro 10.5.- Fase nº 2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.6.- Fase nº 2 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.7.- Fase nº 2 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.8.- Fase nº 2 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.3.- Fase nº 1 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (μS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	6,88	3.765	4.175	2.310	375		
2	10,47	5	7,04	3.540	4.055	2.265	415		
3	10,47	5	6,79	3.875	4.450	2.535	390		
4	10,47	15	6,94	3.690	4.050	2.050	332		
5	10,47	15	6,79	3.100	3.870	2.010	604	38,34	172,84
6	10,47	15	6,78	3.400	6.080	3.800	328		
7	10,47	15	7,45	4.520	4.750	2.460	840	49	211,81
8	10,47	15	6,92	3.670	3.985	2.250	244		
9	10,47	15	8,79	4.840	3.945	2.110	548		
10	10,47	15	7,03	4.950	4.235	2.265	378		
11	10,47	15	6,14	4.875	4.145	2.290	416		
12	10,47	30	7,22	3.460	5.315	2.250	388		
13	10,47	30	6,66	2.900	3.445	1.875	310	67,5	178,44
14	10,47	30	8,04	4.380	4.115	2.155	656		
15	10,47	30	6,26	4.940	5.120	4.120	1072		
16	10,47	30	6,21	4.070	4.120	2.265	696		
17	10,47	30	6,76	4.735	4.375	2.310	547		
18	10,47	30	6,88	4.835	4.785	2.475	478	74,25	198,15
19	10,47	30	7,01	4.935	3.375	1.755	535		
20	10,47	50	8,46	7.600	3.225	1.750	952		
21	10,47	50	8,82	7.100	4.610	2.905	675	74,25	201,24
22	10,47	50	6,33	4.370	5.290	2.320	486		
23	10,47	50	7,51	5.470	3.925	2.210	389		
24	10,47	50	6,73	4.725	3.375	1.815	376		
25	10,47	50	6,4	4.315	3.480	2.439	398	81,2	179,25
26	10,47	50	6,6	5.125	4.940	4.055	435		
27	10,47	50	6,78	4.735	4.100	2.245	548		
28	10,47	80	6,21	4.535	3.975	2.115	566		
29	10,47	80	6,46	4.860	4.655	2.310	431	76,28	164,32
30	10,47	80	6,54	4.325	5.015	4.160	423		
31	10,47	80	6,89	4.680	3.945	2.085	428		

Cuadro 10.4.- Fase nº 1 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	PH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	8,86	3.875	990	575	175		
2	10,47	5	8,78	3.660	870	530	180		
3	10,47	5	8,39	3.975	775	515	205		
4	10,47	15	9,1	5.030	1.075	600	190		
5	10,47	15	8,64	3.410	1.065	535	214	29,9	43,26
6	10,47	15	7,49	4.740	1.440	750	236		
7	10,47	15	8,48	3.500	835	495	318	32	71,63
8	10,47	15	8,48	3.800	1.040	605	185		
9	10,47	15	7,57	4.430	1.095	630	248		
10	10,47	15	8,17	4.375	995	570	234		
11	10,47	15	8,14	4.550	975	565	244		
12	10,47	30	7,38	4.040	1.355	620	260		
13	10,47	30	7,49	2.940	1.085	640	228	38,61	36,42
14	10,47	30	8,3	3.290	1.080	655	292		
15	10,47	30	9,05	4.150	1.330	670	624		
16	10,47	30	8,99	4.360	995	585	236		
17	10,47	30	7,99	4.770	1.305	645	287		
18	10,47	30	8,17	4.980	1.235	670	195	41,15	34,32
19	10,47	30	8,15	5.030	1.415	715	201		
20	10,47	50	9,03	6.100	1.075	610	408		
21	10,47	50	9,02	4.670	1.485	965	229	31,34	58,75
22	10,47	50	8,48	3.730	1.720	925	325		
23	10,47	50	8,72	3.910	1.310	685	286		
24	10,47	50	8,37	4.525	1.275	705	277		
25	10,47	50	8,15	4.115	1.375	895	259	37,29	44,28
26	10,47	50	8,41	4.975	1.185	735	215		
27	10,47	50	8,26	5.015	1.095	575	225		
28	10,47	80	8,32	4.545	1.375	705	245		
29	10,47	80	8,55	4.385	1.455	760	259	33,44	38,81
30	10,47	80	8,38	3.875	1.675	1.125	332		
31	10,47	80	8,52	4.240	1.550	835	318		

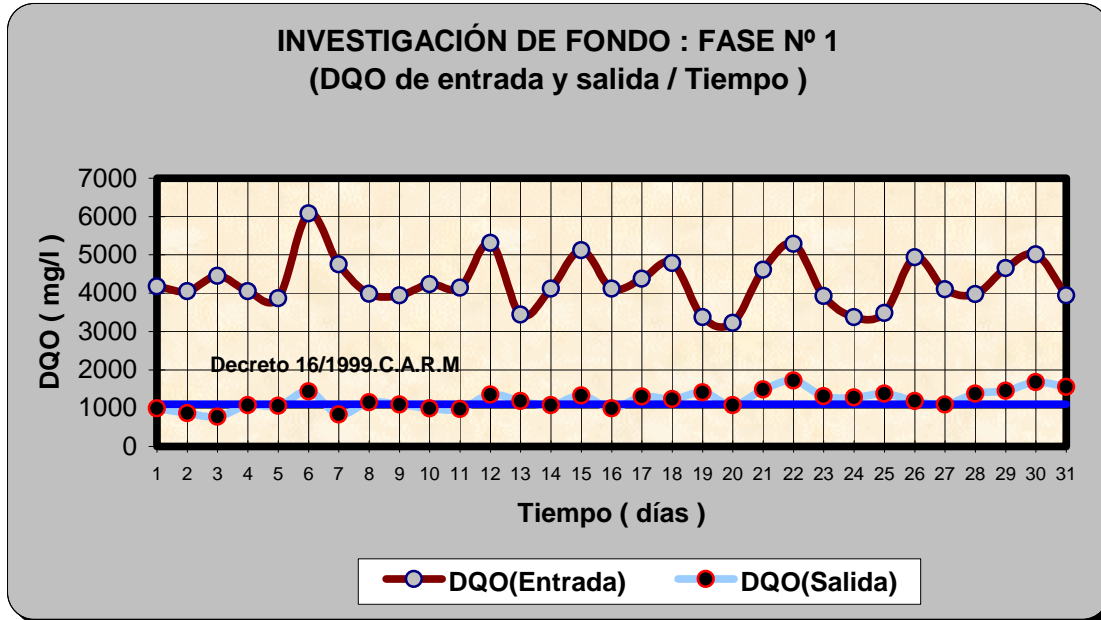


Gráfico 10.1.- Fase n° 1 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

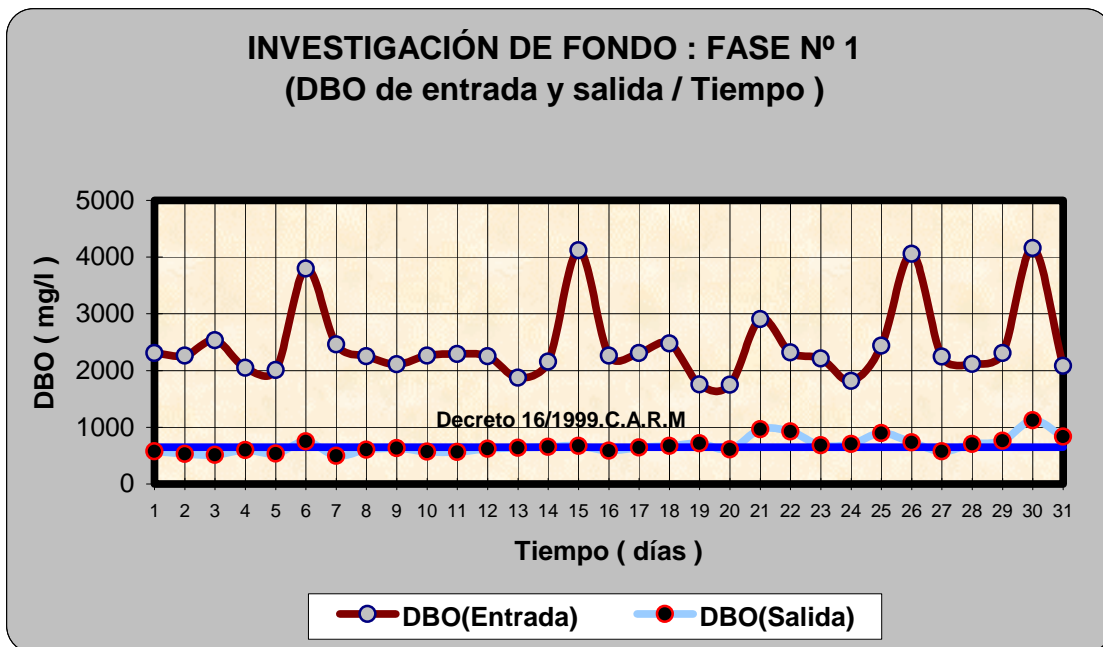


Gráfico 10.2.- Fase n° 1 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

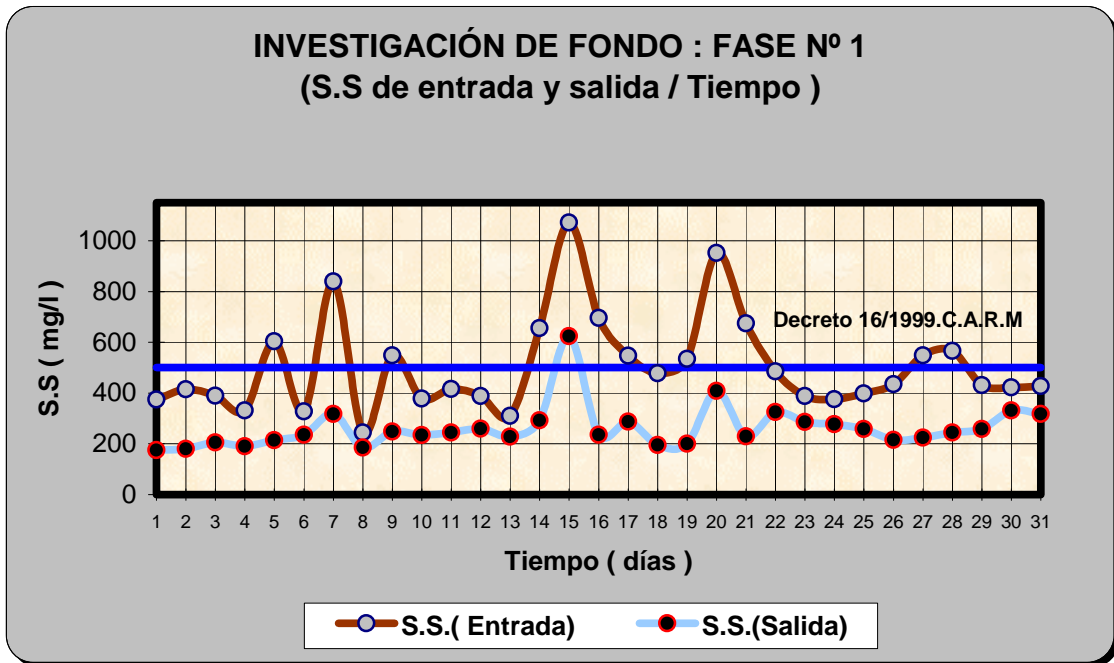


Gráfico 10.3.- Fase n° 1 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.5.- Fase nº 1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	76,29%	75,11%	53,33%
2	78,55%	76,60%	56,63%
3	82,58%	79,68%	47,44%
4	73,46%	70,73%	42,77%
5	72,48%	73,38%	64,57%
6	76,32%	80,26%	28,05%
7	82,42%	79,88%	62,14%
8	73,90%	73,11%	24,18%
9	72,24%	70,14%	54,74%
10	76,51%	74,83%	38,10%
11	76,48%	75,33%	41,35%
12	74,51%	72,44%	32,99%
13	68,51%	65,87%	26,45%
14	73,75%	69,61%	55,49%
15	74,02%	83,74%	41,79%
16	75,85%	74,17%	66,09%
17	70,17%	72,08%	47,53%
18	74,19%	72,93%	59,21%
19	58,07%	59,26%	62,43%
20	66,67%	65,14%	57,14%
21	67,79%	66,78%	66,07%
22	67,49%	60,13%	33,13%
23	66,62%	69,00%	26,48%
24	62,22%	61,16%	26,33%
25	60,49%	63,30%	34,92%
26	76,01%	81,87%	50,57%
27	73,29%	74,39%	58,94%
28	65,41%	66,67%	56,71%
29	68,74%	67,10%	39,91%
30	66,60%	72,96%	21,51%
31	60,71%	59,95%	25,70%

Cuadro 10.6.- Fase n°1 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0418	2,89
2	0,0418	2,89
3	0,0418	2,48
4	0,0139	1,15
5	0,0139	1,13
6	0,0139	0,55
7	0,0139	0,85
8	0,0139	1,02
9	0,0139	1,13
10	0,0139	0,99
11	0,0139	0,97
12	0,0070	0,51
13	0,0070	0,68
14	0,0070	0,56
15	0,0070	0,24
16	0,0070	0,50
17	0,0070	0,50
18	0,0070	0,46
19	0,0070	0,80
20	0,0042	0,44
21	0,0042	0,26
22	0,0042	0,36
23	0,0042	0,33
24	0,0042	0,45
25	0,0042	0,32
26	0,0042	0,15
27	0,0042	0,30
28	0,0026	0,22
29	0,0026	0,20
30	0,0026	0,10
31	0,0026	0,25

Cuadro 10.7.- Fase nº 1 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	4,73	2,61	0,42	7,09	3,92	0,64
2	0,07	4,59	2,56	0,47	6,88	3,85	0,70
3	0,07	5,04	2,87	0,44	7,55	4,30	0,66
4	0,21	13,75	6,96	1,13	20,63	10,44	1,69
5	0,21	13,14	6,82	2,05	19,71	10,24	3,08
6	0,21	20,64	12,90	1,11	30,97	19,35	1,67
7	0,21	16,13	8,35	2,85	24,19	12,53	4,28
8	0,21	13,53	7,64	0,83	20,30	11,46	1,24
9	0,21	13,39	7,16	1,86	20,09	10,75	2,79
10	0,21	14,38	7,69	1,28	21,57	11,54	1,93
11	0,21	14,07	7,78	1,41	21,11	11,66	2,12
12	0,42	36,09	15,28	2,63	54,14	22,92	3,95
13	0,42	23,39	12,73	2,11	35,09	19,10	3,16
14	0,42	27,94	14,63	4,45	41,92	21,95	6,68
15	0,42	34,77	27,98	7,28	52,15	41,97	10,92
16	0,42	27,98	15,38	4,73	41,97	23,07	7,09
17	0,42	29,71	15,69	3,71	44,56	23,53	5,57
18	0,42	32,49	16,81	3,25	48,74	25,21	4,87
19	0,42	22,92	11,92	3,63	34,38	17,88	5,45
20	0,71	36,50	19,81	10,77	54,75	29,71	16,16
21	0,71	52,17	32,88	7,64	78,26	49,32	11,46
22	0,71	59,87	26,26	5,50	89,81	39,39	8,25
23	0,71	44,42	25,01	4,40	66,63	37,52	6,60
24	0,71	38,20	20,54	4,26	57,30	30,81	6,38
25	0,71	39,39	27,60	4,50	59,08	41,41	6,76
26	0,71	55,91	45,89	4,92	83,86	68,84	7,38
27	0,71	46,40	25,41	6,20	69,60	38,11	9,30
28	1,13	71,98	38,30	10,25	107,97	57,45	15,37
29	1,13	84,29	41,83	7,80	126,44	62,75	11,71
30	1,13	90,81	75,33	7,66	136,22	113,00	11,49
31	1,13	71,44	37,76	7,75	107,16	56,63	11,63

Cuadro 10.8.- Fase nº 1 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	51,61
DQO de salida	48,39
SS de salida	100,00

10.3.2 – Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 1.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.9.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.10.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.11.- Fase nº1 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.12.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.13.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.14.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.9.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,1	2.900	3225	1.750	244
<i>Máximo</i>	80	8,8	7.600	6080	4.160	1.072
<i>Rango o Amplitud</i>	75	2,7	4.700	2855	2.410	828
<i>Media Aritmética</i>	35,3	7,0	4.526,5	4287,9	2.450,3	505,1
<i>Desviación media</i>	19,1051	0,4896	678,5016	511,6233	445,6566	140,4807
<i>Varianza</i>	516,02	0,47	943.497,09	412.294,80	426.411,88	3.3891,02
<i>Desviación típica</i>	22,7162	0,6890	971,3378	642,1019	653,0022	184,0951
<i>Coefficiente de Variación</i>	64,31	9,87	21,46	14,97	26,65	36,45

Cuadro 10.10.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	4,59	2,56	0,42
<i>Máximo</i>	1,13	90,81	75,33	10,77
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	86,22	72,77	10,35
<i>Media Aritmética</i>	0,50	34,20	20,01	4,11
<i>Desviación media</i>	0,2703	18,2906	11,9121	2,3560
<i>Varianza</i>	0,10	524,47	242,16	8,20
<i>Desviación típica</i>	0,3214	22,9012	15,5616	2,8639
<i>Coefficiente de Variación</i>	64,31	66,97	77,76	69,73

Cuadro 10.11.- Fase nº1 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	6,88	3,85	0,64
<i>Máximo</i>	136,22	113,00	16,16
<i>Rango o Amplitud</i>	129,34	109,15	15,53
<i>Media Aritmética</i>	51,29	30,02	6,16
<i>Desviación media</i>	27,4359	17,8682	3,5340
<i>Varianza</i>	1.180,05	544,87	18,45
<i>Desviación típica</i>	34,3518	23,3424	4,2958
<i>Coefficiente de Variación</i>	66,97	77,76	69,73

Cuadro 10.12.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	7,4	2940	775	495	175
<i>Máximo</i>	9,1	6100	1720	1125	624
<i>Rango o Amplitud</i>	1,7	3160	945	630	449
<i>Media Aritmética</i>	8,4	4.290,0	1.210,6	680,3	262,3
<i>Desviación media</i>	0,3552	505,8065	202,6015	105,5567	54,4787
<i>Varianza</i>	0,22	403.969,35	55.604,42	19.819,25	7.025,29
<i>Desviación típica</i>	0,4645	635,5858	235,8059	140,7809	83,8170
<i>Coefficiente de Variación</i>	5,55	14,82	19,48	20,69	31,96

Cuadro 10.13.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS (%)
<i>Mínimo</i>	58,07	59,26	21,51
<i>Máximo</i>	82,58	83,74	66,09
<i>Rango o Amplitud</i>	24,51	24,48	44,58
<i>Media Aritmética</i>	71,37	71,21	45,25
<i>Desviación media</i>	5,0494	5,2996	12,5852
<i>Varianza</i>	0,36	0,42	1,99
<i>Desviación típica</i>	6,0348	6,4674	14,1091
<i>Coefficiente de Variación</i>	8,46	9,08	31,18

Cuadro 10.14.- Fase nº 1 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,003	0,10
<i>Máximo</i>	0,04	2,89
<i>Rango o Amplitud</i>	0,04	2,79
<i>Media Aritmética</i>	0,01	0,76
<i>Desviación media</i>	0,0076	0,5096
<i>Varianza</i>	0,0001	0,5214
<i>Desviación típica</i>	0,0109	0,7220
<i>Coefficiente de Variación</i>	100,62	94,41

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.4.- Fase nº 1 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.5.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.6.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.7.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.8.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.9.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.10.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.11.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.12.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.13.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.14.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.15.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

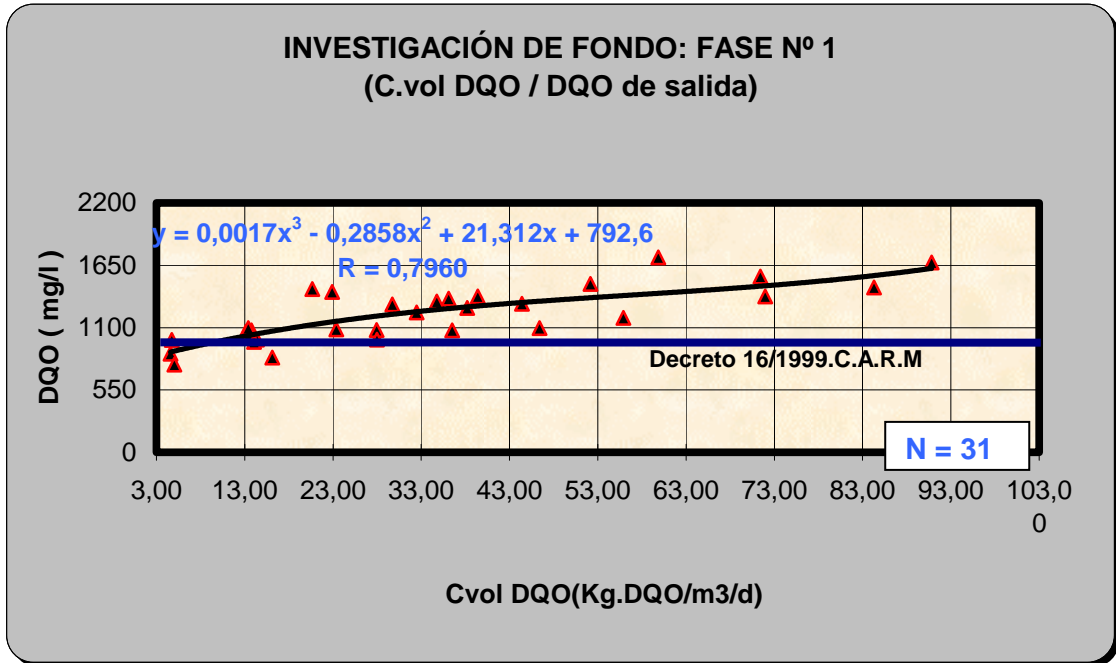


Gráfico 10.4.- Fase nº 1 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

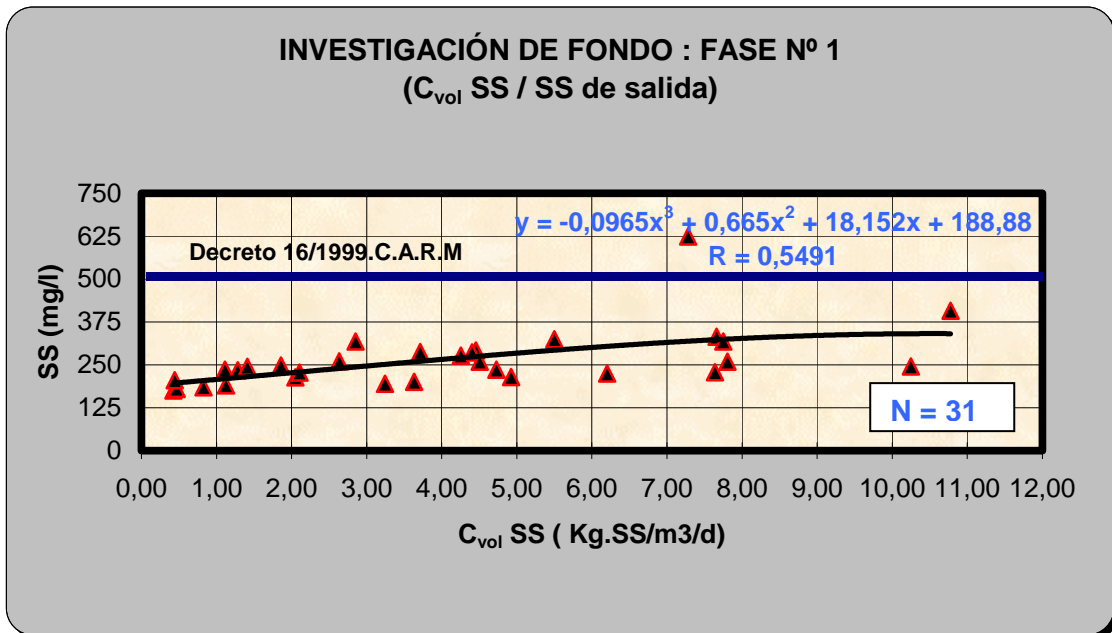


Gráfico 10.5.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

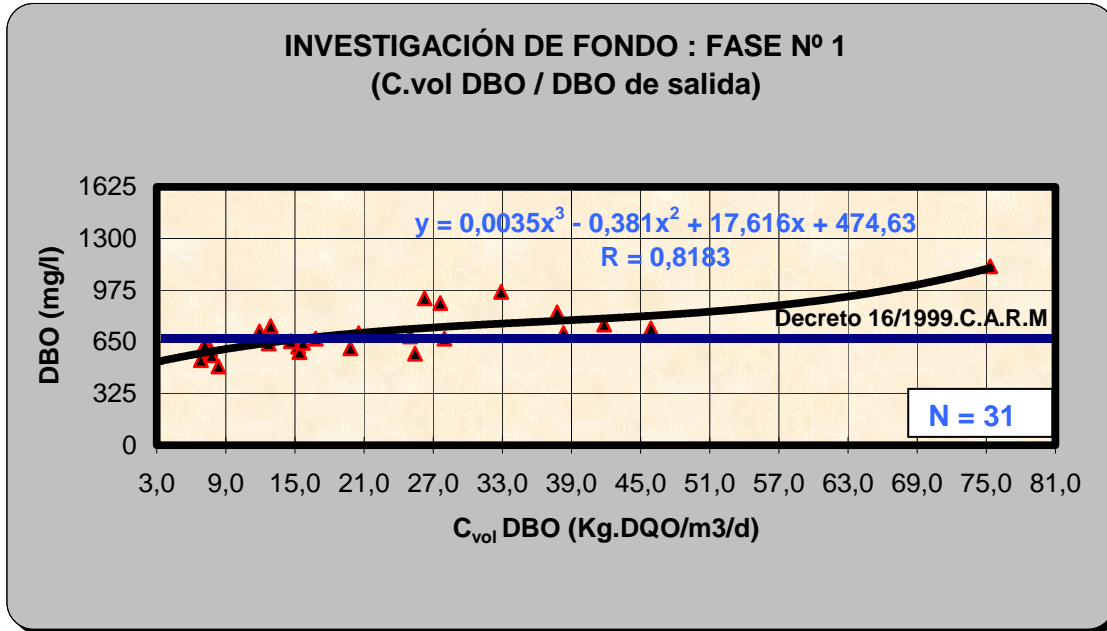


Gráfico 10.6.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

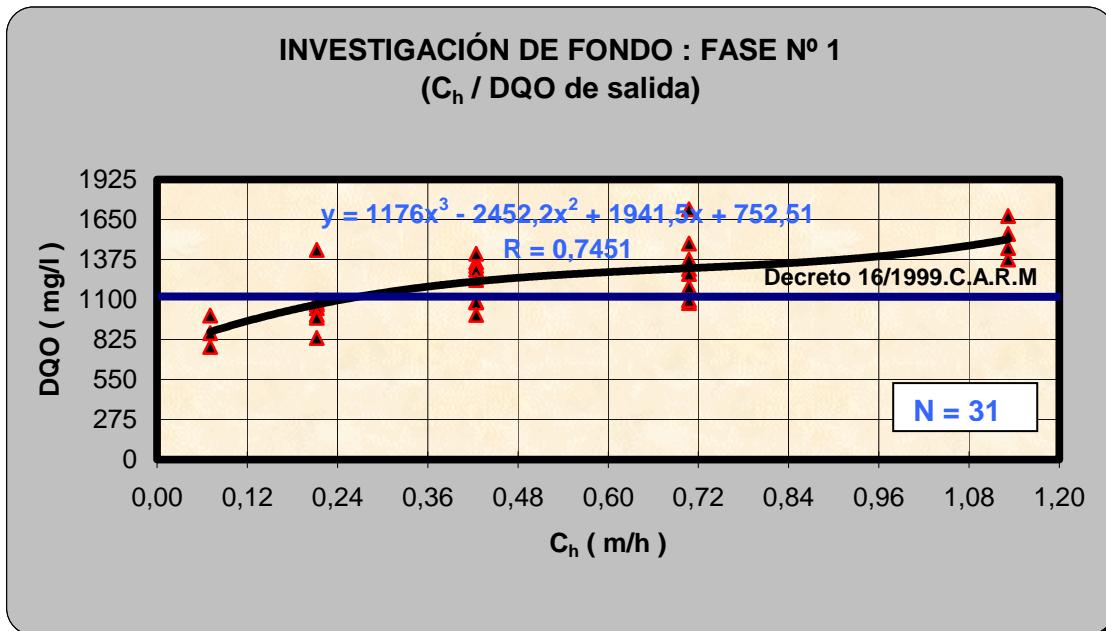


Gráfico 10.7.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

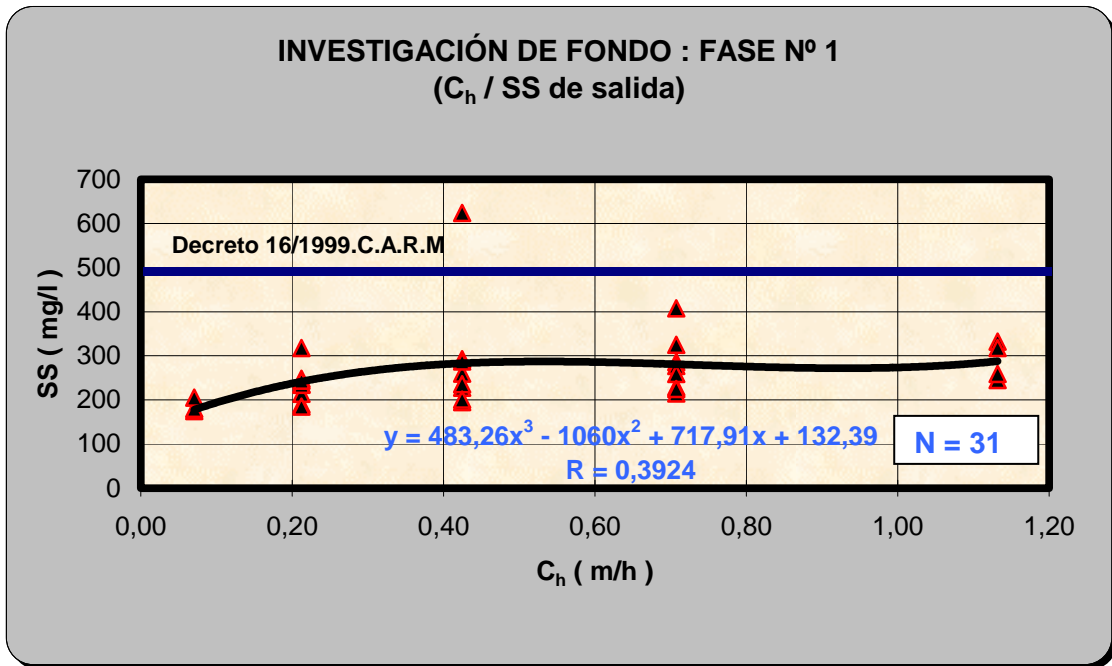


Gráfico 10.8.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

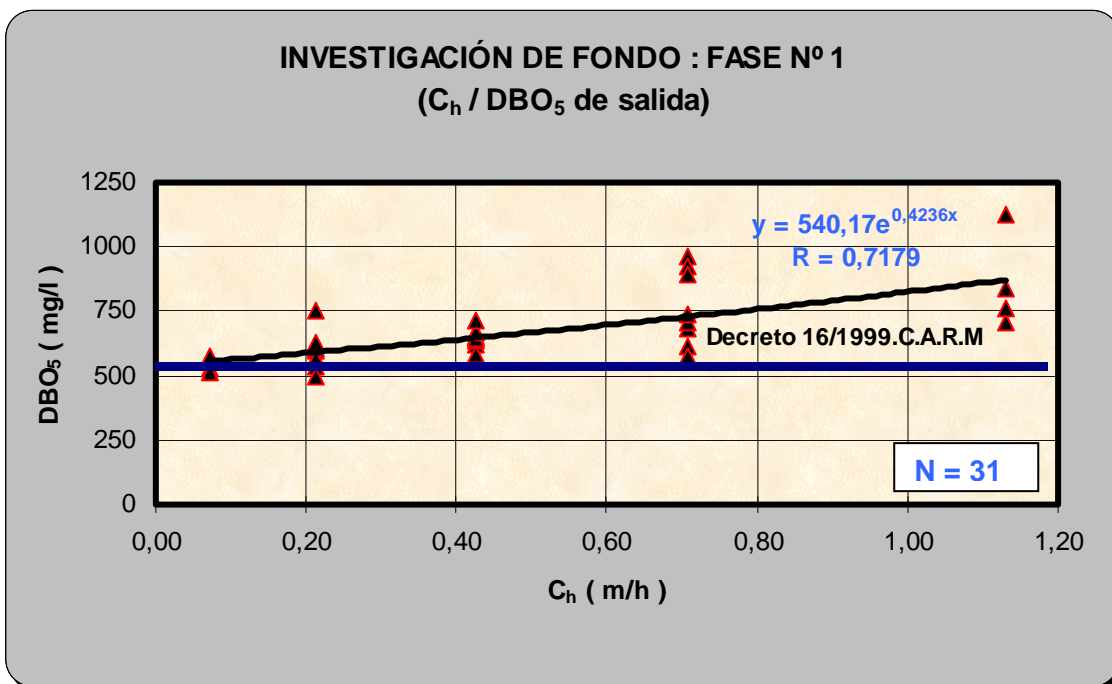


Gráfico 10.9.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

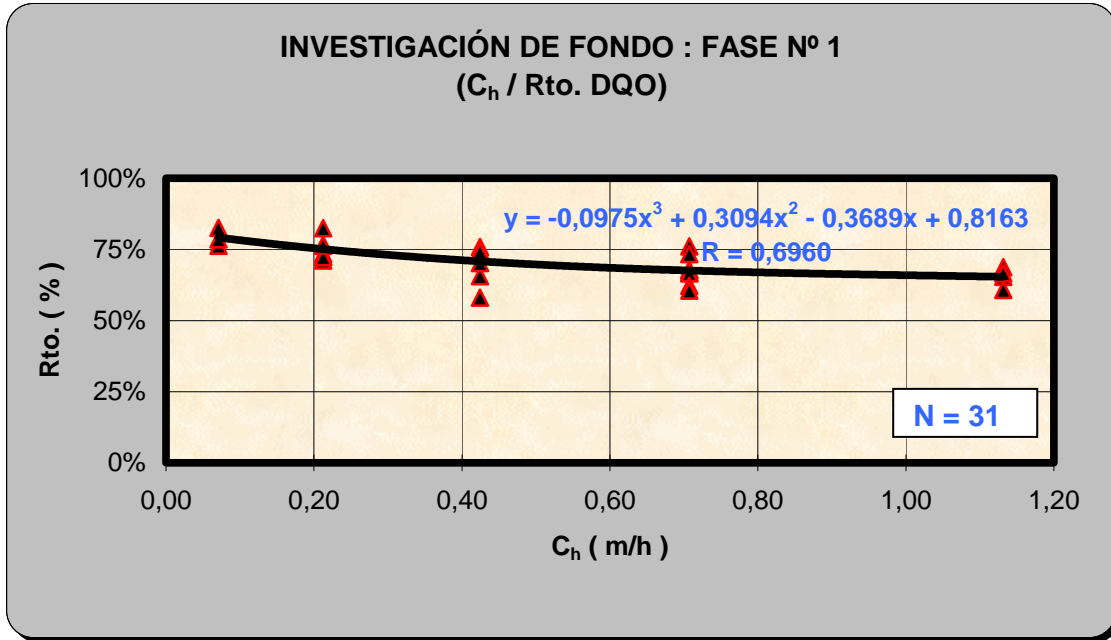


Gráfico 10.10.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

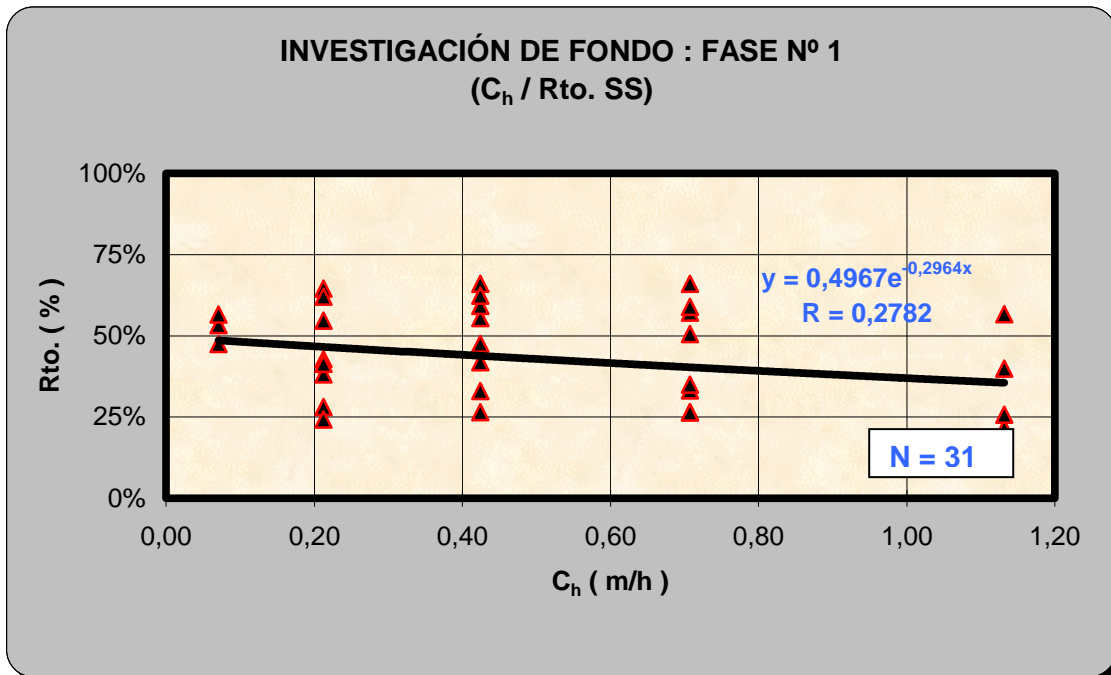


Gráfico 10.11.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

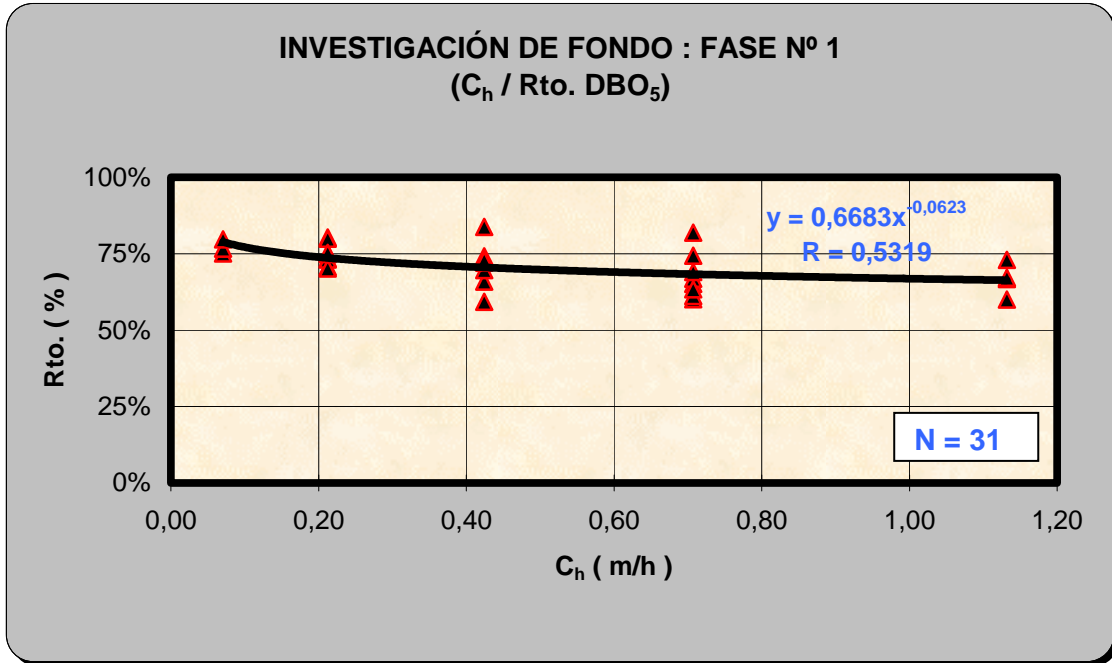


Gráfico 10.12.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

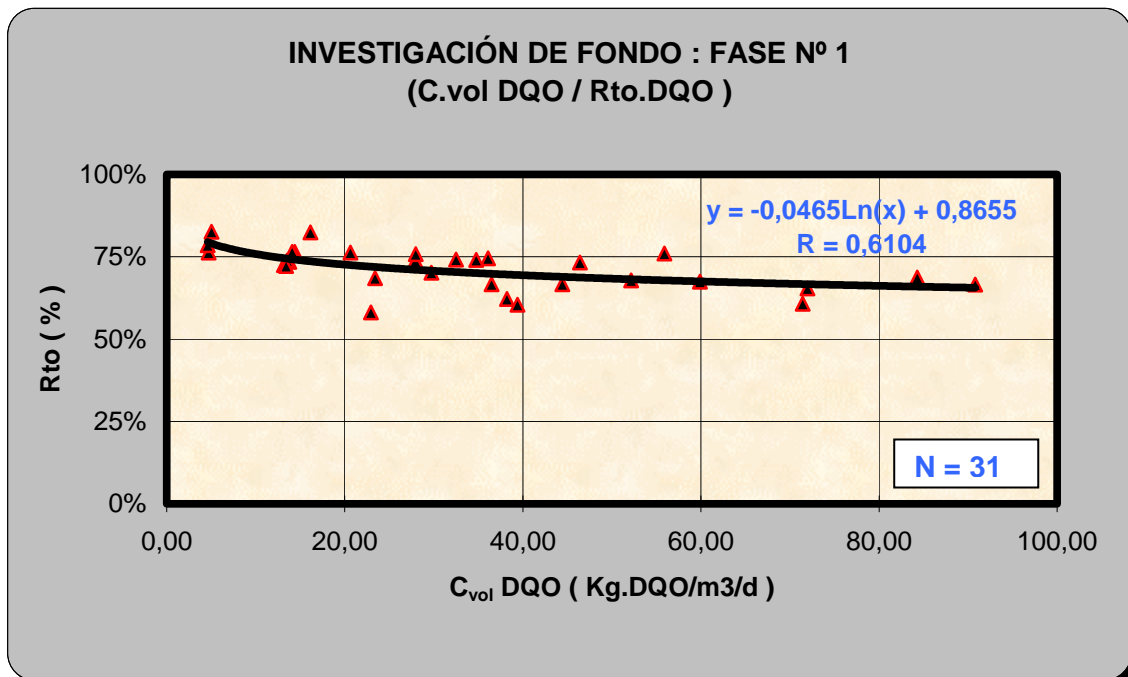


Gráfico 10.13.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

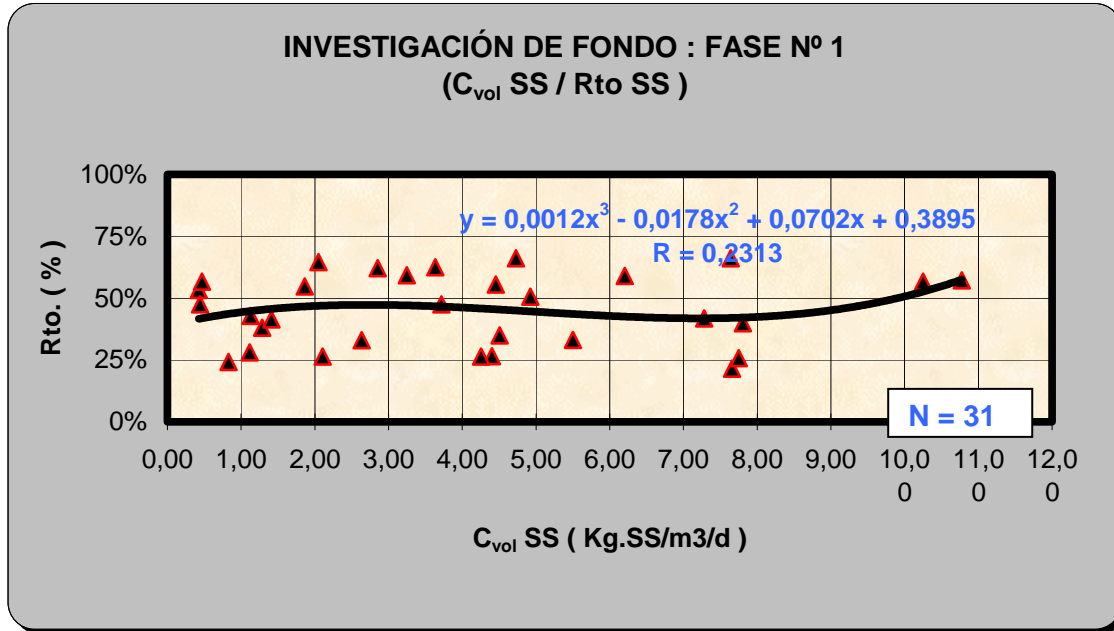


Gráfico 10.14.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

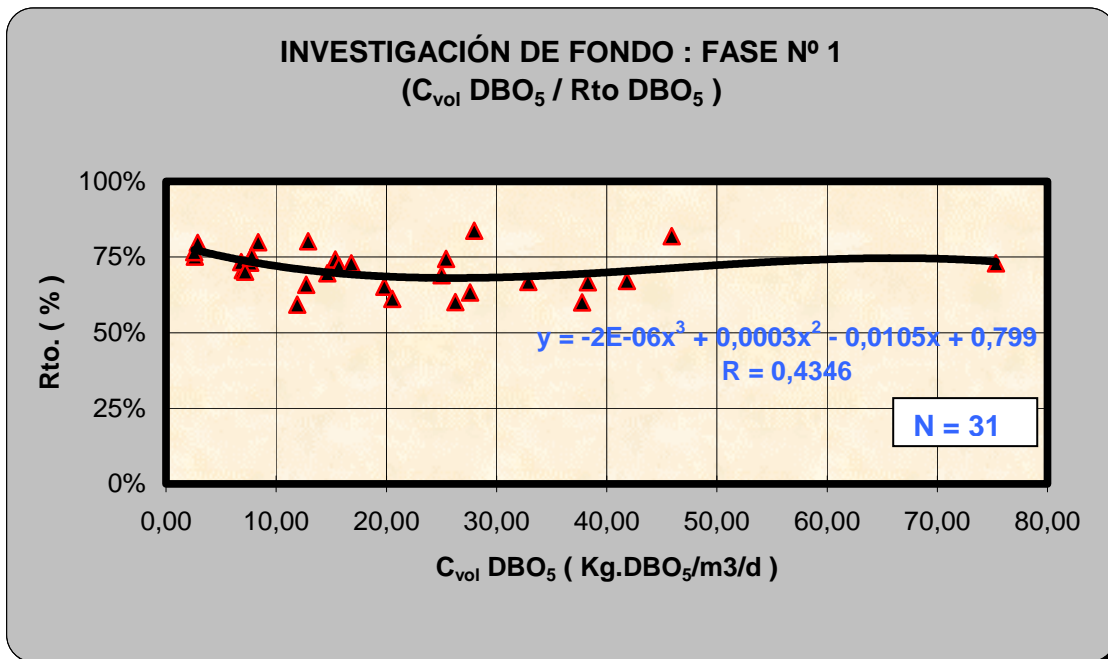


Gráfico 10.15.- Fase nº 1 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.3.- Discusión y resultados de la Fase nº 1

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Un 51,61% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Un 48,39% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l).
- b. SS.- Los resultados se pueden calificar de satisfactorios, pues los resultados obtenidos no superaron nunca la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO de salida (Graf.10.4), los resultados siguieron una función polinómica ($y = 117x^3 - 2452,2 x^2 + 1941,5x + 752,51$), con un factor de correlación de $r = 0,7451$. Se aprecia una $C_{vol. \max} DQO = 18 \text{ Kg DQO/m}^3/\text{d}$, obtenida en base al nivel de salida máximo permitido, para obtener una DQO < 1100 mg/l. Por otra parte, en lo que respecta a la otra variable C_h , la DQO de

salida (Graf.10.4), presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 0,017x^3 - 0,2858 x^2 + 21,312x + 792,6$) con un factor de correlación de $r = 0,7451$. Se obtiene una $C_{h,max} = 0,27$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de $DQO < 1100 \text{ mg/l.}$ Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{entrada} = 4.166 \text{ mg/l.}$ Por tanto si se tiene una $DQO_{entrada} > 4.166 \text{ mg/l}$ (como cabe esperar mayoritariamente), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la $DQO_{entrada max}$ y reducir la carga hidráulica.

- b. SS.-Los resultados obtenidos no superaron (excepto el día 15 del ensayo) la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf. 10.5) se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -0,0965x^3 + 0,665 x^2 + 18,152x + 188,88$) con un factor de correlación de $r = 0,5491$: Dichos resultados de SS de salida se mantuvieron bastante estables para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,42-10,77). Como es lógico se establece un fenómeno de

retención física al comportarse el lecho inundado como un filtro que retiene las partículas sólidas presentes en el fluido.

10.3.4 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 2: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O₂/h-24,44 Nm³/m²/h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.15.- Fase nº 2 (I.Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.16.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.16.- Fase nº 2 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.17.- Fase nº 2 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.18.- Fase nº 2 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo)

Cuadro 10.17.- Fase nº 2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.18.- Fase nº 2 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.19.- Fase nº 2 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.20.- Fase nº2 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.15.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	6,02	4.125	3.755	2.315	553		
2	24,44	5	6,35	3.750	3.870	2.375	477		
3	24,44	5	6,15	3.560	3.640	2.175	459		
4	24,44	15	6,85	3.880	3.115	2.250	628		
5	24,44	15	6,13	3.190	3.070	2.115	400	69,25	164,25
6	24,44	15	6,01	3.235	3.225	2.075	495		
7	24,44	15	6,81	3.460	4.840	2.825	456		
8	24,44	15	6,1	4.380	4.400	2.440	460		
9	24,44	15	6,44	3.860	3.965	2.450	216		
10	24,44	15	7,2	4.620	5.260	2.975	688	58,8	158,8
11	24,44	30	6,04	2.690	5.165	2.915	228	30,53	142,02
12	24,44	30	6,13	2.860	3.165	2.095	168		
13	24,44	30	6,67	3.060	3.845	2.215	168	56,55	123,36
14	24,44	30	6,13	6.220	4.125	2.550	658		
15	24,44	30	6,67	3.780	3.690	2.125	264		
16	24,44	30	6,35	2.950	4.485	2.455	308		
17	24,44	30	6,15	3.800	3.465	2.215	512	61,75	140,07
18	24,44	30	6,32	4.950	5.765	3.555	575		
19	24,44	30	7,13	4.410	3.170	2.290	478	91,52	148,47
20	24,44	50	6,53	4.960	8.290	5.635	675	81,2	308,15
21	24,44	50	6,28	4.800	4.885	2.905	208	89,18	170,88
22	24,44	50	8,65	6.890	4.230	2.850	844		
23	24,44	50	7,17	6.520	4.185	2.675	624		
24	24,44	50	8,23	6.730	2.895	1.875	163	93,15	190,25
25	24,44	50	7,5	6.010	3.410	2.205	568		
26	24,44	50	7,04	4.750	4.380	2.725	408	94	215,71
27	24,44	50	7,45	5.015	4.015	2.505	456		
28	24,44	80	6,22	4.965	3.960	2.375	376		
29	24,44	80	6,85	5.110	4.230	2.670	439		
30	24,44	80	6,02	4.890	4.540	2.675	502		
31	24,44	80	7,11	3.870	5.015	2.875	483	62	238,56

Cuadro 10.16.- Fase nº 2 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	8,15	4.120	995	540	378		
2	24,44	5	8,52	3.980	795	525	385		
3	24,44	5	8,26	3.870	970	505	342		
4	24,44	15	8,66	4.610	925	630	342		
5	24,44	15	8,21	3.700	965	640	340	28,35	33,75
6	24,44	15	8,85	5.150	810	570	387		
7	24,44	15	8,36	3.610	820	580	372		
8	24,44	15	8,72	4.280	730	485	328		
9	24,44	15	8,6	4.030	1.015	595	184		
10	24,44	15	8,66	4.200	1.040	595	328	52,65	42,87
11	24,44	30	7,34	2.910	1.270	715	88	24,18	34,04
12	24,44	30	7,62	2.800	1.220	775	96		
13	24,44	30	6,74	3.050	1.315	715	140	45,55	45,25
14	24,44	30	8,84	4.630	1.465	835	568		
15	24,44	30	9	6.700	1.215	705	36		
16	24,44	30	7,46	3.640	1.195	690	188		
17	24,44	30	8,45	3.610	1.080	655	252	46,02	44,25
18	24,44	30	8,72	3.530	560	425	96		96
19	24,44	30	8,57	3.720	855	485	56	65,26	19,65
20	24,44	50	8,52	3.550	1.575	955	175	39,4	31,67
21	24,44	50	7,25	4.690	1.290	805	152		27,64
22	24,44	50	8,65	6.890	1.095	640	492		
23	24,44	50	8,7	4.390	535	290	244		
24	24,44	50	8,91	5.810	745	495	140	47,25	39,35
25	24,44	50	8,77	4.970	750	470	204		
26	24,44	50	8,66	3.650	1.250	725	348	44,04	40,62
27	24,44	50	8,54	4.975	1.300	795	296		
28	24,44	80	8,15	4.750	1.455	815	289		
29	24,44	80	8,21	4.670	1.670	1.065	267		
30	24,44	80	8,17	4.890	970	635	259		
31	24,44	80	8,02	4.560	1.760	1.125	301		

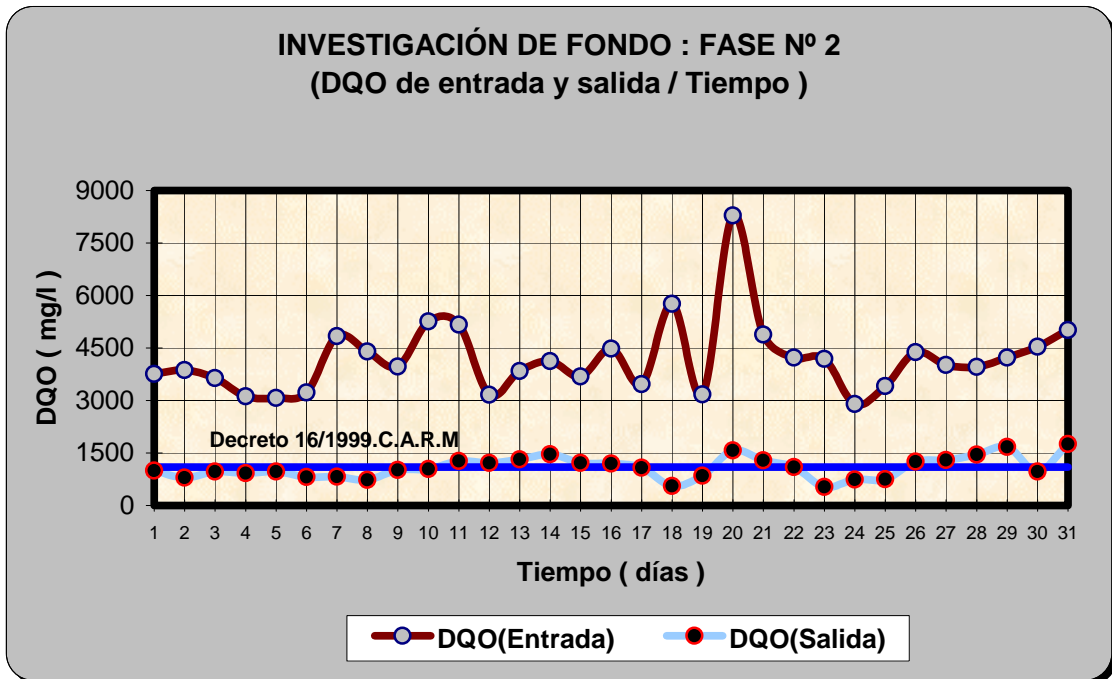


Gráfico 10.16.- Fase nº 2 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

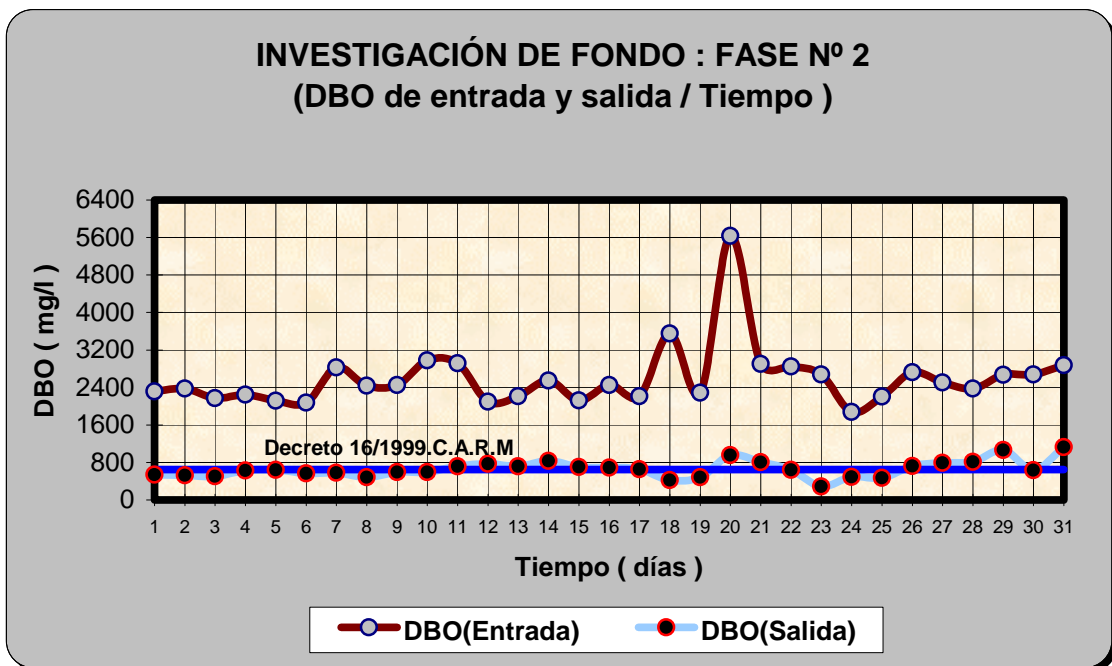


Gráfico 10.17.- Fase nº 2 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

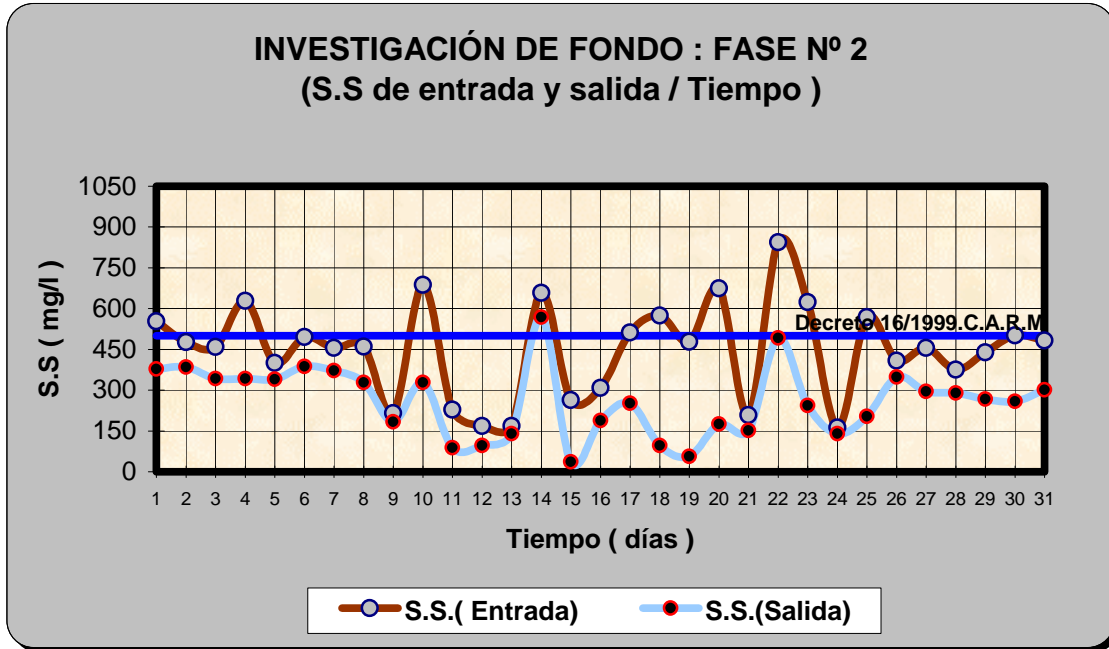


Gráfico 10.18.- Fase n° 2 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.17.- Fase nº 2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	73,50%	76,67%	31,65%
2	79,46%	77,89%	19,29%
3	73,35%	76,78%	25,49%
4	70,30%	72,00%	45,54%
5	68,57%	69,74%	15,00%
6	74,88%	72,53%	21,82%
7	83,06%	79,47%	18,42%
8	83,41%	80,12%	28,70%
9	74,40%	75,71%	14,81%
10	80,23%	80,00%	52,33%
11	75,41%	75,47%	61,40%
12	61,45%	63,01%	42,86%
13	65,80%	67,72%	16,67%
14	64,48%	67,25%	13,68%
15	67,07%	66,82%	86,36%
16	73,36%	71,89%	38,96%
17	68,83%	70,43%	50,78%
18	90,29%	88,05%	83,30%
19	73,03%	78,82%	88,28%
20	81,00%	83,05%	74,07%
21	73,59%	72,29%	26,92%
22	74,11%	77,54%	41,71%
23	87,22%	89,16%	60,90%
24	74,27%	73,60%	14,11%
25	78,01%	78,68%	64,08%
26	71,46%	73,39%	14,71%
27	67,62%	68,26%	35,09%
28	63,26%	65,68%	23,14%
29	60,52%	60,11%	39,18%
30	78,63%	76,26%	48,41%
31	64,91%	60,87%	37,68%

Cuadro 10.18.- Fase nº 2 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0976	6,60
2	0,0976	6,33
3	0,0976	7,01
4	0,0325	2,41
5	0,0325	2,65
6	0,0325	2,59
7	0,0325	1,74
8	0,0325	2,00
9	0,0325	2,10
10	0,0325	1,64
11	0,0163	0,89
12	0,0163	1,48
13	0,0163	1,30
14	0,0163	1,14
15	0,0163	1,37
16	0,0163	1,11
17	0,0163	1,25
18	0,0163	0,62
19	0,0163	1,08
20	0,0098	0,25
21	0,0098	0,56
22	0,0098	0,53
23	0,0098	0,49
24	0,0098	0,85
25	0,0098	0,67
26	0,0098	0,59
27	0,0098	0,68
28	0,0061	0,47
29	0,0098	0,46
30	0,0098	0,36
31	0,0098	0,42

Cuadro 10.19.- Fase nº 2 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	4,25	2,62	0,63	6,37	3,93	0,94
2	0,07	4,38	2,69	0,54	6,57	4,03	0,81
3	0,07	4,12	2,46	0,52	6,18	3,69	0,78
4	0,21	10,58	7,64	2,13	15,86	11,46	3,20
5	0,21	10,42	7,18	1,36	15,64	10,77	2,04
6	0,21	10,95	7,05	1,68	16,42	10,57	2,52
7	0,21	16,43	9,59	1,55	24,65	14,39	2,32
8	0,21	14,94	8,28	1,56	22,41	12,43	2,34
9	0,21	13,46	8,32	0,73	20,19	12,48	1,10
10	0,21	17,86	10,10	2,34	26,79	15,15	3,50
11	0,42	35,07	19,79	1,55	52,61	29,69	2,32
12	0,42	21,49	14,23	1,14	32,24	21,34	1,71
13	0,42	26,11	15,04	1,14	39,16	22,56	1,71
14	0,42	28,01	17,32	4,47	42,02	25,97	6,70
15	0,42	25,06	14,43	1,79	37,59	21,65	2,69
16	0,42	30,46	16,67	2,09	45,68	25,01	3,14
17	0,42	23,53	15,04	3,48	35,29	22,56	5,22
18	0,42	39,15	24,14	3,90	58,72	36,21	5,86
19	0,42	21,53	15,55	3,25	32,29	23,33	4,87
20	0,71	93,82	63,78	7,64	140,74	95,66	11,46
21	0,71	55,29	32,88	2,35	82,93	49,32	3,53
22	0,71	47,87	32,26	9,55	71,81	48,38	14,33
23	0,71	47,36	30,27	7,06	71,05	45,41	10,59
24	0,71	32,76	21,22	1,84	49,15	31,83	2,77
25	0,71	38,59	24,96	6,43	57,89	37,43	9,64
26	0,71	49,57	30,84	4,62	74,36	46,26	6,93
27	0,71	45,44	28,35	5,16	68,16	42,53	7,74
28	1,13	71,71	43,01	6,81	107,56	64,51	10,21
29	1,13	76,60	48,35	7,95	114,90	72,52	11,92
30	1,13	82,21	48,44	9,09	123,32	72,66	13,64
31	1,13	90,81	52,06	8,75	136,22	78,09	13,12

Cuadro 10.20.- Fase nº2 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	54,84
DQO de salida	58,06
SS de salida	100,00

10.3.5 – Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 2.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.21.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.22.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.23.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.24.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.25.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.26.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.21.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,0	2.690	2895	1875	163
<i>Máximo</i>	80	8,7	6.890	8290	5635	844
<i>Rango o Amplitud</i>	75	2,6	4.200	5395	3760	681
<i>Media Aritmética</i>	36	6,7	4.429	4195	2593	450
<i>Desviación media</i>	18,7305	0,5149	930,8429	706,3163	397,7523	132,1915
<i>Varianza</i>	503,38	0,42	1.292.943,50	1.051.912,07	429.259,31	28.643,60
<i>Desviación típica</i>	22,4362	0,6471	1.137,0767	1.025,6276	655,1788	169,2442
<i>Coefficiente de Variación</i>	62,66	9,70	25,68	24,45	25,27	37,64

Cuadro 10.22.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	4,12	2,46	0,52
<i>Máximo</i>	1,13	93,82	63,78	9,55
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	89,70	61,31	9,03
<i>Media Aritmética</i>	0,51	35,16	21,76	3,65
<i>Desviación media</i>	0,2650	20,4230	12,7879	2,4289
<i>Varianza</i>	0,1007	639,73	247,36	7,91
<i>Desviación típica</i>	0,3174	25,2928	15,7276	2,8123
<i>Coefficiente de Variación</i>	62,66	71,94	72,28	77,08

Cuadro 10.23.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	6,18	3,69	0,78
<i>Máximo</i>	140,74	95,66	14,33
<i>Rango o Amplitud</i>	134,56	91,97	13,55
<i>Media Aritmética</i>	52,73	32,64	5,47
<i>Desviación media</i>	30,6346	19,1818	3,6433
<i>Varianza</i>	1.439,39	556,55	17,80
<i>Desviación típica</i>	37,9392	23,5914	4,2185
<i>Coefficiente de Variación</i>	71,94	72,28	77,08

Cuadro 10.24.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	6,7	2.800	535	290	36
<i>Máximo</i>	9,0	6.890	1.760	1.125	568
<i>Rango o Amplitud</i>	2,3	4.090	1.225	835	532
<i>Media Aritmética</i>	8,3	4.320	1.085	661	260
<i>Desviación media</i>	0,4129	722,4662	250,6452	137,5234	102,9865
<i>Varianza</i>	0,28	880.394,12	92.435,48	31.814,10	15.641,47
<i>Desviación típica</i>	0,5327	938,2932	304,0320	178,3651	125,0659
<i>Coefficiente de Variación</i>	6,39	21,72	28,02	27,00	48,02

Cuadro 10.25.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	60,52	60,11	13,68
<i>Máximo</i>	90,29	89,16	88,28
<i>Rango o Amplitud</i>	29,77	29,05	74,61
<i>Media Aritmética</i>	73,40	73,85	39,85
<i>Desviación media</i>	5,61	5,55	18,19
<i>Varianza</i>	0,52	0,48	4,94
<i>Desviación típica</i>	7,23	6,91	22,21
<i>Coefficiente de Variación</i>	9,85	9,35	55,75

Cuadro 10.26.- Fase nº 2 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,01	0,25
<i>Máximo</i>	0,10	7,01
<i>Rango o Amplitud</i>	0,09	6,76
<i>Media Aritmética</i>	0,03	1,67
<i>Desviación media</i>	0,0173	1,1891
<i>Varianza</i>	0,0006	3,1022
<i>Desviación típica</i>	0,0253	1,7613
<i>Coefficiente de Variación</i>	100,41	105,78

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.19.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.20.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.21.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.22.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.23.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.24.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.25.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.26.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.27.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.28.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.29.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.30.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

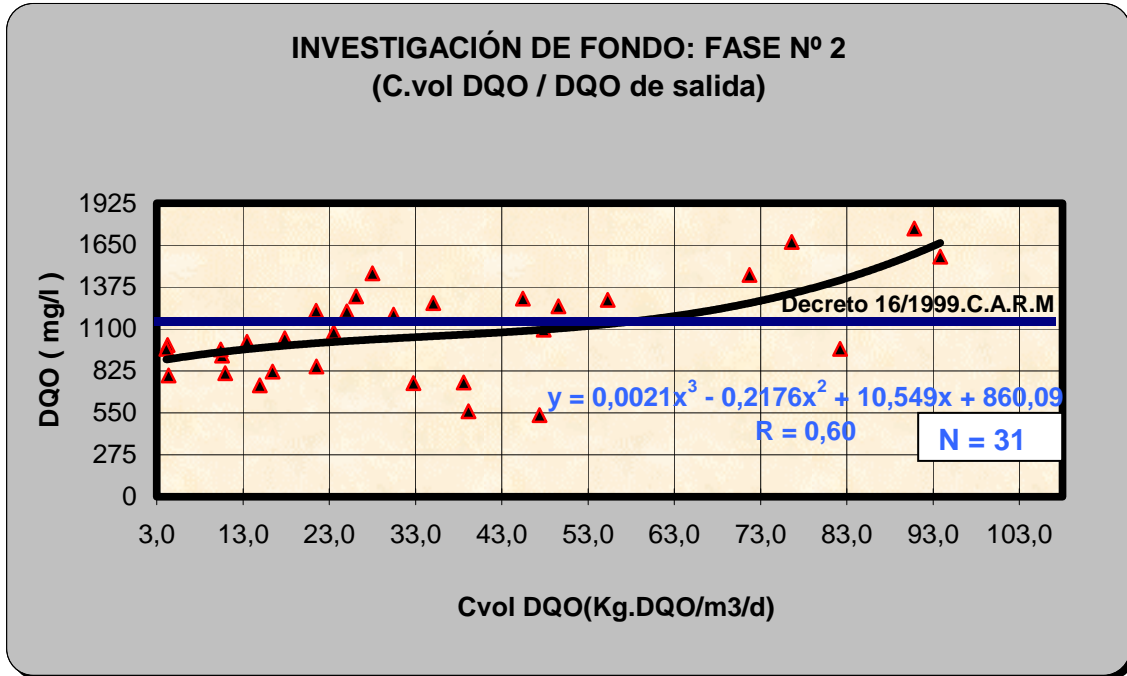


Gráfico 10.19.- Fase nº 2 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

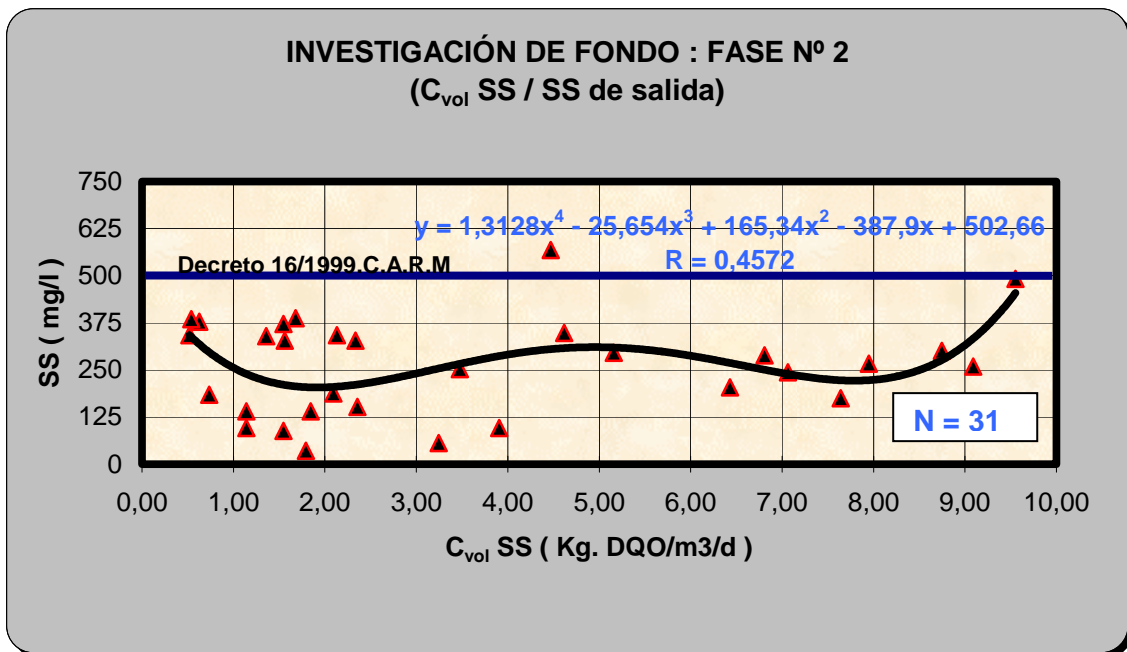


Gráfico 10.20.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

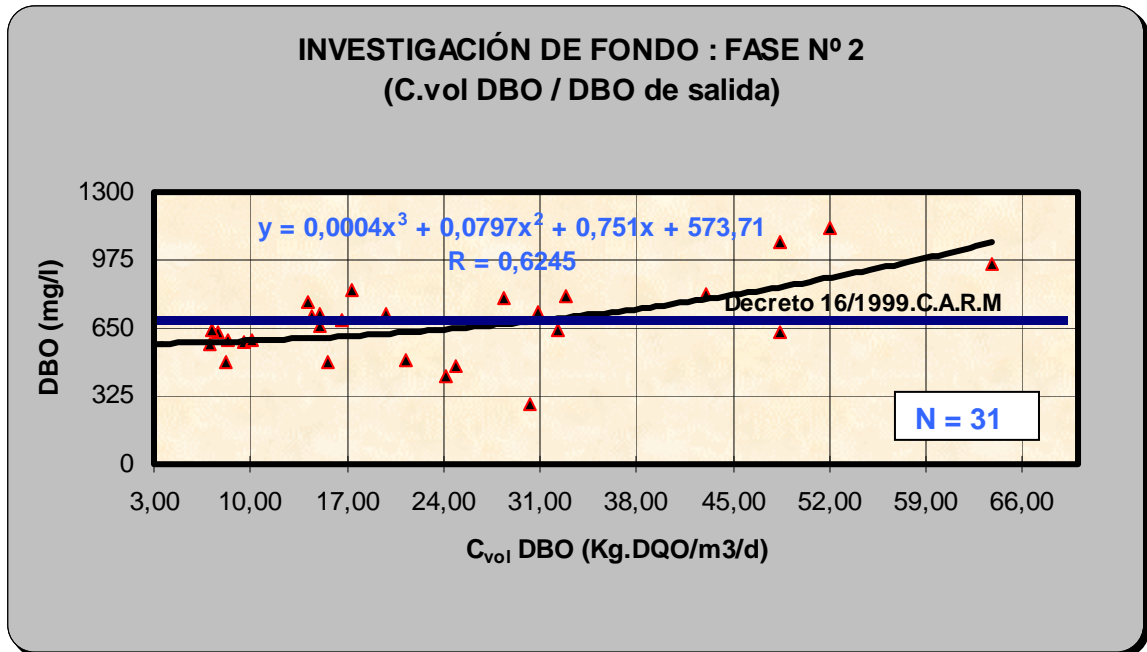


Gráfico 10.21.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

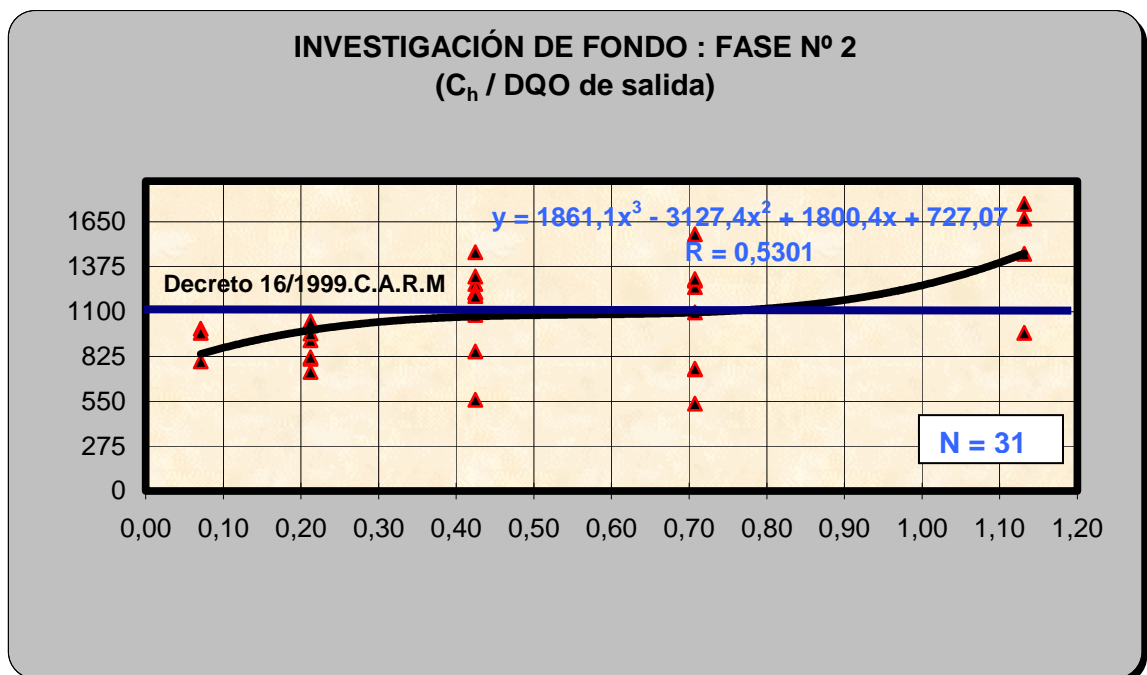


Gráfico 10.22.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

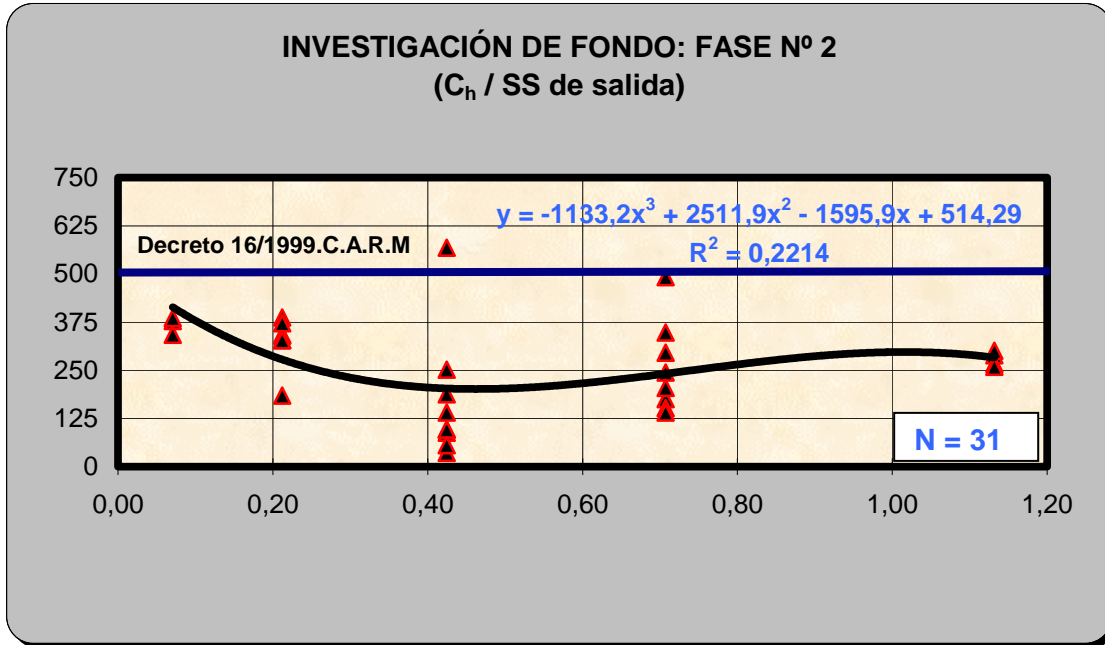


Gráfico 10.23.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

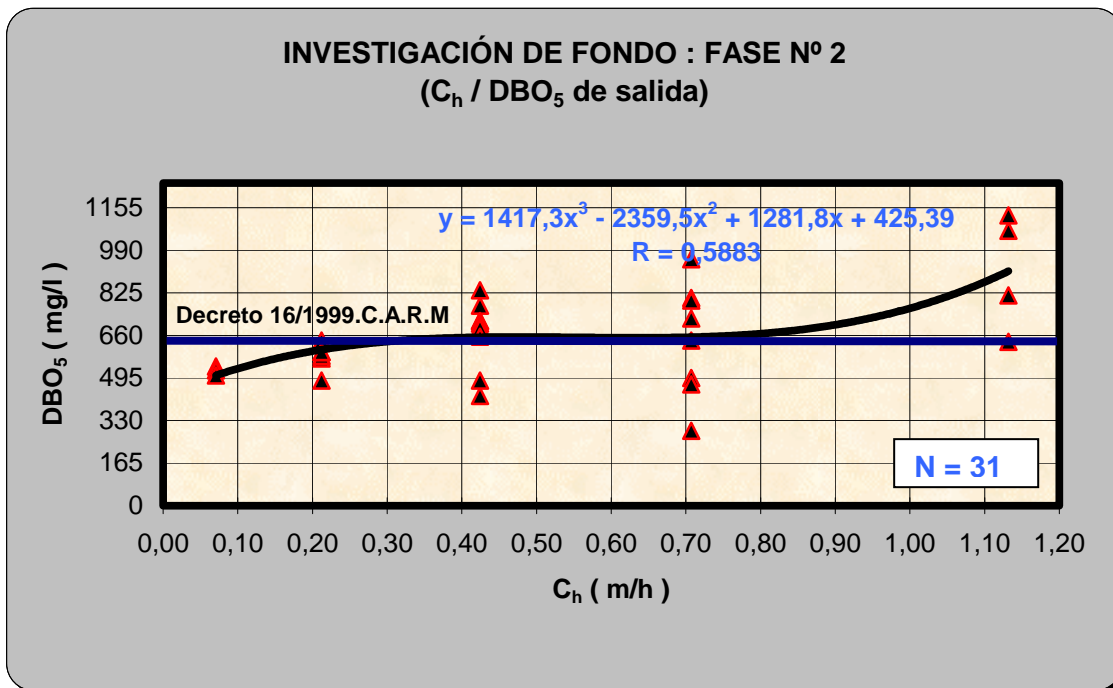


Gráfico 10.24.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/ DBO_5 de salida.

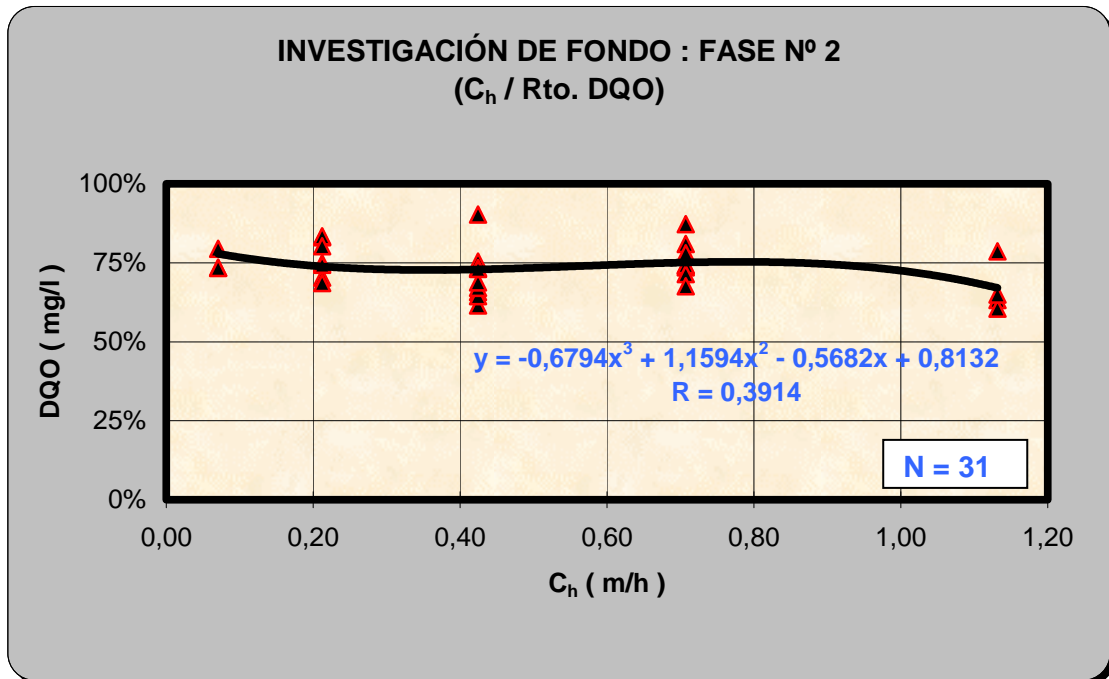


Gráfico 10.25.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

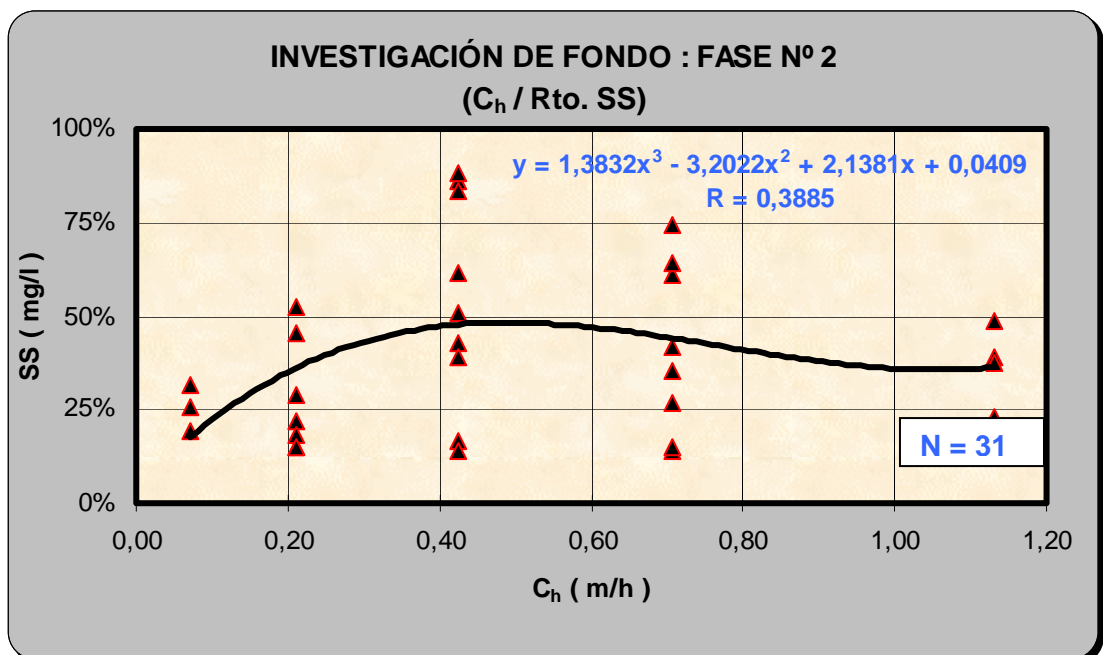


Gráfico 10.26.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

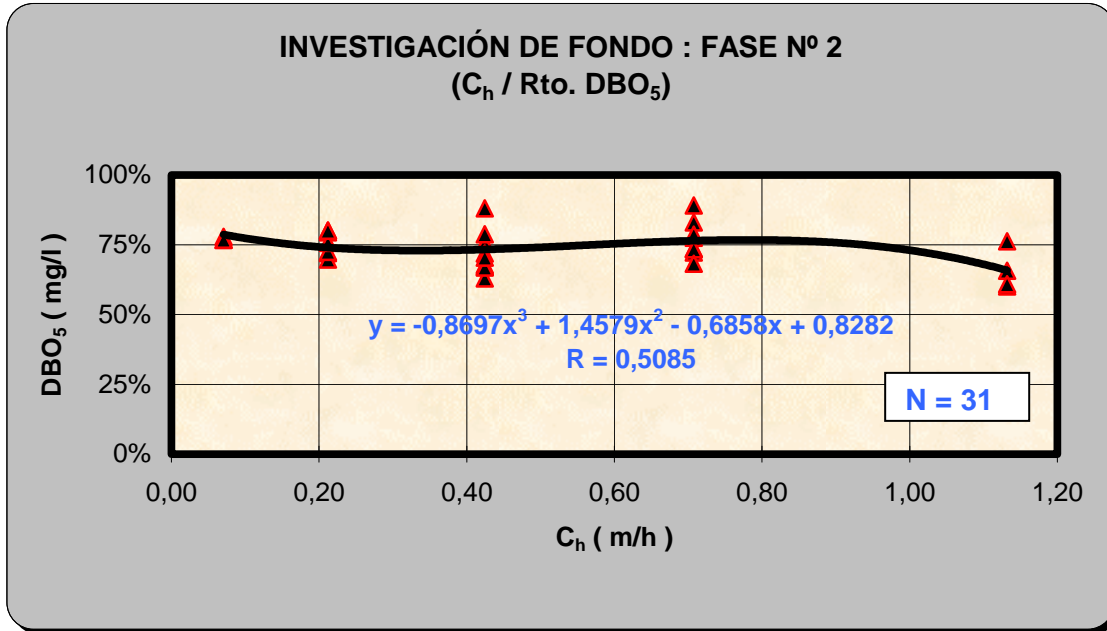


Gráfico 10.27.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

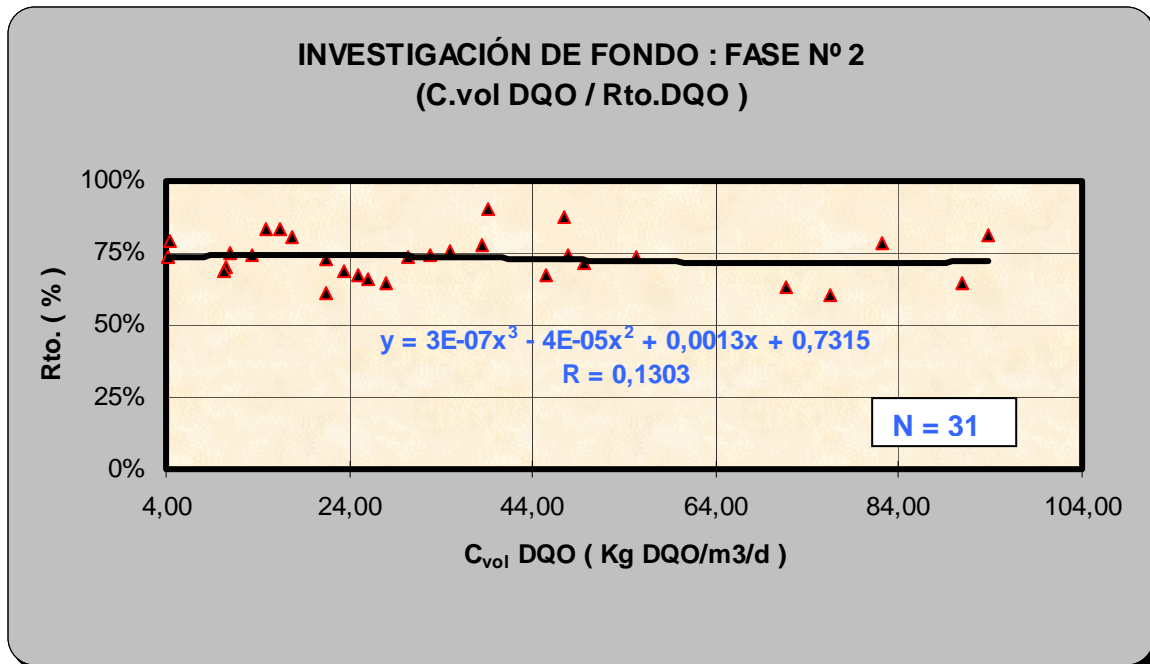


Gráfico 10.28.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

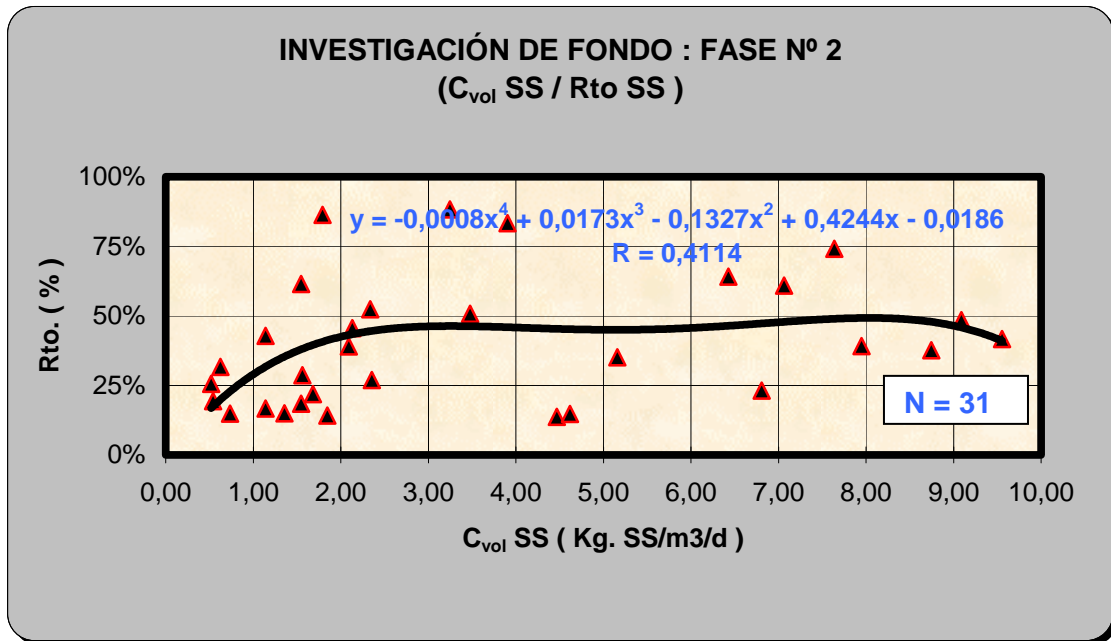


Gráfico 10.29.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

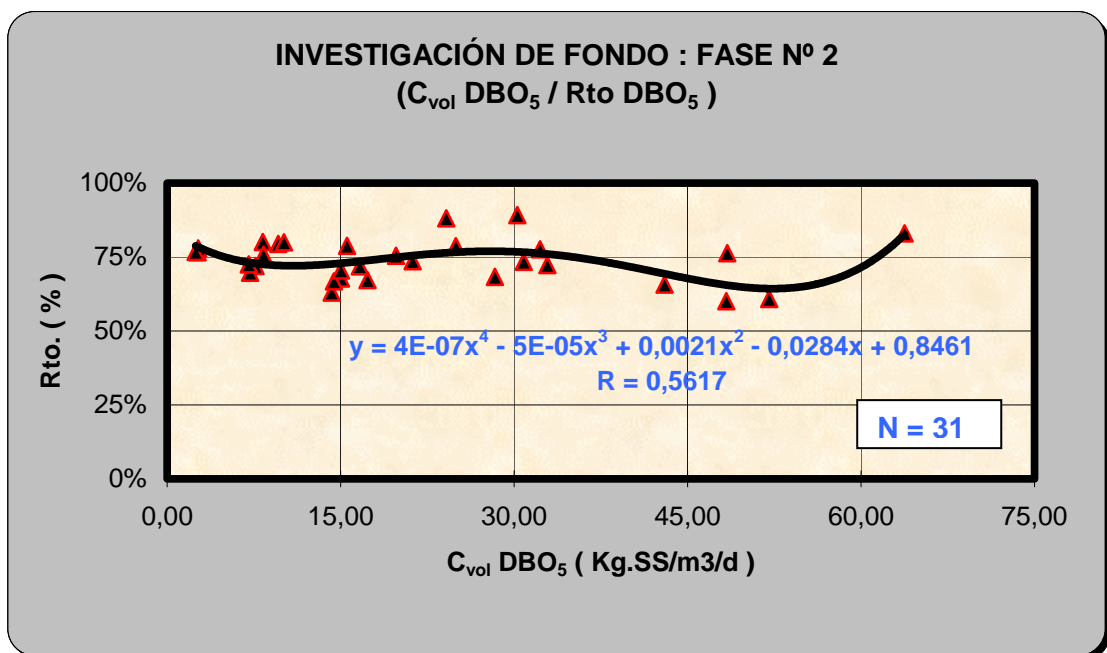


Gráfico 10.30.- Fase nº 2 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.6.- Discusión y resultados de la Fase nº 2

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Un 54,84% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Un 58,06% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l). El incremento de aporte de oxígeno al sistema se tradujo en una ligera mejora en los resultados de salida.
- b. SS.- Los resultados se consideran satisfactorios, pues no se alcanzó nunca la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO (Graf. 10.19), los resultados siguieron una función polinómica ($y = 0,0021x^3 - 0,2176 x^2 + 10,549x + 860,09$) con un factor de correlación de $r = 0,60$. Se aprecia una $C_{vol. \max} DQO = 58 \text{ Kg DQO/m}^3/\text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una DQO < 1100 mg/l. Por otra parte, en lo que respecta a la otra variable C_h , la DQO de salida (Graf.10.22), presentó unos resultados que siguieron una función

polinómica ($y = 1861,1x^3 - 3127,4x^2 + 1800,4x + 727,07$), con un factor de correlación de $r = 0,56$. Se obtiene una $C_{h,max} = 0,56$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de DQO < 1100 mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{entrada} = 6.473$ mg/l. Por tanto si se tiene una $DQO_{entrada} > 6.473$ mg/l (como puede darse en situaciones puntuales), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, habría que fijar la $DQO_{entrada\ max}$ y reducir la carga hidráulica.

- b. SS.-Los resultados obtenidos no superaron (excepto el día 14 del ensayo) la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf.10.20) se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 1,3128x^4 - 25,654x^3 + 165,34x^2 - 387,9x + 502,66$), con un factor de correlación de $r = 0,4572$.. Dichos resultados de SS de salida se mantienen prácticamente constantes para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,52-9,55). Se sigue estableciendo un fenómeno de retención física de partículas en el lecho.
- c. Queda puesto de manifiesto que la eliminación de DQO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño. El funcionamiento, en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida generalmente óptimos.

10.3.7 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 3: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O₂/h-10,47 Nm³/m²/h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.27.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.28.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.31.- Fase nº 3 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.32.- Fase nº 3 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.33.- Fase nº 3 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 10.29.- Fase nº 3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.30.- Fase nº 3 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.31.- Fase nº3 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.32.- Fase nº 3 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.27.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	6,73	3.650	3.465	2.460	473	28,4	142,02
2	10,47	5	6,15	3.870	3.395	2.285	486		
3	10,47	5	6,18	5.170	4.010	2.525	413	21,52	123,07
4	10,47	5	6,11	4.975	3.870	2.460	419		
5	10,47	5	6,32	5.050	4.375	2.365	468		
6	10,47	10	6,80	4.670	3.980	2.530	547	35,22	136,15
7	10,47	10	7,07	4.780	4.170	2.615	364		
8	10,47	10	6,02	4.655	3.760	2.425	348		
9	10,47	10	6,94	4.875	5.375	3.470	418		
10	10,47	15	6,54	3.870	4.960	3.105	455	58,54	118,75
11	10,47	15	6,21	4.135	3.765	2.440	349		
12	10,47	15	7,15	4.360	4.790	2.915	456		
13	10,47	15	6,38	4.750	3.685	2.545	366	48,36	155,32
14	10,47	15	6,31	5.150	4.380	2.380	464		
15	10,47	30	6,54	3.870	3.125	2.115	368		
16	10,47	30	6,29	4.580	4.325	3.325	412		
17	10,47	30	6,88	3.760	5.175	3.320	523	43,64	158,23
18	10,47	30	6,44	4.650	4.780	2.925	459		
19	10,47	30	6,32	5.135	4.365	2.355	464		
20	10,47	50	6,52	7.130	4.875	3.410	488	31,02	161,63
21	10,47	50	6,19	6.100	5.300	3.675	439		
22	10,47	50	6,84	5.910	5.795	3.850	504	33,16	195,2
23	10,47	50	7,11	5.960	5.420	3.475	478		
24	10,47	50	5,99	4.355	3.650	2.485	567		
25	10,47	80	6,31	3.845	3.940	2.520	624		
26	10,47	80	6,21	6.180	3.485	2.165	488	24,35	146,22
27	10,47	80	6,96	6.220	2.970	1.915	546		
28	10,47	80	6,28	6.410	2.430	1.580	478	19,68	143,42
29	10,47	80	6,13	6.317	3.670	2.310	476		

Cuadro 10.28.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (μS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	8,92	5.430	198	115	188	1,35	23,17
2	10,47	5	8,49	4.900	164	96	255		
3	10,47	5	8,86	4.960	240	173	310	2,14	17,34
4	10,47	5	8,59	5.015	215	154	295		
5	10,47	5	8,21	4.975	458	247	278		
6	10,47	10	8,24	4.575	889	564	332	3,33	31,21
7	10,47	10	8,65	3.870	671	387	198		
8	10,47	10	8,15	4.355	689	394	284		
9	10,47	10	8,52	5.125	468	256	307		
10	10,47	15	8,36	4.860	467	279	248	4,68	36,58
11	10,47	15	8,46	3.870	556	304	287		
12	10,47	15	8,68	4.350	674	389	302		
13	10,47	15	8,43	4.175	488	307	256		
14	10,47	15	8,18	4.860	473	294	288	3,97	48,54
15	10,47	30	8,67	4.560	459	277	235		
16	10,47	30	8,28	4.150	678	397	261		
17	10,47	30	8,42	4.230	731	432	276	4,23	54,21
18	10,47	30	8,33	4.550	436	247	294		
19	10,47	30	8,46	5.150	568	333	293		
20	10,47	50	8,32	5.200	789	449	307		
21	10,47	50	8,31	5.125	843	527	318		
22	10,47	50	8,51	7.400	764	488	286	2,18	61,63
23	10,47	50	8,82	6.480	786	437	287		
24	10,47	50	8,26	5.990	1.074	645	276	2,19	95,2
25	10,47	80	8,22	6.050	1.442	964	225		
26	10,47	80	8,05	6.200	1.365	833	380	3,52	40,62
27	10,47	80	7,86	6.270	1.075	649	327		
28	10,47	80	8,50	6.300	995	638	244	0,14	36,42
29	10,47	80	8,30	5.970	1.397	920	336	2,12	38,74

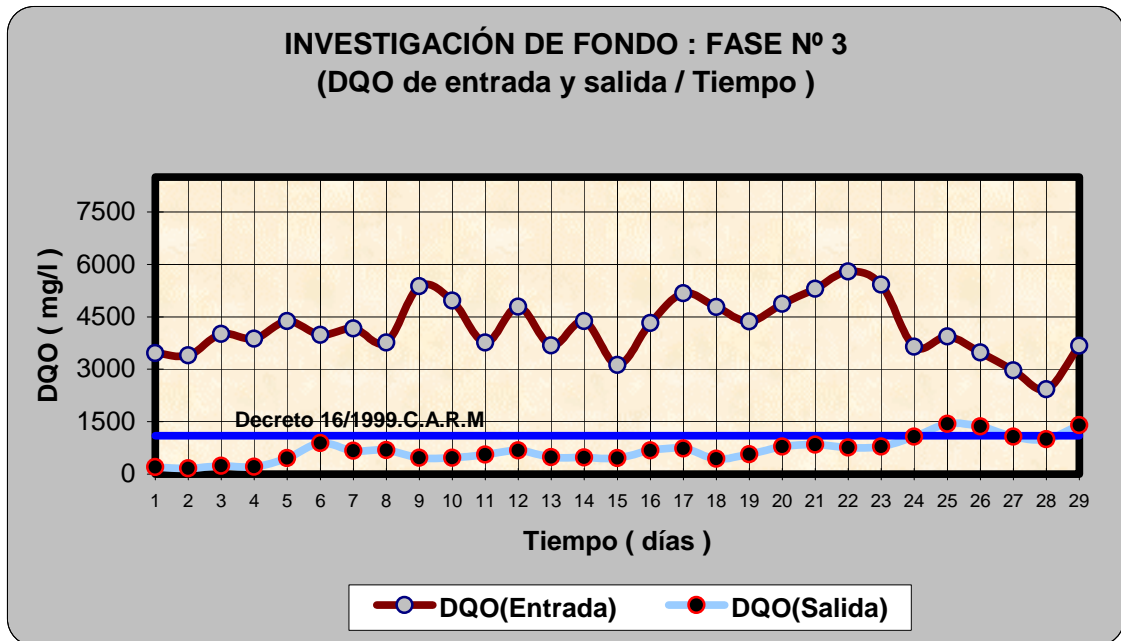


Gráfico 10.31.- Fase nº 3 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

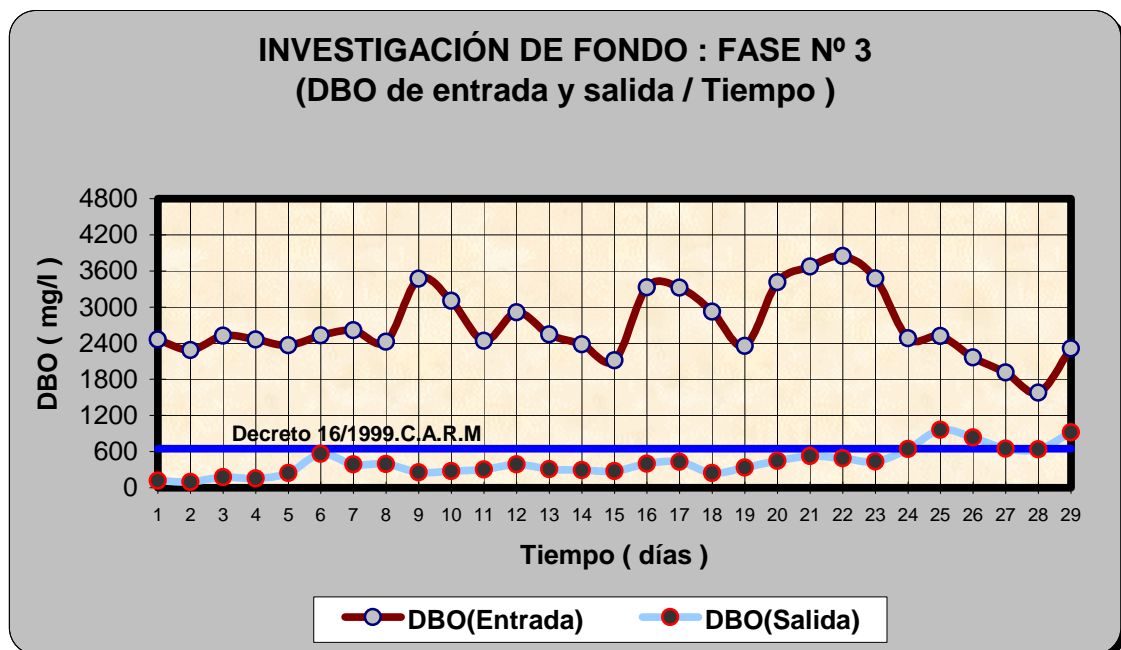


Gráfico 10.32.- Fase nº 3 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

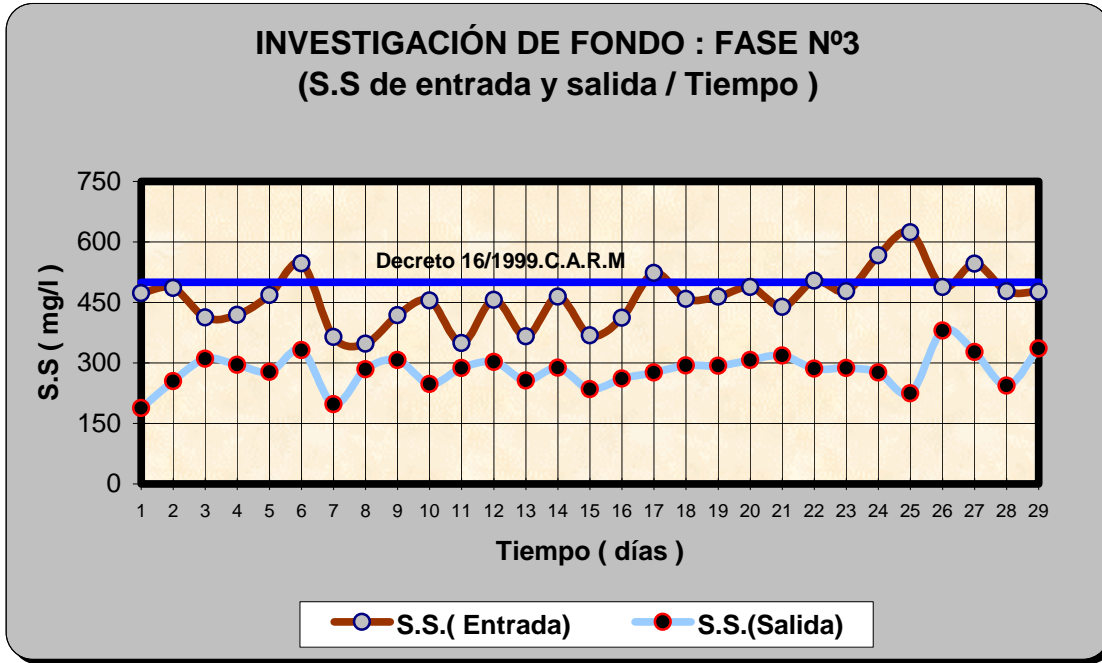


Gráfico 10.33.- Fase n° 3 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.29.- Fase nº 3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	94,29%	95,33%	60,25%
2	95,17%	95,80%	47,53%
3	94,01%	93,15%	24,94%
4	94,44%	93,74%	29,59%
5	89,53%	89,56%	40,60%
6	77,66%	77,71%	39,31%
7	83,91%	85,20%	45,60%
8	81,68%	83,75%	18,39%
9	91,29%	92,62%	26,56%
10	90,58%	91,01%	45,49%
11	85,23%	87,54%	17,77%
12	85,93%	86,66%	33,77%
13	86,76%	87,94%	30,05%
14	89,20%	87,65%	37,93%
15	85,31%	86,90%	36,14%
16	84,32%	88,06%	36,65%
17	85,87%	86,99%	47,23%
18	90,88%	91,56%	35,95%
19	86,99%	85,86%	36,85%
20	83,82%	86,83%	37,09%
21	84,09%	85,66%	27,56%
22	86,82%	87,32%	43,25%
23	85,50%	87,42%	39,96%
24	70,58%	74,04%	51,32%
25	63,40%	61,75%	63,94%
26	60,83%	61,52%	22,13%
27	63,80%	66,11%	40,11%
28	59,05%	59,62%	48,95%
29	61,93%	60,17%	29,41%

Cuadro 10.30.- Fase nº 3 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0418	2,14
2	0,0418	2,29
3	0,0418	2,13
4	0,0418	2,18
5	0,0418	2,37
6	0,0209	1,28
7	0,0209	1,13
8	0,0209	1,24
9	0,0209	0,78
10	0,0139	0,59
11	0,0139	0,78
12	0,0139	0,66
13	0,0139	0,75
14	0,0139	0,80
15	0,0070	0,45
16	0,0070	0,29
17	0,0070	0,29
18	0,0070	0,31
19	0,0070	0,41
20	0,0042	0,17
21	0,0042	0,16
22	0,0042	0,15
23	0,0042	0,17
24	0,0042	0,27
25	0,0026	0,20
26	0,0026	0,24
27	0,0026	0,25
28	0,0026	0,33
29	0,0026	0,23

Cuadro 10.31.- Fase nº3 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	3,92	2,78	0,54	5,88	4,18	0,80
2	0,07	3,84	2,59	0,55	5,76	3,88	0,83
3	0,07	4,54	2,86	0,47	6,81	4,29	0,70
4	0,07	4,38	2,78	0,47	6,57	4,18	0,71
5	0,07	4,95	2,68	0,53	7,43	4,01	0,79
6	0,14	9,01	5,73	1,24	13,51	8,59	1,86
7	0,14	9,44	5,92	0,82	14,16	8,88	1,24
8	0,14	8,51	5,49	0,79	12,77	8,23	1,18
9	0,14	12,17	7,85	0,95	18,25	11,78	1,42
10	0,21	16,84	10,54	1,54	16,84	10,54	1,54
11	0,21	12,78	8,28	1,18	12,78	8,28	1,18
12	0,21	16,26	9,90	1,55	16,26	9,90	1,55
13	0,21	12,51	8,64	1,24	12,51	8,64	1,24
14	0,21	14,87	8,08	1,58	14,87	8,08	1,58
15	0,42	21,22	14,36	2,50	31,83	21,54	3,75
16	0,42	29,37	22,58	2,80	44,05	33,87	4,20
17	0,42	35,14	22,54	3,55	52,71	33,82	5,33
18	0,42	32,46	19,86	3,12	48,69	29,79	4,68
19	0,42	29,64	15,99	3,15	44,46	23,99	4,73
20	0,71	55,17	38,59	5,52	82,76	57,89	8,28
21	0,71	59,98	41,59	4,97	89,98	62,39	7,45
22	0,71	65,59	43,57	5,70	98,38	65,36	8,56
23	0,71	61,34	39,33	5,41	92,01	58,99	8,11
24	0,71	41,31	28,12	6,42	61,96	42,19	9,63
25	1,13	71,35	45,63	11,30	107,02	68,45	16,95
26	1,13	63,11	39,20	8,84	94,66	58,81	13,26
27	1,13	53,78	34,68	9,89	80,67	52,02	14,83
28	1,13	44,00	28,61	8,66	66,00	42,92	12,98
29	1,13	66,46	41,83	8,62	99,69	62,75	12,93

Cuadro 10.32.- Fase nº 3 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	89,66
DQO de salida	89,66
SS de salida	92

10.3.8.- Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 3.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.33.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.34.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.35.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.36.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.37.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.38.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.33.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,0	3.650	2.430	1.580	348
<i>Máximo</i>	80	7,2	7.130	5.795	3.850	624
<i>Rango o Amplitud</i>	75	1,2	3.480	3.365	2.270	276
<i>Media Aritmética</i>	32	6,5	4.979	4.182	2.688	460
<i>Desviación media</i>	22,4732	0,2979	757,7741	658,3353	454,6457	47,8333
<i>Varianza</i>	695,90	0,12	85.9020,49	633.875,15	29.6107,28	3.292,17
<i>Desviación típica</i>	26,3799	0,3442	926,8336	796,1628	544,1574	57,3774
<i>Coefficiente de Variación</i>	81,38	5,31	18,62	19,04	20,25	12,47

Cuadro 10.34.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	3,84	2,59	0,47
<i>Máximo</i>	1,13	71,35	45,63	11,30
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	67,50	43,05	10,83
<i>Media Aritmética</i>	0,46	29,79	19,33	3,58
<i>Desviación media</i>	0,3179	20,1513	13,4370	2,7240
<i>Varianza</i>	0,1393	518,8687	224,0414	10,3569
<i>Desviación típica</i>	0,3732	22,7787	14,9680	3,2182
<i>Coefficiente de Variación</i>	81,38	76,46	77,43	89,84

Cuadro 10.35.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	5,76	3,88	0,70
<i>Máximo</i>	107,02	68,45	16,95
<i>Rango o Amplitud</i>	101,26	64,57	16,25
<i>Media Aritmética</i>	43,42	28,21	5,25
<i>Desviación media</i>	31,3875	20,8580	4,1757
<i>Varianza</i>	1231,8148	530,9183	24,1627
<i>Desviación típica</i>	35,0972	23,0417	4,9156
<i>Coefficiente de Variación</i>	80,82	81,67	93,61

Cuadro 10.36.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	7,9	3.870	164	96	188
<i>Máximo</i>	8,9	7.400	1.442	964	380
<i>Rango o Amplitud</i>	1,1	3.530	1.278	868	192
<i>Media Aritmética</i>	8,4	5.136	691	421	282
<i>Desviación media</i>	0,1895	685,7669	265,6980	172,3995	30,4780
<i>Varianza</i>	0,06	740.535,14	115.099,35	48.791,22	1.627,52
<i>Desviación típica</i>	0,2377	860,5435	339,2630	220,8873	40,3426
<i>Coefficiente de Variación</i>	2,82	16,76	49,07	52,53	14,31

Cuadro 10.37.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO(%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	59,05	59,62	17,77
<i>Máximo</i>	95,17	95,80	63,94
<i>Rango o Amplitud</i>	36,12	36,18	46,18
<i>Media Aritmética</i>	82,51	83,36	37,74
<i>Desviación media</i>	8,3564	8,4554	8,4953
<i>Varianza</i>	1,14	1,17	1,20
<i>Desviación típica</i>	10,6974	10,8082	10,9723
<i>Coefficiente de Variación</i>	12,96	12,97	29,08

Cuadro 10.38.- Fase nº 3 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,003	0,15
<i>Máximo</i>	0,04	2,37
<i>Rango o Amplitud</i>	0,04	2,22
<i>Media Aritmética</i>	0,01	0,79
<i>Desviación media</i>	0,0110	0,5794
<i>Varianza</i>	0,0002	0,5245
<i>Desviación típica</i>	0,0137	0,7242
<i>Coefficiente de Variación</i>	91,90	91,21

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.34.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.35.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.36.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.37.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.38.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.39.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.40.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.41.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.42.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.43.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.44.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.45.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

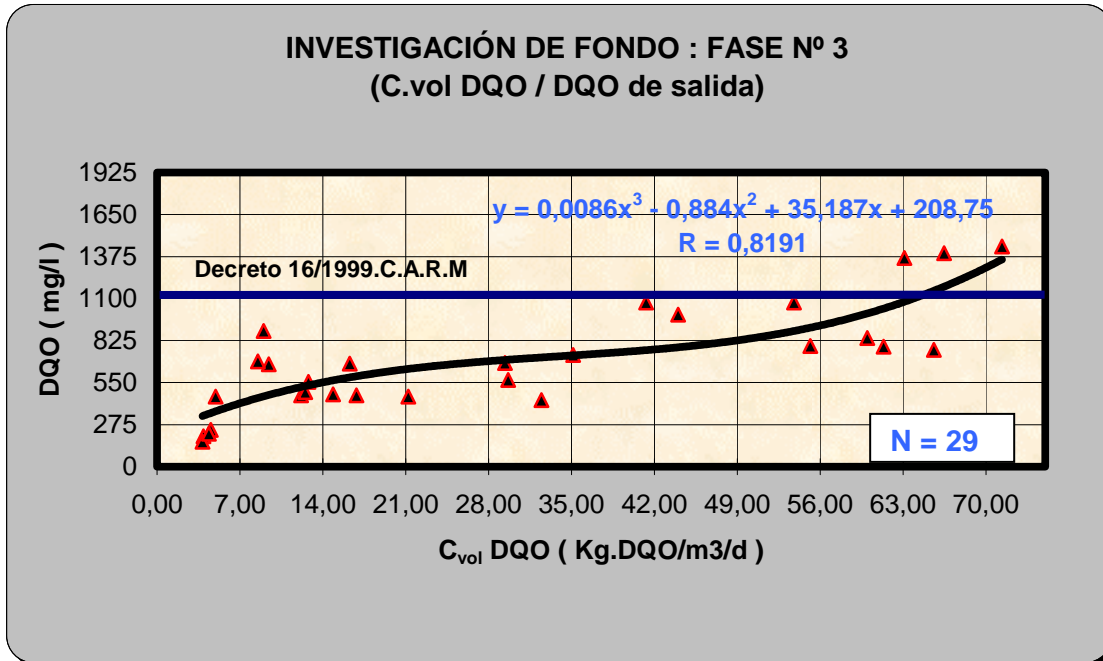


Gráfico 10.34.- Fase nº 3 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

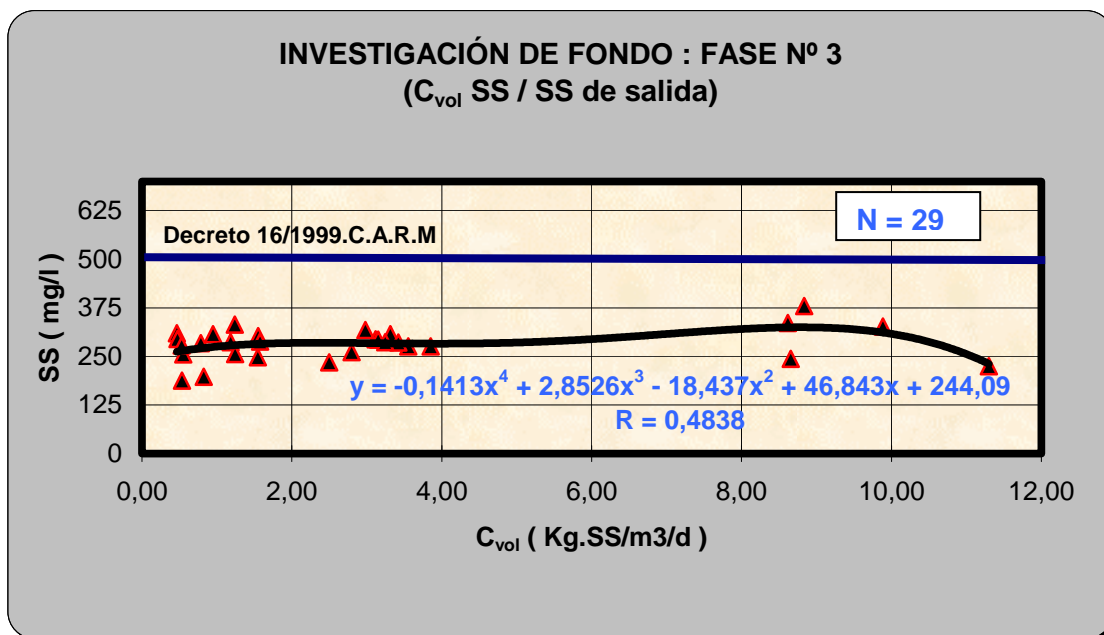


Gráfico 10.35.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

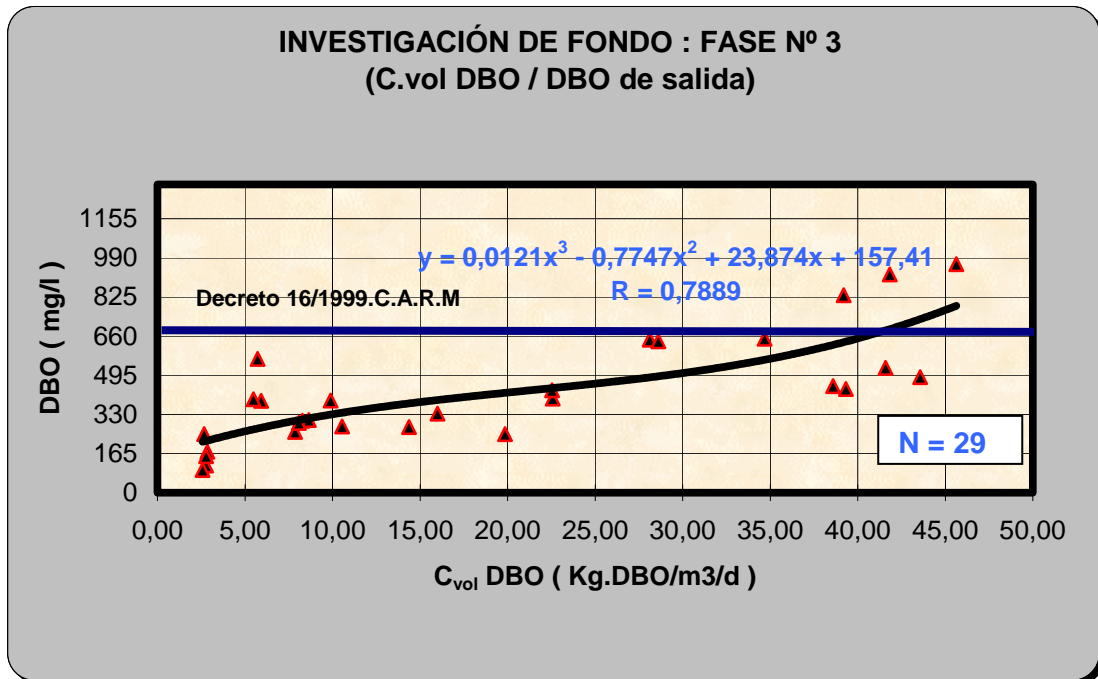


Gráfico 10.36.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

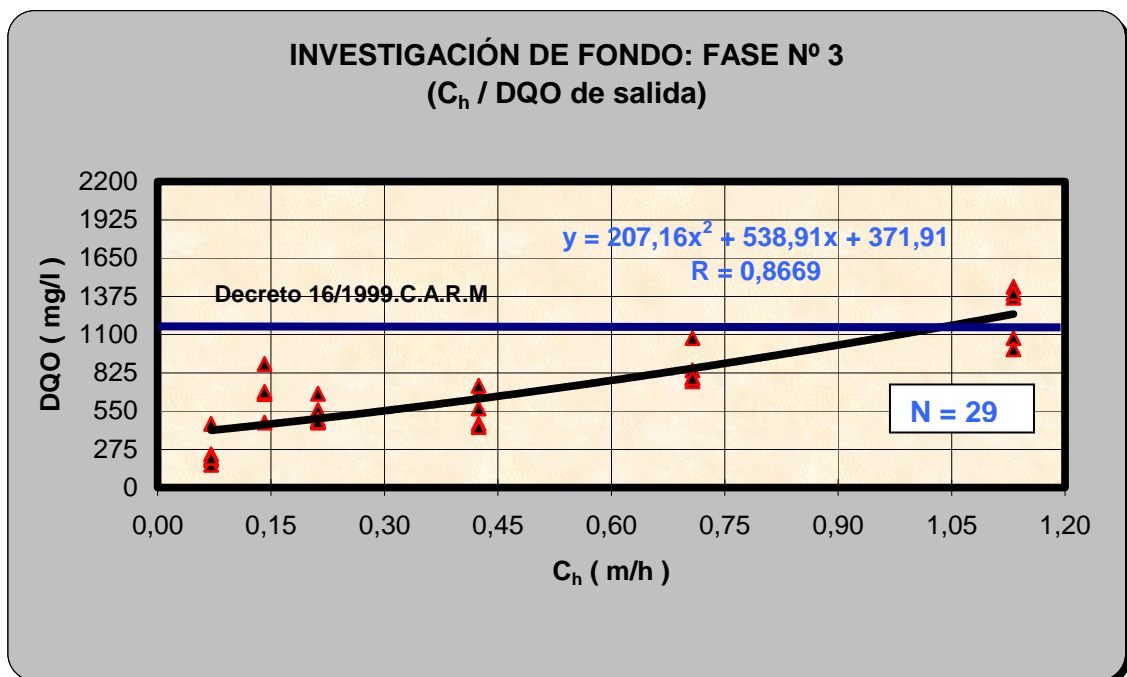


Gráfico 10.37.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

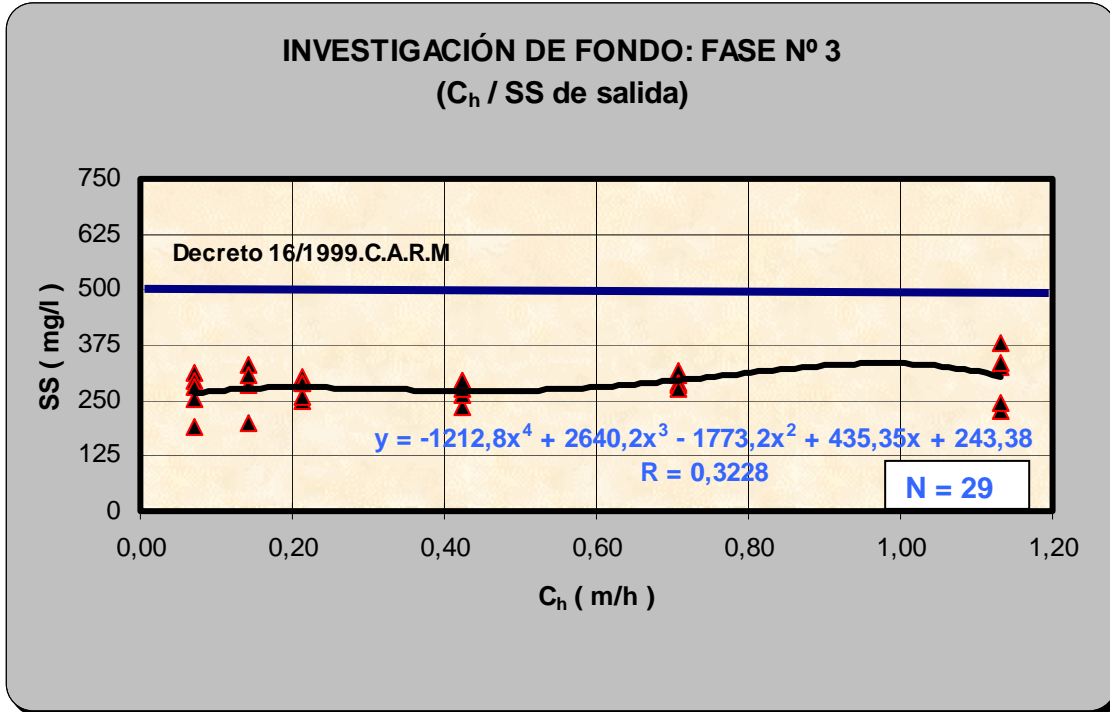


Gráfico 10.38.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

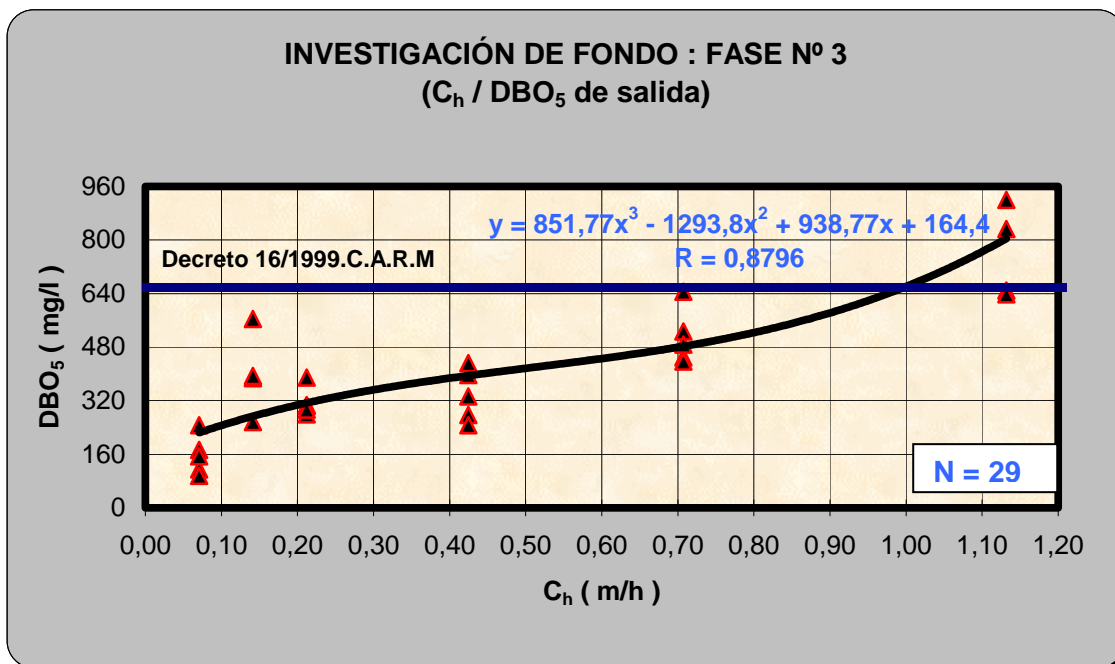


Gráfico 10.39.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

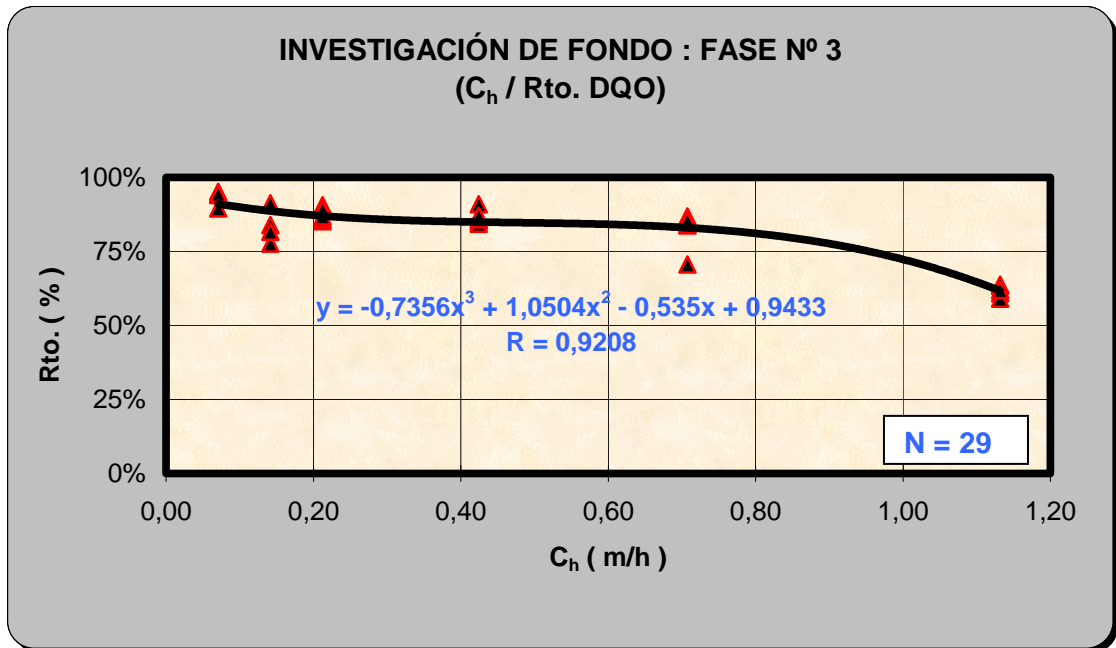


Gráfico 10.40.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

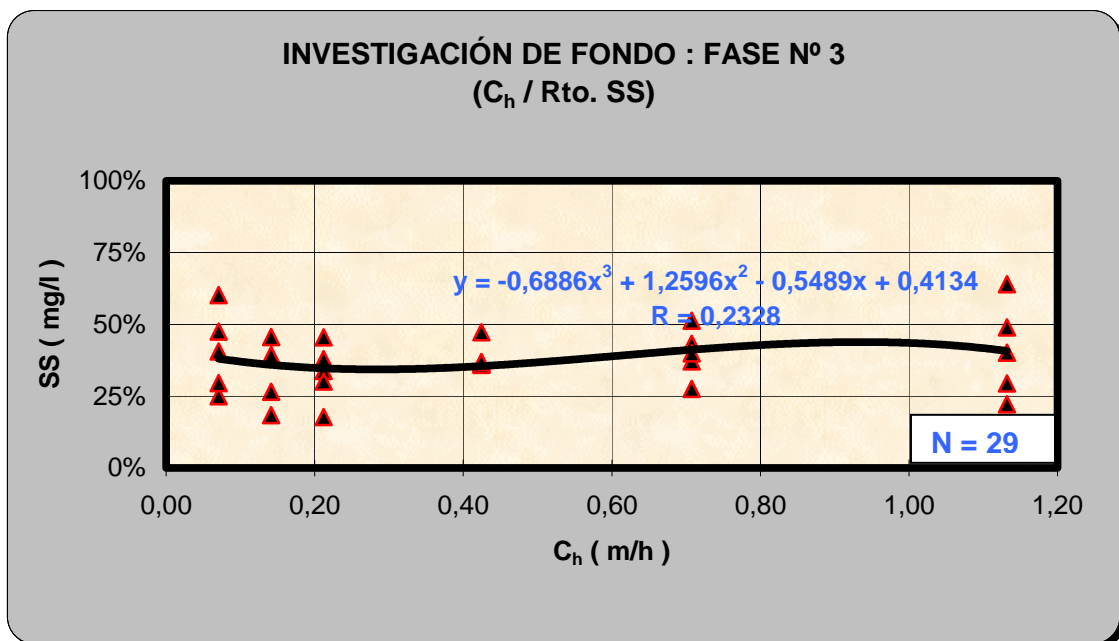


Gráfico 10.41.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

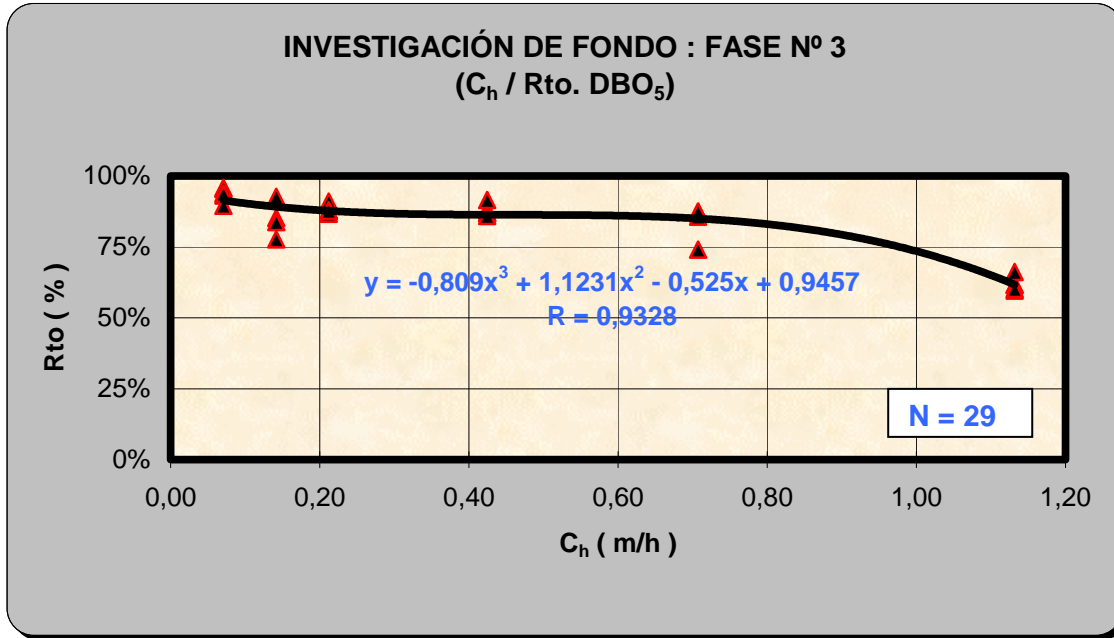


Gráfico 10.42.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

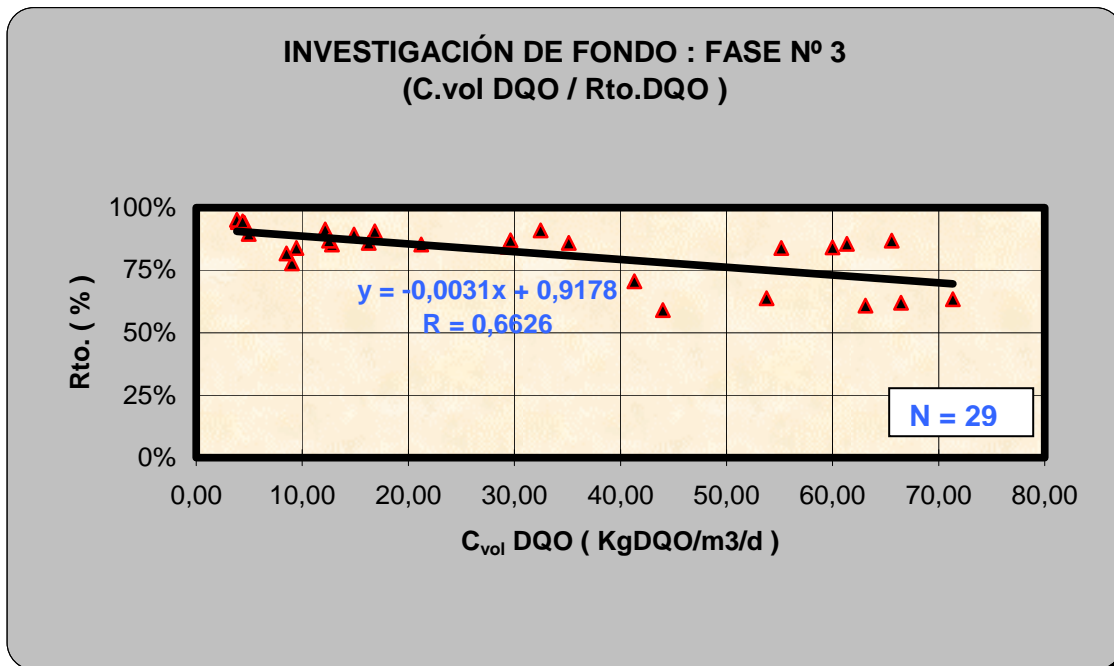


Gráfico 10.43.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

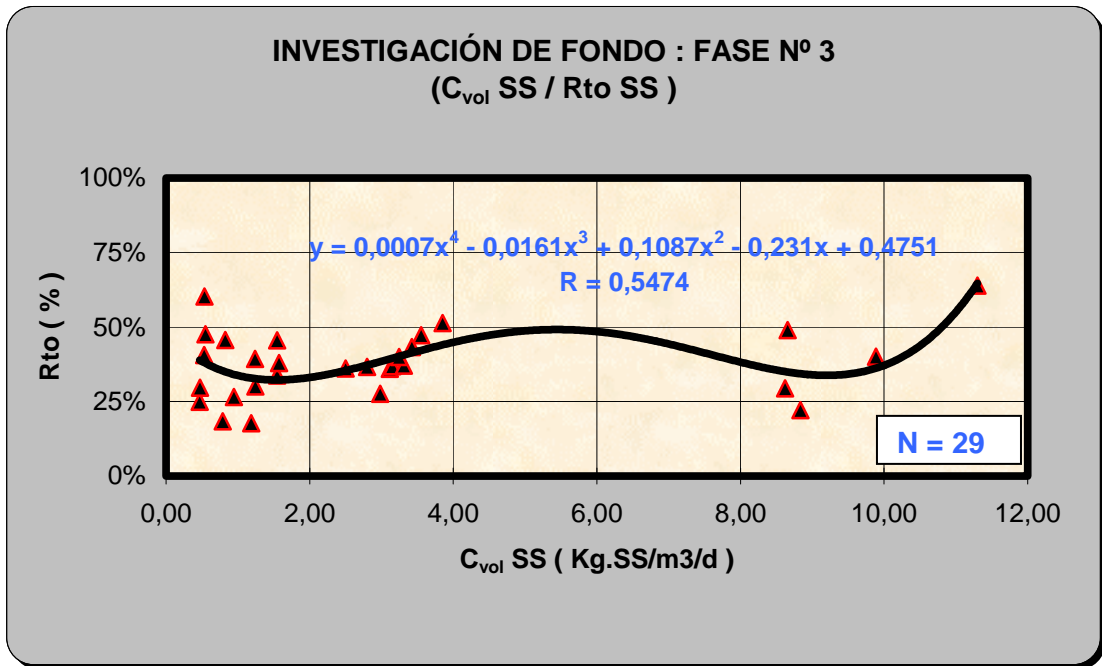


Gráfico 10.44.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

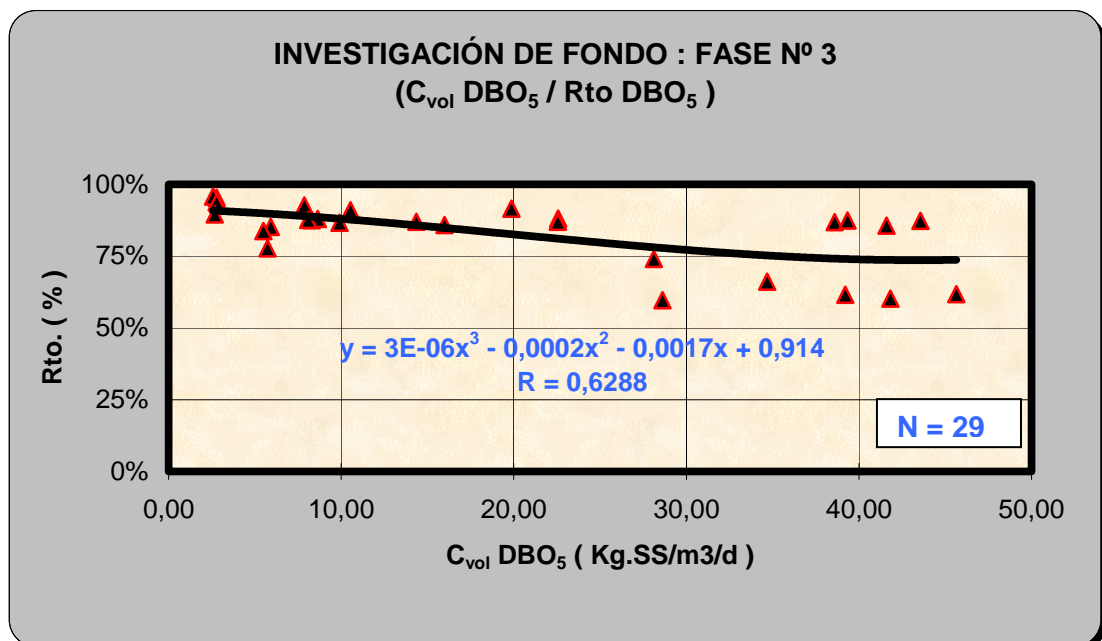


Gráfico 10.45.- Fase nº 3 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

10.3.9.- Discusión y resultados de la Fase nº 3

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Un 89,66% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Igualmente un 89,66% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l). El cambio a un flujo de tipo co-corriente se tradujo en una gran mejoría en los resultados de salida, confirmándose un mejor comportamiento en este tipo de configuración.
- b. SS.- Los resultados se consideran mayoritariamente satisfactorios, pues los resultados obtenidos no superaron, salvo el día 15 del ensayo, la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO de salida (Graf. 10.34), los resultados siguieron una función polinómica ($y = 0,0086x^3 - 0,8844x^2 + 35,187x + 208,75$), con un factor de correlación de $r = 0,8191$. Se aprecia una $C_{vol. \max} DQO = 64 \text{ Kg DQO/m}^3/\text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener

una DQO < 1100 mg/l. Por otra parte, en lo que respecta a la C_h , la DQO de salida (Graf. 10.37), presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 207,16x^2 + 538,91x + 371,91$), con un factor de correlación de $r = 0,8669$. Se tiene una $C_{h, \max} = 1,02$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de DQO < 1100 mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{\text{entrada}} = 3.921$ mg/l. Por tanto si se tiene una $DQO_{\text{entrada}} > 3.921$ mg/l (como cabe esperar mayoritariamente), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la $DQO_{\text{entrada max}}$ y reducir la carga hidráulica. En caso contrario, se procederá a la inversa, es decir, fijaremos la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica inferior a la máxima. Para valores de carga aplicados a los experimentos de esta fase $C_h \leq 0,71$ m/h (50l/h) todas las muestras analizadas cumplieron las exigencias del Decreto 16/1999 de la C.A.R.M en DQO.

- c. SS.-Los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf. 10.35) se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -0,1413x^4 + 2,8526x^3 - 18,437x^2 + 46,843x + 244,09$), con un factor de correlación de $r = 0,4838$. Dichos resultados de SS de salida se mantuvieron también prácticamente estables para los rangos de

carga volumétrica SS ensayados (0,47-11,30), debido al efecto de filtro que tiene el propio lecho inundado.

- b. DBO₅ - Observando las curvas de ajuste que representan la DBO₅ de salida (Graf. 10.36), los resultados siguieron una función polinómica ($y = 0,0121x^3 - 0,7747x^2 + 23,874x + 157,41$), con un factor de correlación de $r = 0,7889$. Se aprecia una $C_{vol, \max DBO_5} = 41 \text{ Kg DBO}_5/\text{m}^3/\text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una DBO₅ < 650 mg/l. Por otra parte, en lo que respecta a la C_h , la DBO₅ de salida, (Graf. 10.39), presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 851,77x^3 - 1293,8x^2 + 938,77x + 164,4$), con un factor de correlación de $r = 0,8796$. Se obtiene una $C_{h, \max} = 0,99$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de una DBO₅ < 650 mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para DBO_{5 entrada} = 2.590 mg/l. Por tanto si se tiene una DBO_{5 entrada} > 2.590 mg/l, significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la DBO_{5 entrada max} y reducir la carga hidráulica. En caso contrario, se procederá a la inversa, es decir, fijaremos la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica inferior a la máxima. Para valores de carga aplicados a los experimentos de esta fase $C_h \leq 0,71 \text{ m/h}$ todas las muestras analizadas cumplieron las exigencias del Decreto 16/1999 de la C.A.R.M en DBO₅.
- c. Al igual que en las otras fases la eliminación de DQO y DBO₅, siempre será más restrictiva para el diseño. El funcionamiento, en cuanto a

eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida óptimos.

10.3.10 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 4: Relleno monocapa (3-7 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O₂/h-24,44 Nm³/m²/h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.39.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.40.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.46.- Fase nº 4 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.47.- Fase nº 4 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.48.- Fase nº 4 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo)

Cuadro 10.41.- Fase nº 4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.42.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.43.- Fase nº 4 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.44.- Fase nº 4 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.39.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	6,69	4.110	3.460	2.625	292	23,5	86,84
2	24,44	5	6,18	4.510	3.670	3.010	386	18,9	
3	24,44	5	6,92	4.010	3.480	2.630	484	21,4	
4	24,44	5	6,92	4.260	3.600	2.830	355		87,54
5	24,44	5	6,86	3.970	3.600	2.995	334	22,6	
6	24,44	5	6,91	3.880	3.685	2.890	198		114,85
7	24,44	5	6,81	4.010	4.195	3.190	364	16,5	
8	24,44	5	6,70	3.960	4.215	3.210	329		
9	24,44	5	6,24	4.370	4.325	3.315	331	18,4	
10	24,44	5	6,36	5.780	4.745	3.610	389		
11	24,44	10	6,55	5.690	3.720	3.000	302		
12	24,44	10	6,57	5.020	3.670	2.500	190		
13	24,44	10	6,49	5.140	3.275	2.450	223	13,41	124,66
14	24,44	10	6,26	5.020	3.375	2.800	231		
15	24,44	10	6,72	4.390	2.970	2.115	361		
16	24,44	10	6,37	5.070	3.225	2.015	214	13,35	166,68
17	24,44	15	6,79	5.750	6.425	4.395	466	16,34	233,92
18	24,44	15	6,12	5.210	5.040	3.750	683		
19	24,44	15	8,04	5.350	4.575	3.490	714	11,25	84,04
20	24,44	30	6,64	6.060	4.240	3.300	282		
21	24,44	30	6,68	5.970	4.475	3.480	359		
22	24,44	30	6,28	5.570	3.760	2.915	295		
23	24,44	30	6,51	7.640	3.115	2.500	207		
24	24,44	50	6,97	7.650	1.960	1.210	213	21,19	173,69
25	24,44	50	6,53	6.740	3.735	2.890	453		
26	24,44	50	6,36	6.380	2.110	1.275	314		
27	24,44	50	6,68	4.875	4.325	3.310	432		
28	24,44	80	6,62	5.360	4.675	2.875	416	22,13	149,02
29	24,44	80	6,37	5.764	3.860	3.045	451		
30	24,44	80	6,08	5.550	3.520	2.685	546	15,23	107,9
31	24,44	80	6,84	5.295	5.045	3.235	396	13,11	164,15

Cuadro 10.40.- Fase nº 4 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	9,00	4.210	268	210	257	2,44	10,65
2	24,44	5	8,57	4.190	306	241	364		
3	24,44	5	8,69	4.100	342	145	460		
4	24,44	5	8,63	4.180	288	225	312	1,27	52,53
5	24,44	5	8,38	4.110	296	220	272		
6	24,44	5	8,02	4.540	376	165	188	6,08	49,02
7	24,44	5	8,20	4.380	464	354	348		
8	24,44	5	8,21	4.530	388	172	279		
9	24,44	5	8,33	4.200	492	371	278		
10	24,44	5	8,40	4.090	606	395	223		
11	24,44	10	8,24	4.860	642	430	282		
12	24,44	10	8,64	5.040	382	185	117		
13	24,44	10	8,24	4.740	332	235	144	8,31	22,41
14	24,44	10	8,31	4.650	336	230	134		
15	24,44	10	8,85	4.310	248	181	97		
16	24,44	10	8,54	4.690	284	215	106	2,01	21,01
17	24,44	15	9,06	5.120	840	465	361	1,83	36,42
18	24,44	15	9,12	5.285	728	495	466		
19	24,44	15	9,01	5.140	250	185	139	2,1	12,60
20	24,44	30	8,66	5.810	710	539	100		
21	24,44	30	9,30	5.720	1.038	361	296		
22	24,44	30	8,77	5.635	237	170	154		
23	24,44	30	9,02	6.430	184	141	43		
24	24,44	50	9,26	6.430	194	145	78	2,24	9,80
25	24,44	50	8,60	6.210	660	439	120		
26	24,44	50	9,35	6.390	194	145	106		
27	24,44	50	8,86	5.430	232	160	102		
28	24,44	80	9,02	5.510	514	266	170	2,09	15,40
29	24,44	80	8,56	5.125	475	366	168		
30	24,44	80	8,96	5.420	218	159	96	2,17	12,61
31	24,44	80	7,74	5.275	1.080	614	316	2,93	41,23

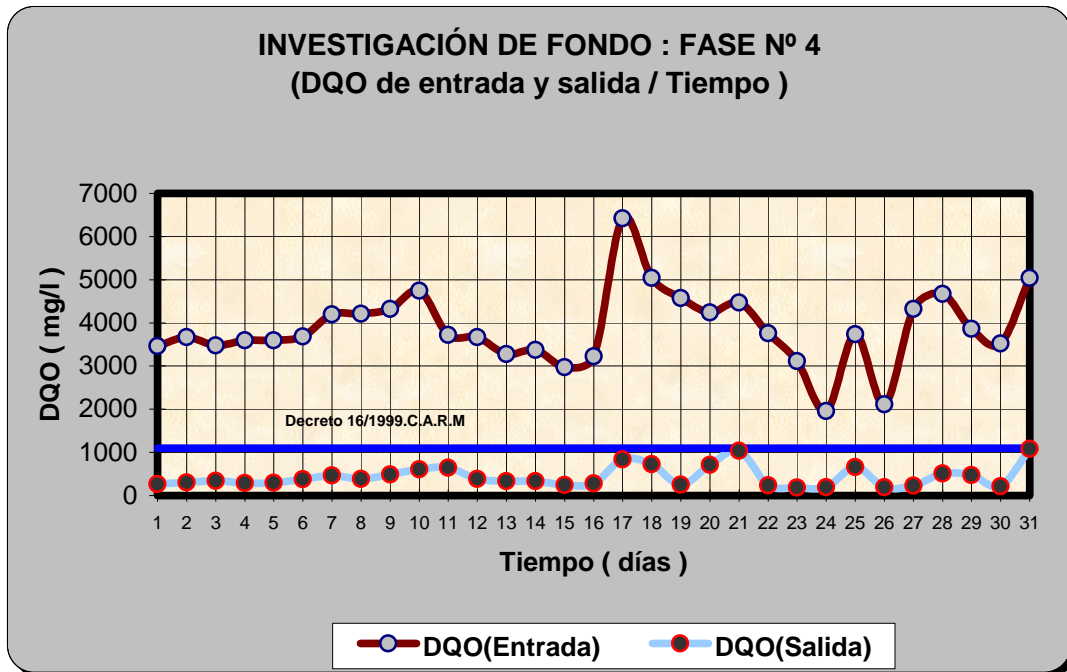


Gráfico 10.46.- Fase n° 4 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

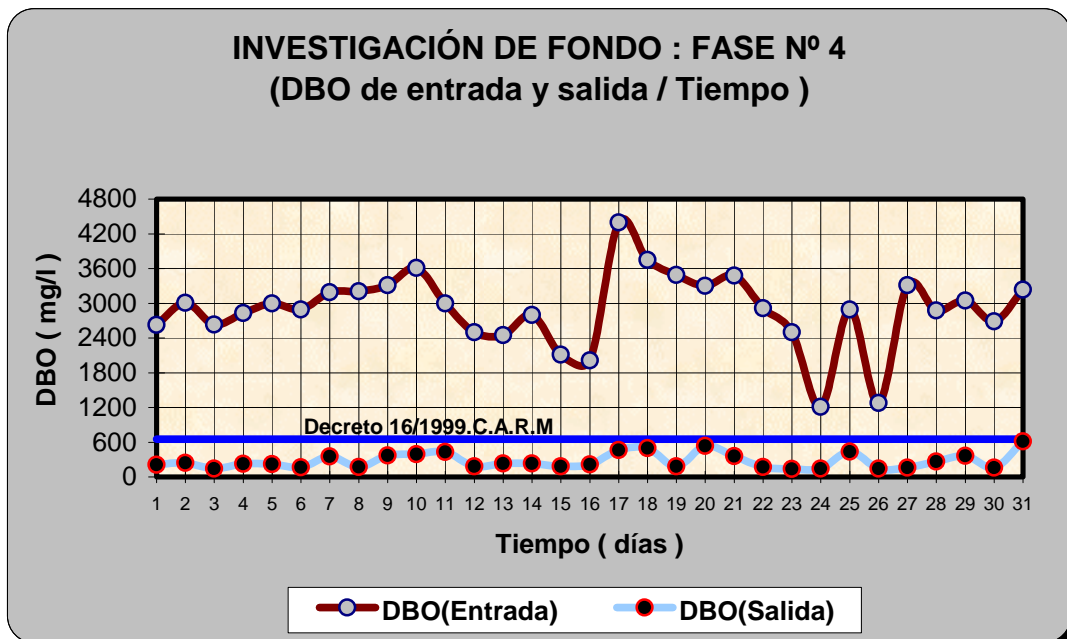


Gráfico 10.47.- Fase n° 4 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

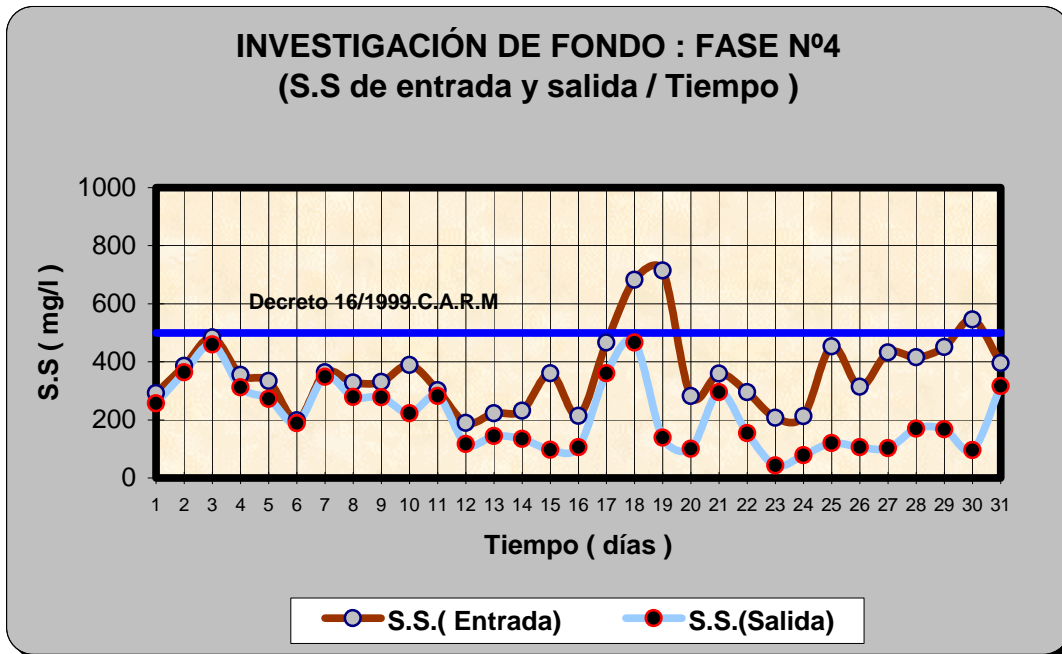


Gráfico 10.48.- Fase n° 4 (I. Fondo): SS. De entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.41.- Fase nº 4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	92,25%	92,00%	11,99%
2	91,66%	91,99%	5,70%
3	90,17%	94,49%	4,96%
4	92,00%	92,05%	12,11%
5	91,78%	92,65%	18,56%
6	89,80%	94,29%	5,05%
7	88,94%	88,90%	4,40%
8	90,79%	94,64%	15,20%
9	88,62%	88,81%	16,01%
10	87,23%	89,06%	42,67%
11	82,74%	85,67%	6,62%
12	89,59%	92,60%	38,42%
13	89,86%	90,41%	35,43%
14	90,04%	91,79%	41,99%
15	91,65%	91,44%	73,13%
16	91,19%	89,33%	50,47%
17	86,93%	89,42%	22,53%
18	85,56%	86,80%	31,77%
19	94,54%	94,70%	80,53%
20	83,25%	83,67%	64,54%
21	76,80%	89,63%	17,55%
22	93,70%	94,17%	47,80%
23	94,09%	94,36%	79,23%
24	90,10%	88,02%	63,38%
25	82,33%	84,81%	73,51%
26	90,81%	88,63%	66,24%
27	94,64%	95,17%	76,39%
28	89,01%	90,75%	59,13%
29	87,69%	87,98%	62,75%
30	93,81%	94,08%	82,42%
31	78,59%	81,02%	20,20%

Cuadro 10.42.- Fase n ° 4 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0976	4,85
2	0,0976	4,23
3	0,0976	4,71
4	0,0976	4,50
5	0,0976	4,22
6	0,0976	4,30
7	0,0976	4,13
8	0,0976	3,86
9	0,0976	3,98
10	0,0976	3,64
11	0,0488	2,28
12	0,0488	2,53
13	0,0488	2,64
14	0,0488	2,28
15	0,0488	3,03
16	0,0488	3,25
17	0,0325	0,99
18	0,0325	1,20
19	0,0325	1,18
20	0,0163	0,71
21	0,0163	0,63
22	0,0163	0,71
23	0,0163	0,83
24	0,0098	1,10
25	0,0098	0,48
26	0,0098	1,04
27	0,0098	0,37
28	0,0061	0,28
29	0,0061	0,27
30	0,0061	0,29
32	0,0061	0,28

Cuadro 10.43.- Fase nº 4 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	3,92	2,97	0,33	5,87	4,46	0,50
2	0,07	4,15	3,41	0,44	6,23	5,11	0,66
3	0,07	3,94	2,98	0,55	5,91	4,46	0,82
4	0,07	4,07	3,20	0,40	6,11	4,80	0,60
5	0,07	4,07	3,39	0,38	6,11	5,08	0,57
6	0,07	4,17	3,27	0,22	6,26	4,91	0,34
7	0,07	4,75	3,61	0,41	7,12	5,42	0,62
8	0,07	4,77	3,63	0,37	7,16	5,45	0,56
9	0,07	4,89	3,75	0,37	7,34	5,63	0,56
10	0,07	5,37	4,09	0,44	8,06	6,13	0,66
11	0,14	8,42	6,79	0,68	12,63	10,19	1,03
12	0,14	8,31	5,66	0,43	12,46	8,49	0,65
13	0,14	7,41	5,55	0,50	11,12	8,32	0,76
14	0,14	7,64	6,34	0,52	11,46	9,51	0,78
15	0,14	6,72	4,79	0,82	10,08	7,18	1,23
16	0,14	7,30	4,56	0,48	10,95	6,84	0,73
17	0,21	21,81	14,92	1,58	32,72	22,38	2,37
18	0,21	17,11	12,73	2,32	25,67	19,10	3,48
19	0,21	15,53	11,85	2,42	23,30	17,77	3,64
20	0,42	28,79	22,41	1,91	43,19	33,61	2,87
21	0,42	30,39	23,63	2,44	45,58	35,45	3,66
22	0,42	25,53	19,79	2,00	38,30	29,69	3,00
23	0,42	21,15	16,98	1,41	31,73	25,46	2,11
24	0,71	22,18	13,69	2,41	33,27	20,54	3,62
25	0,71	42,27	32,71	5,13	63,41	49,06	7,69
26	0,71	23,88	14,43	3,55	35,82	21,65	5,33
27	0,71	48,95	37,46	4,89	73,42	56,19	7,33
28	1,13	84,66	52,06	7,53	126,98	78,09	11,30
29	1,13	69,90	55,14	8,17	104,85	82,71	12,25
30	1,13	63,74	48,62	9,89	95,61	72,93	14,83
31	1,13	91,36	58,58	7,17	137,03	87,87	10,76

Cuadro 10.44.- Fase nº 4 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	100,00
DQO de salida	100,00
SS de salida	100,00

10.3.11.- Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 4.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.45.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.46.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.47.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.48.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.49.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.50.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.45.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,1	3.880,0	1960	1210	190
<i>Máximo</i>	80	8,0	7.650,0	6425	4395	714
<i>Rango o Amplitud</i>	75	2,0	3.770,0	4465	3185	524
<i>Media Aritmética</i>	26	6,6	5.237,2	3.873,2	2.888,4	361,6
<i>Desviación media</i>	21,4360	0,2550	773,5879	632,3413	454,1311	95,4214
<i>Varianza</i>	656,04	0,13	975.231,85	716.967,01	406.974,82	16.085,72
<i>Desviación típica</i>	25,6132	0,3606	987,5383	846,7390	637,9458	126,8295
<i>Coefficiente de Variación</i>	99,88	5,45	18,86	21,86	22,09	35,07

Cuadro 10.46.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	3,92	2,97	0,22
<i>Máximo</i>	1,13	91,36	58,58	9,89
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	87,44	55,61	9,66
<i>Media Aritmética</i>	0,36	22,49	16,23	2,26
<i>Desviación media</i>	0,3033	18,3594	13,2341	2,0009
<i>Varianza</i>	0,1313	594,7654	284,8840	6,9477
<i>Desviación típica</i>	0,3624	24,3878	16,8785	2,6359
<i>Coefficiente de Variación</i>	99,88	108,44	104,02	116,42

Cuadro 10.47.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	5,87	4,46	0,34
<i>Máximo</i>	137,03	87,87	14,83
<i>Rango o Amplitud</i>	131,16	83,41	14,49
<i>Media Aritmética</i>	33,73	24,34	3,40
<i>Desviación media</i>	27,5391	19,8511	3,0014
<i>Varianza</i>	1.338,2222	640,9890	15,6324
<i>Desviación típica</i>	36,5817	25,3178	3,9538
<i>Coefficiente de Variación</i>	108,44	104,02	116,42

Cuadro 10.48.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	7,7	4.090	184	141	43
<i>Máximo</i>	9,4	6.430	1.080	614	466
<i>Rango o Amplitud</i>	1,6	2.340	896	473	423
<i>Media Aritmética</i>	8,7	5.024,2	438,8	278,2	212,1
<i>Desviación media</i>	0,3222	618,2518	192,4475	114,1207	99,6254
<i>Varianza</i>	0,15	532.150,16	56.806,46	17.341,12	12.860,11
<i>Desviación típica</i>	0,3907	729,4862	238,3411	131,6857	113,4024
<i>Coefficiente de Variación</i>	4,51	14,52	54,31	47,34	53,46

Cuadro 10.49.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO(%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	76,80	81,02	4,40
<i>Máximo</i>	94,64	95,17	82,42
<i>Rango o Amplitud</i>	17,83	14,15	78,02
<i>Media Aritmética</i>	89,04	90,43	39,70
<i>Desviación media</i>	3,27	2,86	23,79
<i>Varianza</i>	0,19	0,12	7,08
<i>Desviación típica</i>	4,35	3,50	26,60
<i>Coefficiente de Variación</i>	4,88	3,87	67,01

Cuadro 10.50.- Fase nº 4 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,01	0,27
<i>Máximo</i>	0,10	4,85
<i>Rango o Amplitud</i>	0,09	4,58
<i>Media Aritmética</i>	0,05	2,22
<i>Desviación media</i>	0,0321	1,4791
<i>Varianza</i>	0,0014	2,6107
<i>Desviación típica</i>	0,0369	1,6158
<i>Coefficiente de Variación</i>	76,53	72,83

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.49.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.50.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.51.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.52.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.53.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.54.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.55.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.56.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.57.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.58.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.59.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.60.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

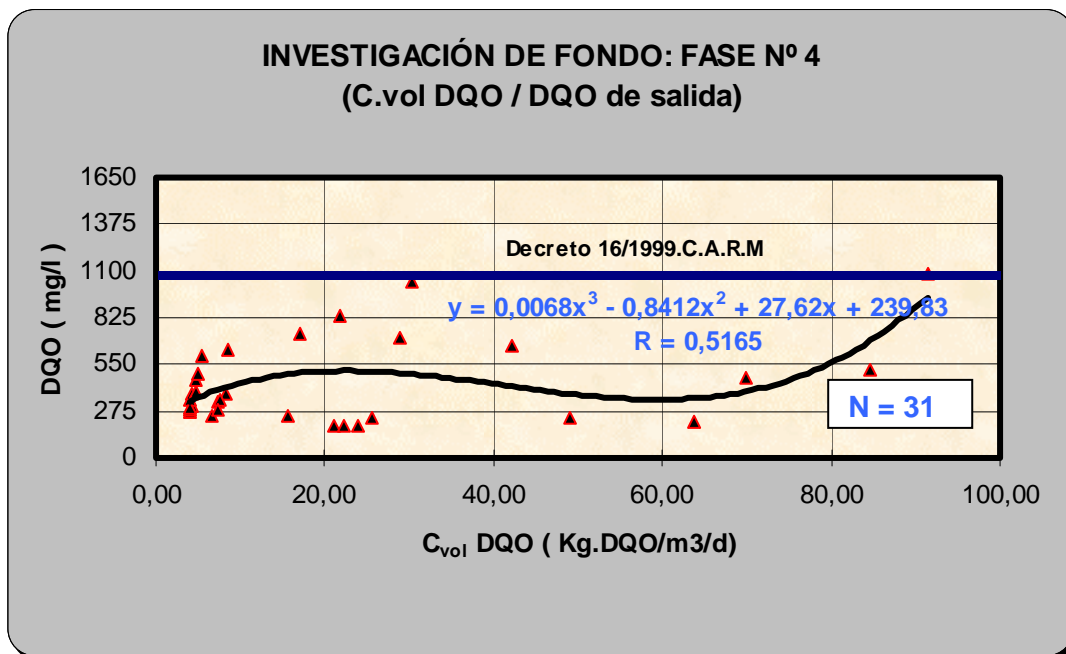


Gráfico 10.49.- Fase n° 4 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

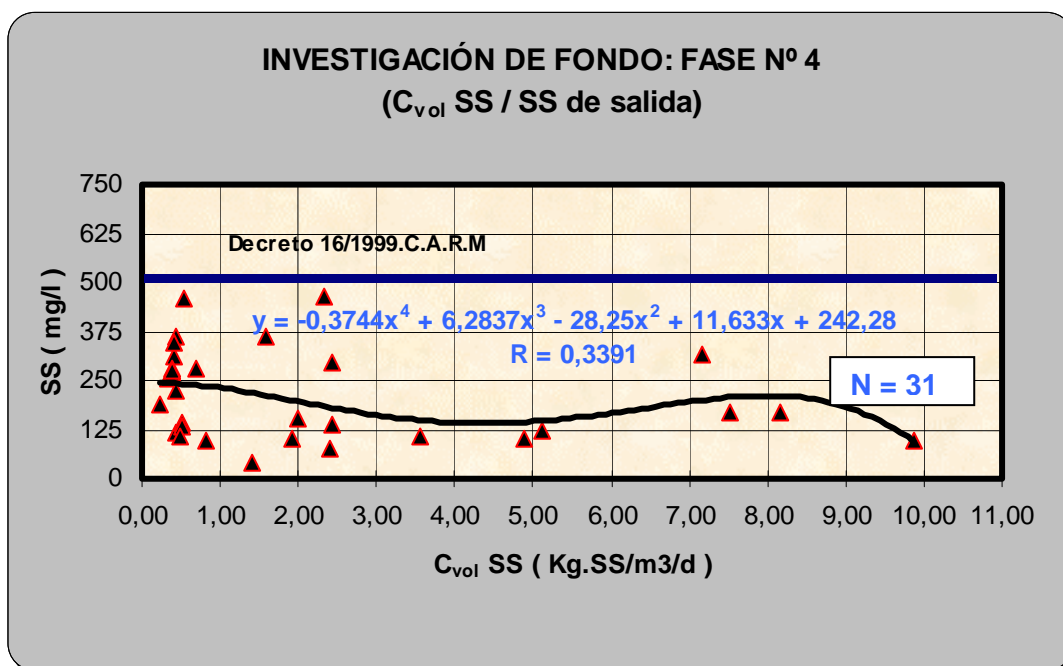


Gráfico 10.50.- Fase n° 4 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

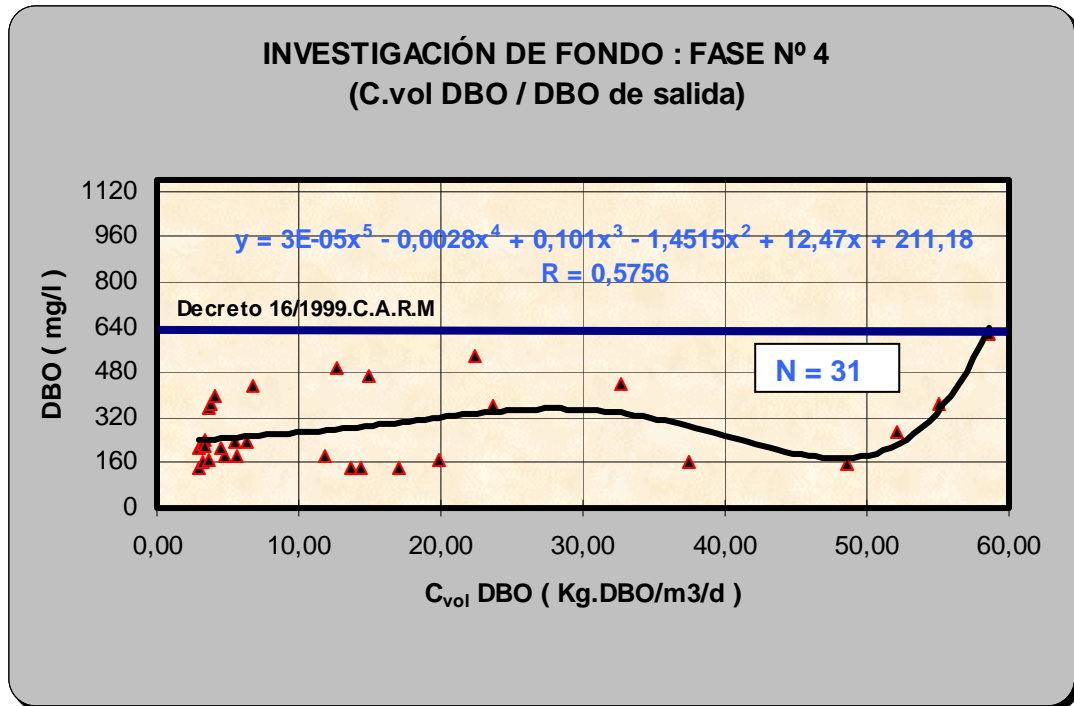


Gráfico 10.51.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

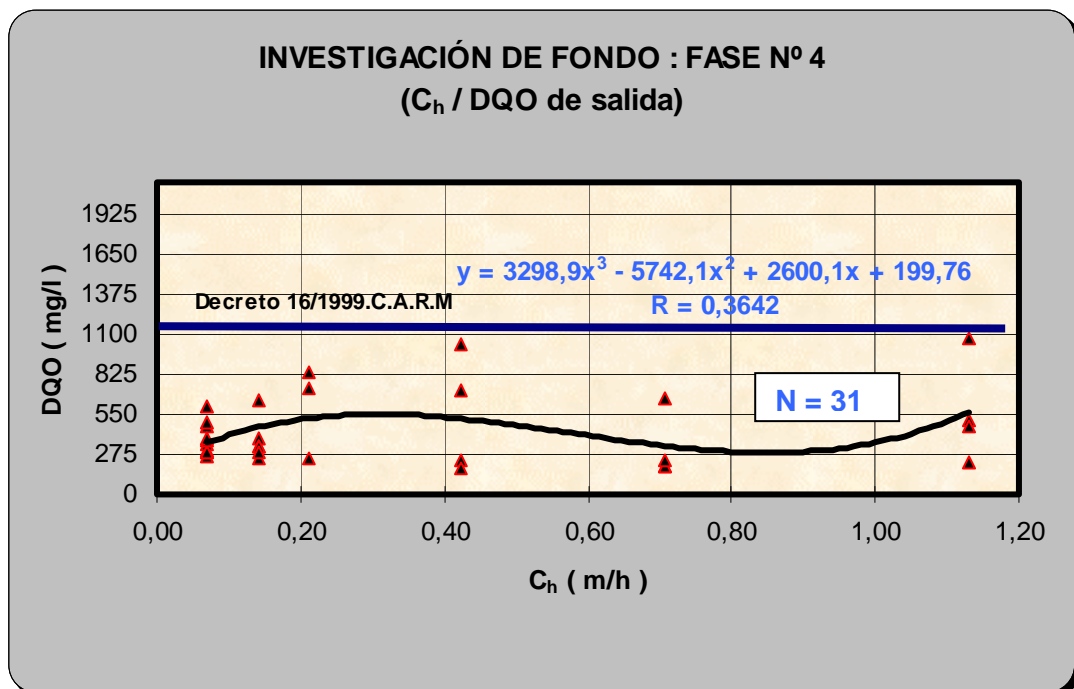


Gráfico 10.52.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

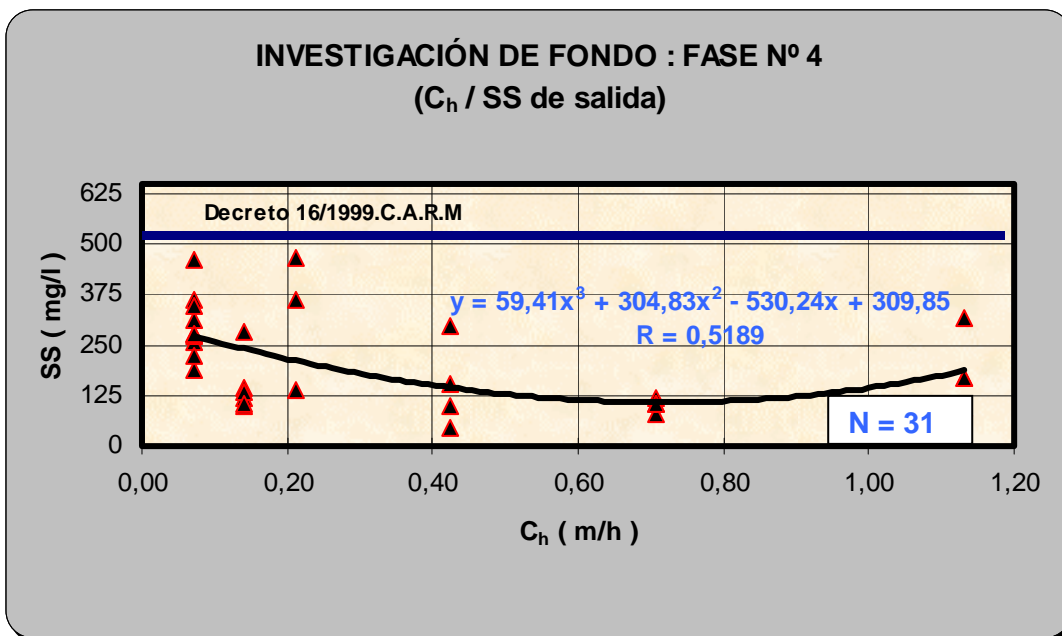


Gráfico 10.53.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

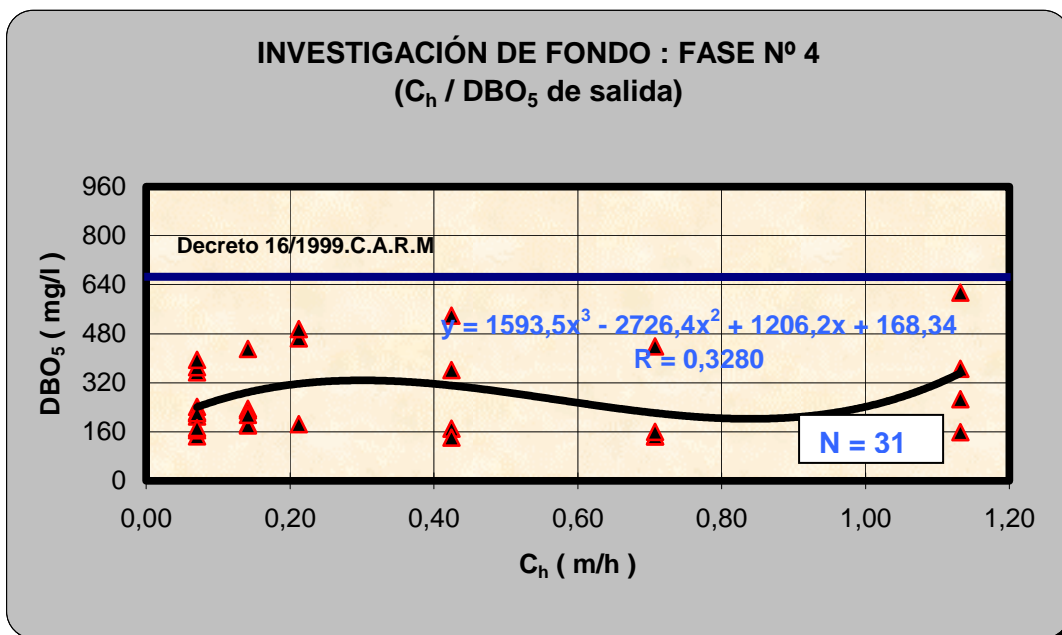


Gráfico 10.54.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

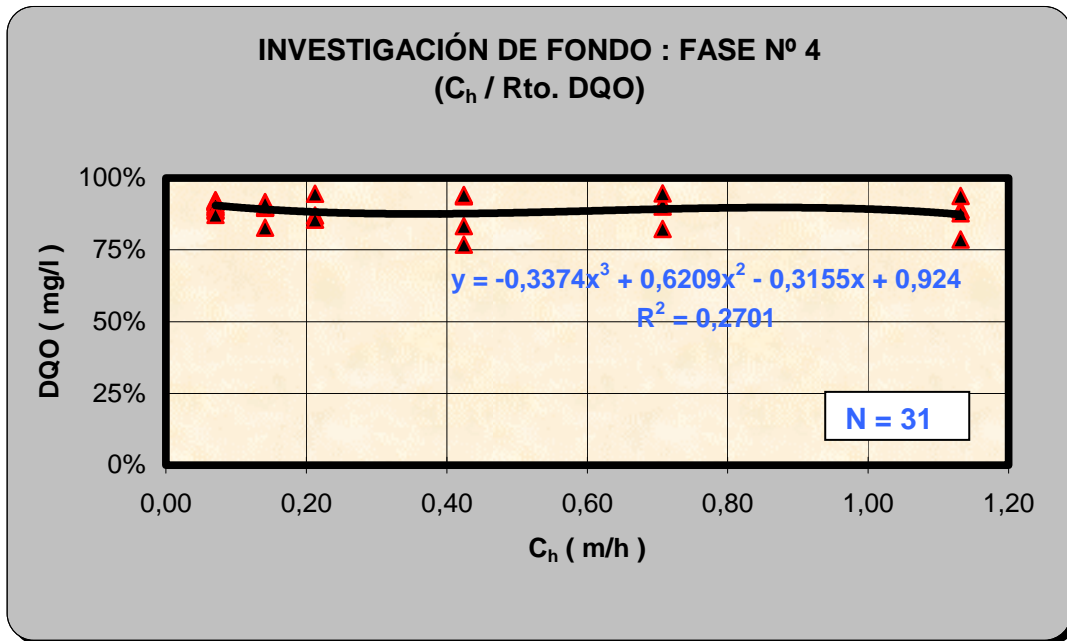


Gráfico 10.55.- Fase n° 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

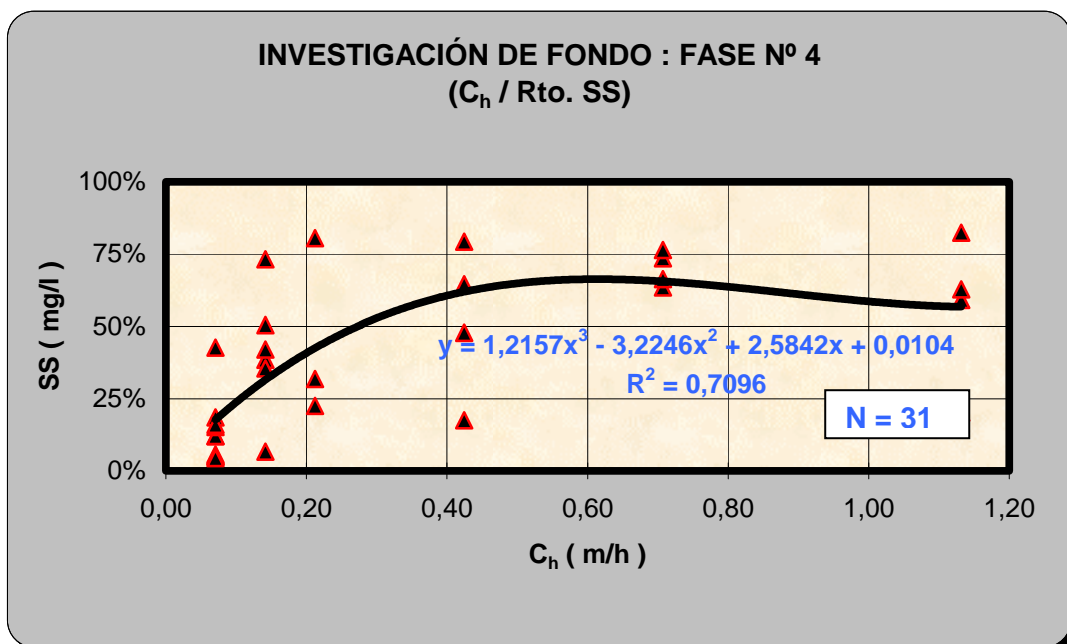


Gráfico 10.56.- Fase n° 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

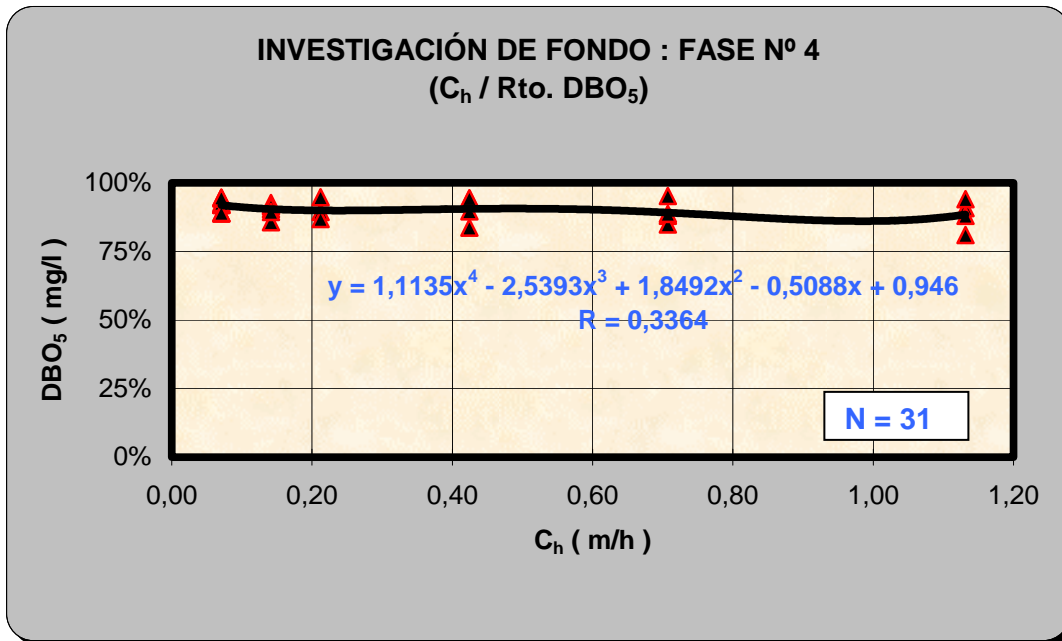


Gráfico 10.57.- Fase n° 4 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

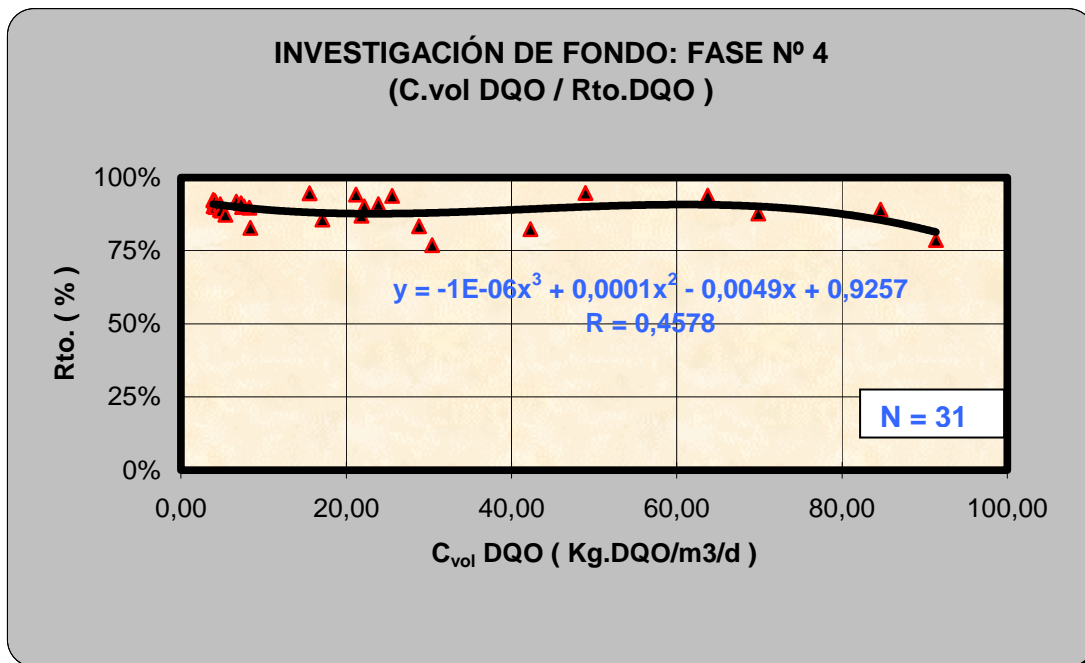


Gráfico 10.58.- Fase n° 4 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

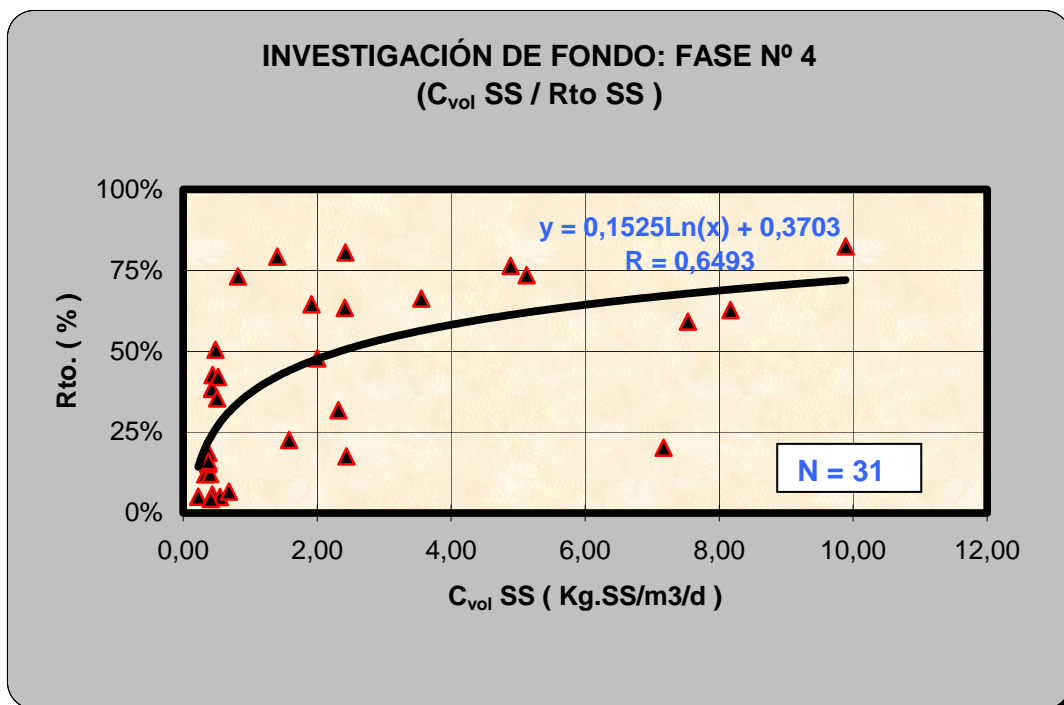


Gráfico 10.59.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

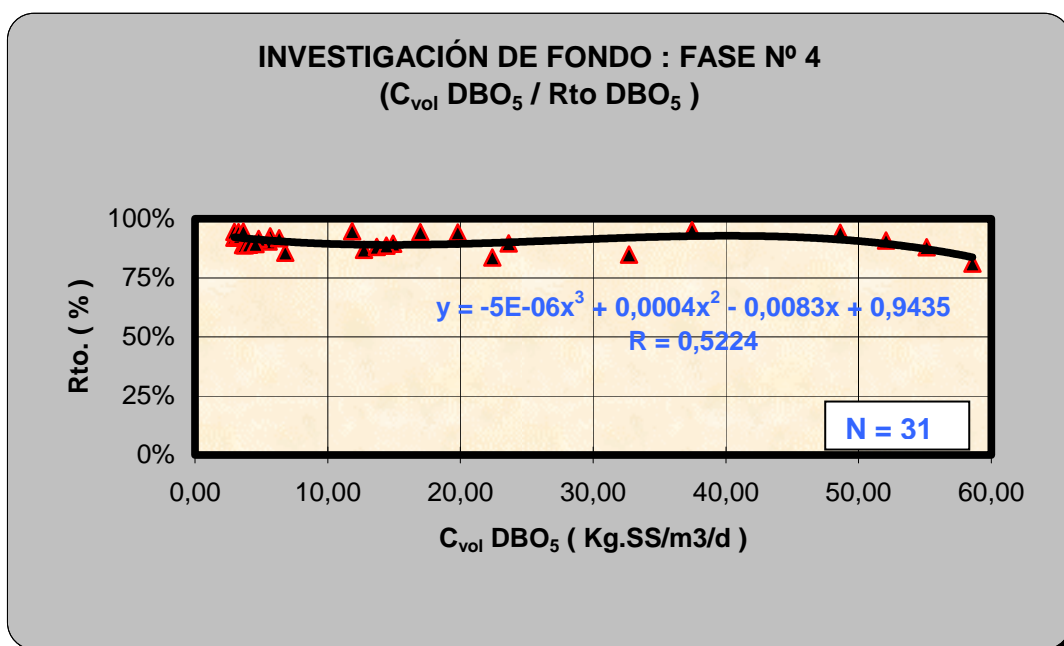


Gráfico 10.60.- Fase nº 4 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.12.- Discusión y resultados de la Fase nº 4

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- La totalidad de las muestras analizadas a la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Igualmente el total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l). El incremento de aporte de oxígeno al sistema se tradujo en una mejoría en los resultados de salida, a la vez que se confirmó un mejor comportamiento del flujo co-corriente con el relleno de arcilla de granulometría 3-7 mm.
- b. SS.- Los resultados se consideran satisfactorios, pues no se superó nunca la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. En el rango de cargas volumétricas de DQO (3,92-91,36), DBO₅ (2,97 – 58,88) y SS (0,22-9,89) ensayadas en los experimentos, todas las muestras analizadas cumplieron las exigencias del Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, en DQO, DBO₅ y SS. Las curvas de

ajuste tampoco intersectaron con las rectas que marcaban dichas exigencias.

10.3.13. – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 5: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O₂/h- 10,47 Nm³/m²/h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.51.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.52.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.61.- Fase nº 5 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.62.- Fase nº 5 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.63.- Fase nº 5 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 10.53.- Fase nº 5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.54.- Fase nº 5 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.55.- Fase nº 5 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.56.- Fase nº 5 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.51.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (μS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	6,79	3.340	3.875	2.565	338		
2	10,47	5	7,04	3.895	4.325	3.160	439		
3	10,47	5	6,38	4.070	4.670	3.565	365		
4	10,47	15	6,53	2.520	3.565	2.500	194		
5	10,47	15	6,61	2.760	5.125	3.775	640	41,12	183,27
6	10,47	15	6,86	3.430	7.125	5.030	696		
7	10,47	15	7,7	4.720	3.300	2.360	900	61,36	295,85
8	10,47	15	6,24	3.710	2.875	1.880	168		
9	10,47	15	8,76	5.460	4.505	3.145	656		
10	10,47	15	7,15	5.470	3.100	1.915	436		
11	10,47	15	6,94	5.175	3.700	2.395	489		
12	10,47	30	6,07	2.640	4.415	3.405	212		
13	10,47	30	6,61	3.050	3.655	2.265	330	41,21	273,45
14	10,47	30	8,29	4.310	3.795	2.345	664		
15	10,47	30	6,21	3.160	5.820	4.175	344		
16	10,47	30	6,11	3.040	6.090	4.215	452		
17	10,47	30	6,77	4.960	4.400	3.375	534		
18	10,47	30	6,84	4.635	4.315	3.265	478		
19	10,47	30	6,98	5.830	4.795	3.345	431	75,37	256,21
20	10,47	50	6,06	7.230	4.070	2.430	452		
21	10,47	50	6,04	4.630	4.525	3.465	575	64,15	196,36
22	10,47	50	9,58	6.340	4.840	3.695	372		
23	10,47	50	6,93	3.580	4.865	3.635	679		
24	10,47	50	6,25	3.950	4.465	3.075	435	63,15	204,75
25	10,47	50	8,65	8.460	4.705	3.295	425		
26	10,47	50	6,12	6.550	4.125	2.515	379		
27	10,47	50	6,77	5.890	4.560	3.395	504		
28	10,47	80	6,23	4.865	4.670	3.210	475		
29	10,47	80	6,78	5.120	3.875	2.755	461		
30	10,47	80	6,21	4.975	4.565	3.155	652		
31	10,47	80	6,11	4.980	5.010	3.610	479	68,36	214,65

Cuadro 10.52.- Fase nº 5 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	8,6	2.850	1.095	675	186		
2	10,47	5	8,32	3.120	980	640	245		
3	10,47	5	7,76	3.370	1.015	635	198		
4	10,47	15	8,41	3.260	930	590	150		
5	10,47	15	7,77	3.280	1.420	965	272	3,9	22,41
6	10,47	15	7,85	3.680	1.650	1.190	294		
7	10,47	15	7,98	3.370	995	645	336	70,2	75,64
8	10,47	15	8,17	4.060	955	620	96		
9	10,47	15	7,99	4.610	1.145	685	320		
10	10,47	15	8,04	4.375	1.075	655	223		
11	10,47	15	8,15	4.120	955	635	242		
12	10,47	30	7,67	2.970	1.870	1.355	184		
13	10,47	30	7,55	3.400	1.495	1.005	198	54,6	56,45
14	10,47	30	8,3	3.290	1.080	645	392		
15	10,47	30	7,17	3.340	1.685	1.190	252		
16	10,47	30	7,15	3.860	1.810	1.310	192		
17	10,47	30	8,12	4.140	1.075	635	210		
18	10,47	30	7,97	4.110	980	610	211		
19	10,47	30	8,16	3.975	1.310	860	189	38,25	69,56
20	10,47	50	8,48	4.060	1.090	645	276		
21	10,47	50	7,55	4.560	1.745	1.245	225		
22	10,47	50	8,76	6.430	1.780	1.285	286		
23	10,47	50	7,38	4.090	1.745	1.245	388		
24	10,47	50	8,12	3.610	1.405	915	396	66,56	39,25
25	10,47	50	8,46	3.820	1.570	1.105	274		
26	10,47	50	8,34	3.875	1.095	645	125		
27	10,47	50	8,29	3.975	1.215	825	215		
28	10,47	80	8,24	4.175	1.095	635	231		
29	10,47	80	8,33	3.980	2.035	1.310	256		
30	10,47	80	8,67	4.235	2.415	1.305	259		
31	10,47	80	8,45	4.565	2.755	1.855	263	43,26	87,24

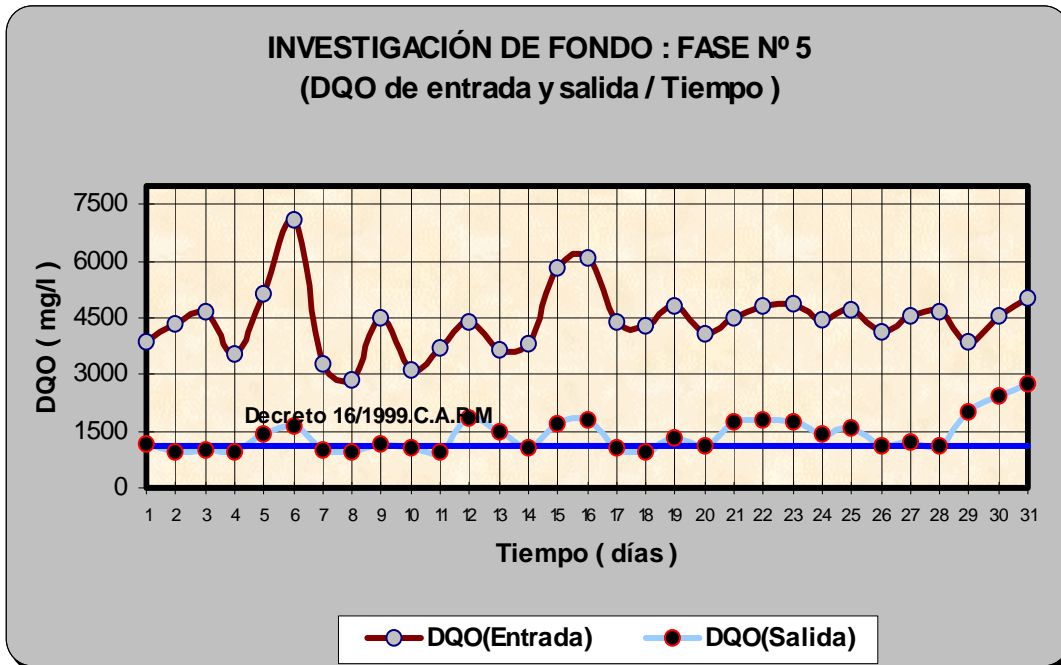


Gráfico 10.61.- Fase n° 5 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

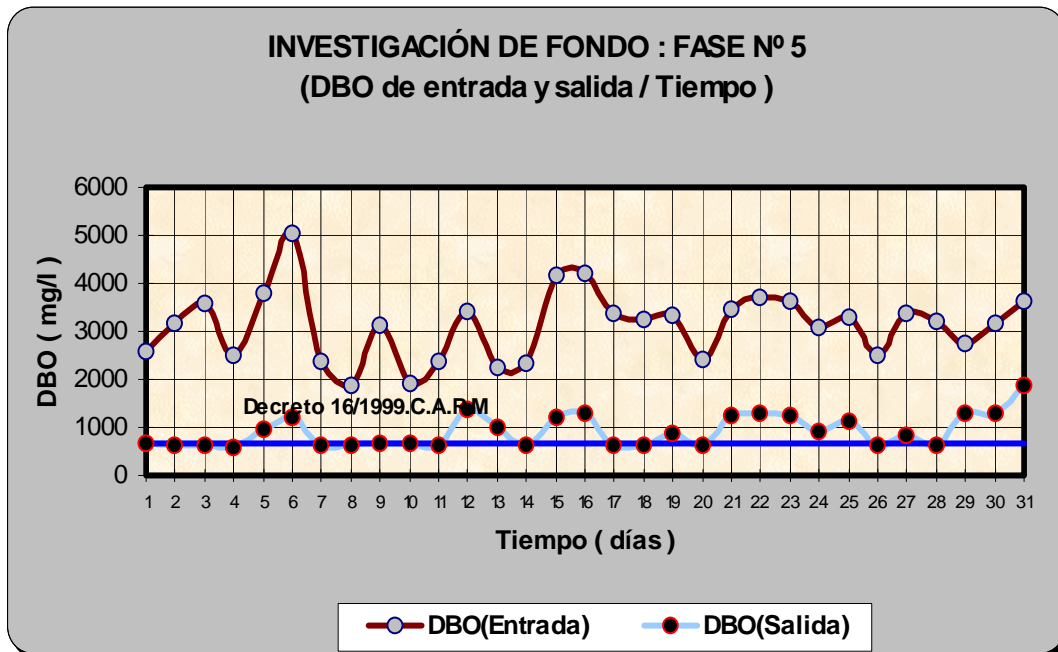


Gráfico 10.62.- Fase n° 5 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

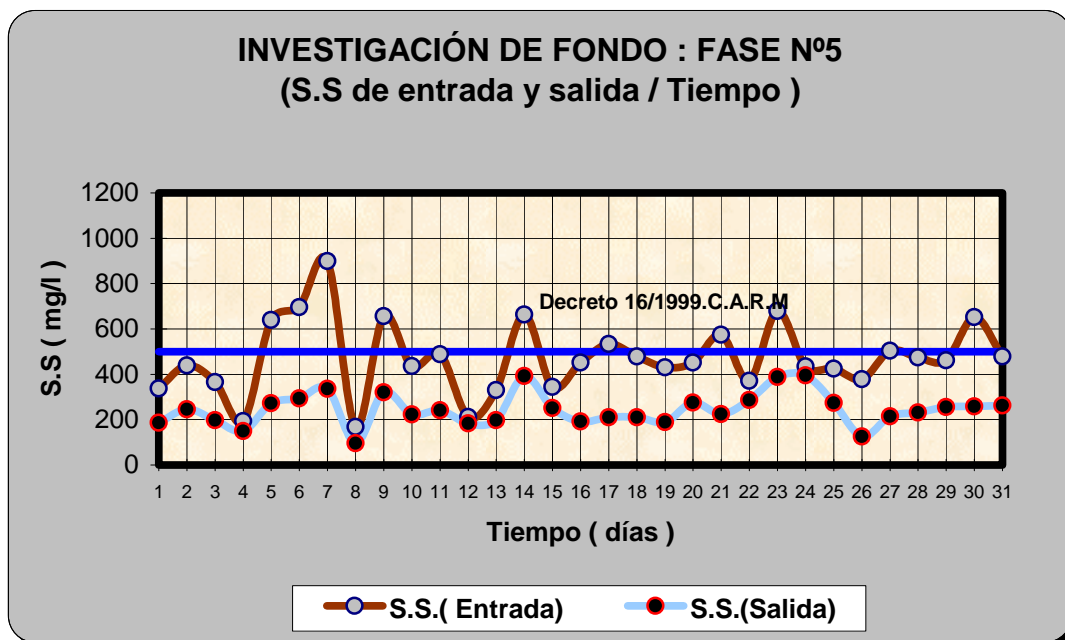


Gráfico 10.63.- Fase nº 5 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.53.- Fase nº 5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	71,74%	73,68%	44,97%
2	77,34%	79,75%	44,19%
3	78,27%	82,19%	45,75%
4	73,91%	76,40%	22,68%
5	72,29%	74,44%	57,50%
6	76,84%	76,34%	57,76%
7	69,85%	72,67%	62,67%
8	66,78%	67,02%	42,86%
9	74,58%	78,22%	51,22%
10	65,32%	65,80%	48,85%
11	74,19%	73,49%	50,51%
12	57,64%	60,21%	13,21%
13	59,10%	55,63%	40,00%
14	71,54%	72,49%	40,96%
15	71,05%	71,50%	26,74%
16	70,28%	68,92%	57,52%
17	75,57%	81,19%	60,67%
18	77,29%	81,32%	55,86%
19	72,68%	74,29%	56,15%
20	73,22%	73,46%	38,94%
21	61,44%	64,07%	60,87%
22	63,22%	65,22%	23,12%
23	64,13%	65,75%	42,86%
24	68,53%	70,24%	8,97%
25	66,63%	66,46%	35,53%
26	73,45%	74,35%	67,02%
27	73,36%	75,70%	57,34%
28	76,55%	80,22%	51,37%
29	47,48%	52,45%	44,47%
30	47,10%	58,64%	60,28%
31	45,01%	48,61%	45,09%

Cuadro 10.54.- Fase nº 5 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0418	2,65
2	0,0418	1,99
3	0,0418	1,71
4	0,0139	0,88
5	0,0139	0,60
6	0,0139	0,44
7	0,0139	0,97
8	0,0139	1,33
9	0,0139	0,68
10	0,0139	1,33
11	0,0139	0,95
12	0,0070	0,41
13	0,0070	0,66
14	0,0070	0,49
15	0,0070	0,28
16	0,0070	0,29
17	0,0070	0,31
18	0,0070	0,31
19	0,0070	0,34
20	0,0042	0,28
21	0,0042	0,23
22	0,0042	0,21
23	0,0042	0,21
24	0,0042	0,23
25	0,0042	0,23
26	0,0042	0,27
27	0,0042	0,20
28	0,0026	0,12
29	0,0026	0,22
30	0,0026	0,17
31	0,0026	0,18

Cuadro 10.55.- Fase nº 5 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	4,39	2,90	0,38	6,58	4,35	0,57
2	0,07	4,89	3,58	0,50	7,34	5,36	0,75
3	0,07	5,29	4,03	0,41	7,93	6,05	0,62
4	0,21	12,10	8,49	0,66	18,16	12,73	0,99
5	0,21	17,40	12,82	2,17	26,10	19,23	3,26
6	0,21	24,19	17,08	2,36	36,29	25,62	3,54
7	0,21	11,20	8,01	3,06	16,81	12,02	4,58
8	0,21	9,76	6,38	0,57	14,64	9,57	0,86
9	0,21	15,30	10,68	2,23	22,94	16,02	3,34
10	0,21	10,53	6,50	1,48	15,79	9,75	2,22
11	0,21	12,56	8,13	1,66	18,84	12,20	2,49
12	0,42	29,98	23,12	1,44	44,97	34,68	2,16
13	0,42	24,82	15,38	2,24	37,23	23,07	3,36
14	0,42	25,77	15,92	4,51	38,66	23,89	6,76
15	0,42	39,52	28,35	2,34	59,28	42,53	3,50
16	0,42	41,35	28,62	3,07	62,03	42,93	4,60
17	0,42	29,88	22,92	3,63	44,82	34,38	5,44
18	0,42	29,30	22,17	3,25	43,95	33,26	4,87
19	0,42	32,56	22,71	2,93	48,84	34,07	4,39
20	0,71	46,06	27,50	5,12	69,09	41,25	7,67
21	0,71	51,21	39,22	6,51	76,82	58,82	9,76
22	0,71	54,78	41,82	4,21	82,17	62,73	6,32
23	0,71	55,06	41,14	7,68	82,59	61,71	11,53
24	0,71	50,53	34,80	4,92	75,80	52,20	7,38
25	0,71	53,25	37,29	4,81	79,87	55,94	7,22
26	0,71	46,69	28,46	4,29	70,03	42,70	6,43
27	0,71	51,61	38,42	5,70	77,41	57,64	8,56
28	1,13	84,57	58,13	8,60	126,85	87,19	12,90
29	1,13	70,17	49,89	8,35	105,25	74,83	12,52
30	1,13	82,66	57,13	11,81	124,00	85,70	17,71
31	1,13	90,72	65,37	8,67	136,08	98,06	13,01

Cuadro 10.56.- Fase nº 5 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	38,71
DQO de salida	41,94
SS de salida	100,00

10.3.14.- Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 5.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.57.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.58.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.59.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.60.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.61.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.62.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.57.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,0	2.520	2.875	1.880	168
<i>Máximo</i>	80	9,6	8.460	7.125	5.030	900
<i>Rango o Amplitud</i>	75	3,5	5.940	4.250	3.150	732
<i>Media Aritmética</i>	35	6,9	4.605	4.443	3.126	473
<i>Desviación media</i>	19,1051	0,6089	1.097,4506	596,8470	549,3861	116,3267
<i>Varianza</i>	516,02	0,75	190.1891,83	71.3236,84	482.933,82	24.318,21
<i>Desviación típica</i>	22,7162	0,8652	1.379,0909	844,5335	694,9344	155,9430
<i>Coefficiente de Variación</i>	64,31	12,61	29,95	19,01	22,23	32,99

Cuadro 10.58.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	4,39	2,90	0,38
<i>Máximo</i>	1,13	90,72	65,37	11,81
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	86,34	62,47	11,42
<i>Media Aritmética</i>	0,50	36,07	25,39	3,86
<i>Desviación media</i>	0,2703	20,2087	14,2410	2,2613
<i>Varianza</i>	0,1033	577,7878	294,3056	7,9454
<i>Desviación típica</i>	0,3214	24,0372	17,1553	2,8188
<i>Coefficiente de Variación</i>	64,31	66,64	67,58	73,09

Cuadro 10.59.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	6,58	4,35	0,57
<i>Máximo</i>	136,08	98,06	17,71
<i>Rango o Amplitud</i>	129,51	93,70	17,14
<i>Media Aritmética</i>	54,10	38,08	5,78
<i>Desviación media</i>	30,3130	21,3616	3,3919
<i>Varianza</i>	1.300,0225	662,1876	17,8771
<i>Desviación típica</i>	36,0558	25,7330	4,2281
<i>Coefficiente de Variación</i>	66,64	67,58	73,09

Cuadro 10.60.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	7,2	2.850,0	930,0	590,0	96,0
<i>Máximo</i>	8,8	6.430,0	2.755,0	1.855,0	396,0
<i>Rango o Amplitud</i>	1,6	3.580,0	1.825,0	1.265,0	300,0
<i>Media Aritmética</i>	8,1	3.888,9	1.402,1	921,3	244,6
<i>Desviación media</i>	0,3286	466,9719	371,0094	283,1113	54,1498
<i>Varianza</i>	0,17	434.062,43	203.259,31	104.790,27	4.955,65
<i>Desviación típica</i>	0,4077	658,8341	450,8429	323,7133	70,3964
<i>Coefficiente de Variación</i>	5,05	16,94	32,15	35,14	28,77

Cuadro 10.61.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	45,01	48,61	8,97
<i>Máximo</i>	78,27	82,19	67,02
<i>Rango o Amplitud</i>	33,26	33,57	58,05
<i>Media Aritmética</i>	68,27	70,35	45,67
<i>Desviación media</i>	6,91	6,80	11,00
<i>Varianza</i>	0,79	0,71	2,03
<i>Desviación típica</i>	8,87	8,43	14,26
<i>Coefficiente de Variación</i>	12,99	11,98	31,23

Cuadro 10.62.- Fase nº 5 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO ₅ ,eliminado
<i>Mínimo</i>	0,003	0,12
<i>Máximo</i>	0,04	2,65
<i>Rango o Amplitud</i>	0,04	2,53
<i>Media Aritmética</i>	0,01	0,62
<i>Desviación media</i>	0,0076	0,4502
<i>Varianza</i>	0,0001	0,3591
<i>Desviación típica</i>	0,0109	0,5992
<i>Coefficiente de Variación</i>	100,62	97,03

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.64.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.65.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.66.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.67.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.68.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.69.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.70.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.71.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.72.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.73.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.74.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.75.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

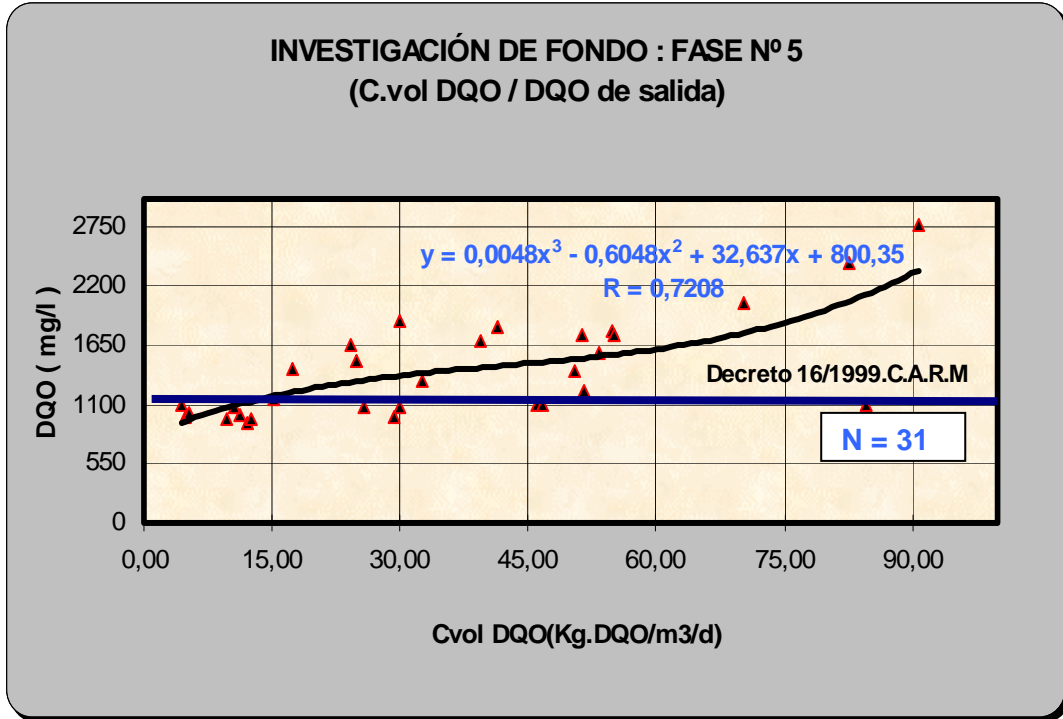


Gráfico 10.64.- Fase nº 5 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

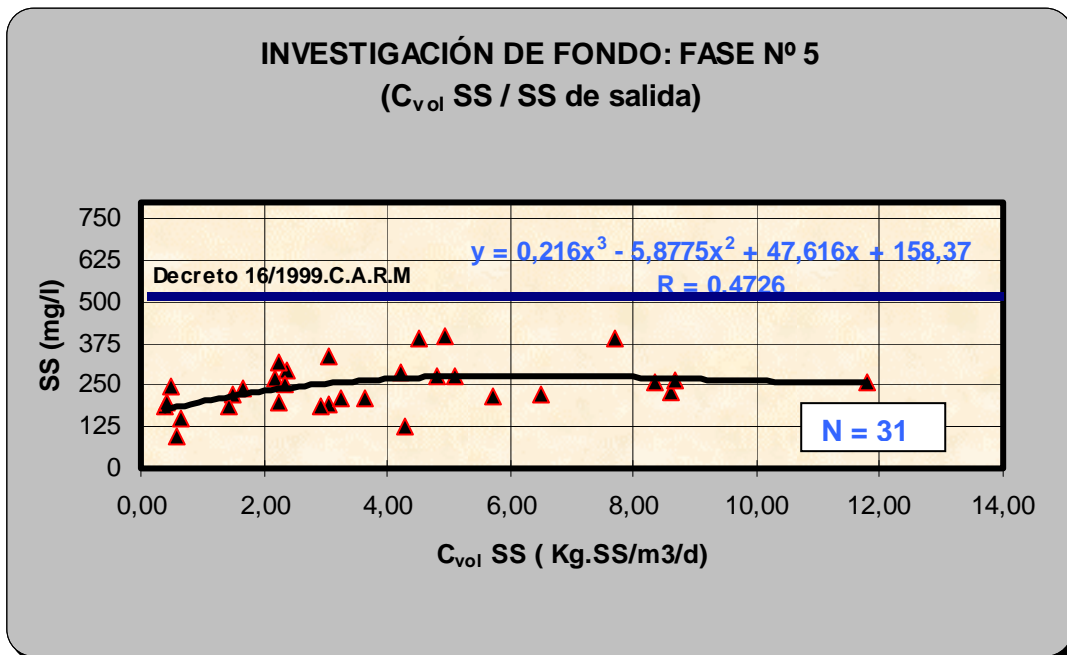


Gráfico 10.65.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

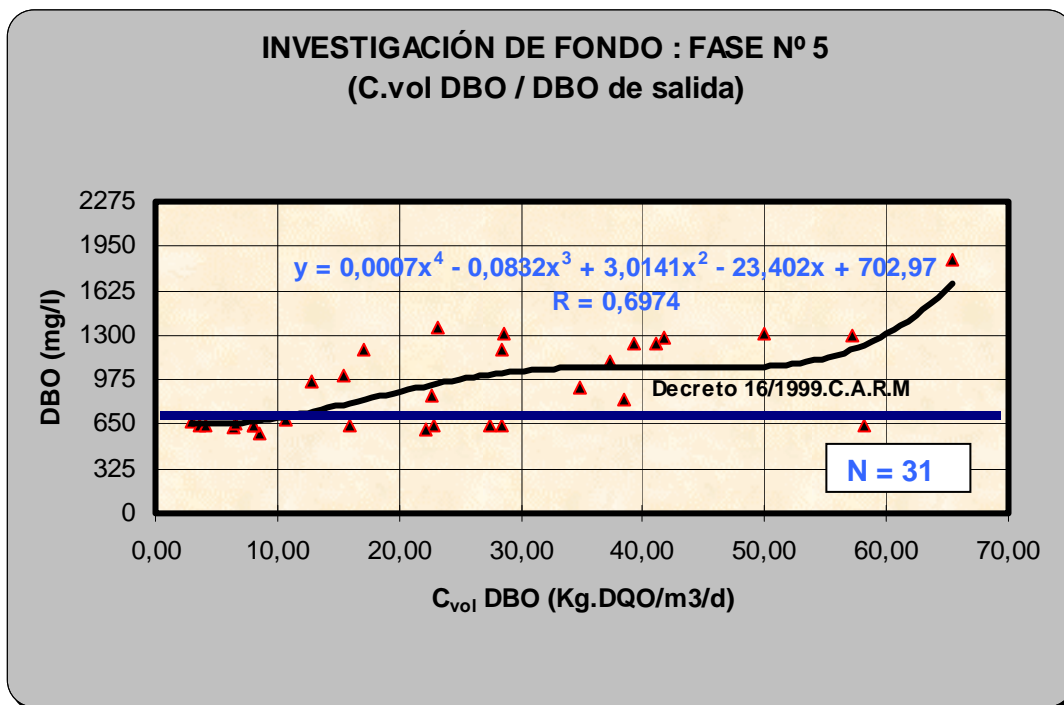


Gráfico 10.66.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

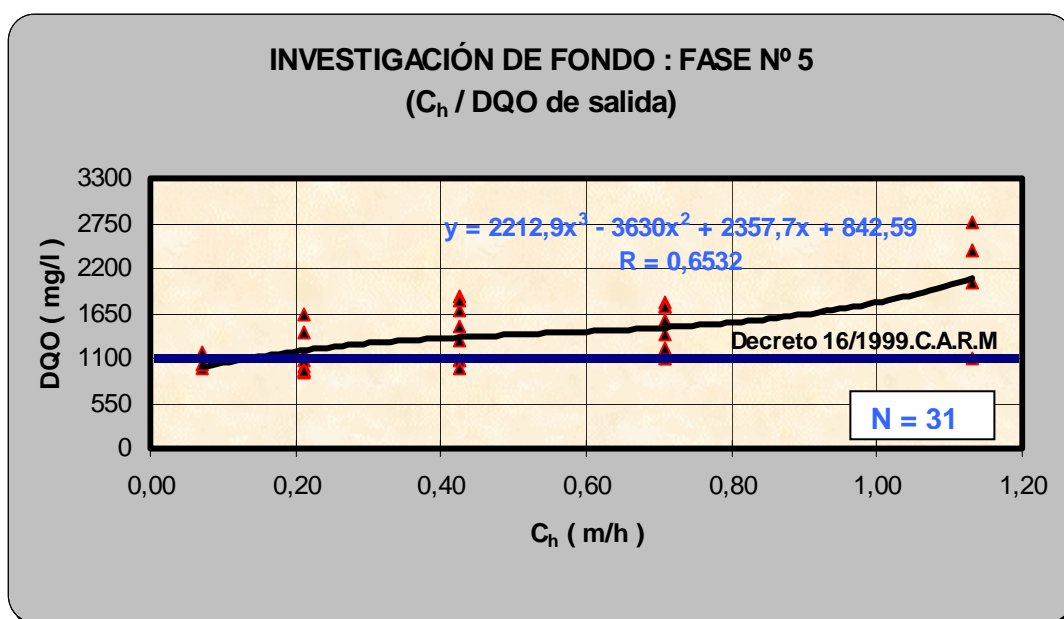


Gráfico 10.67.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

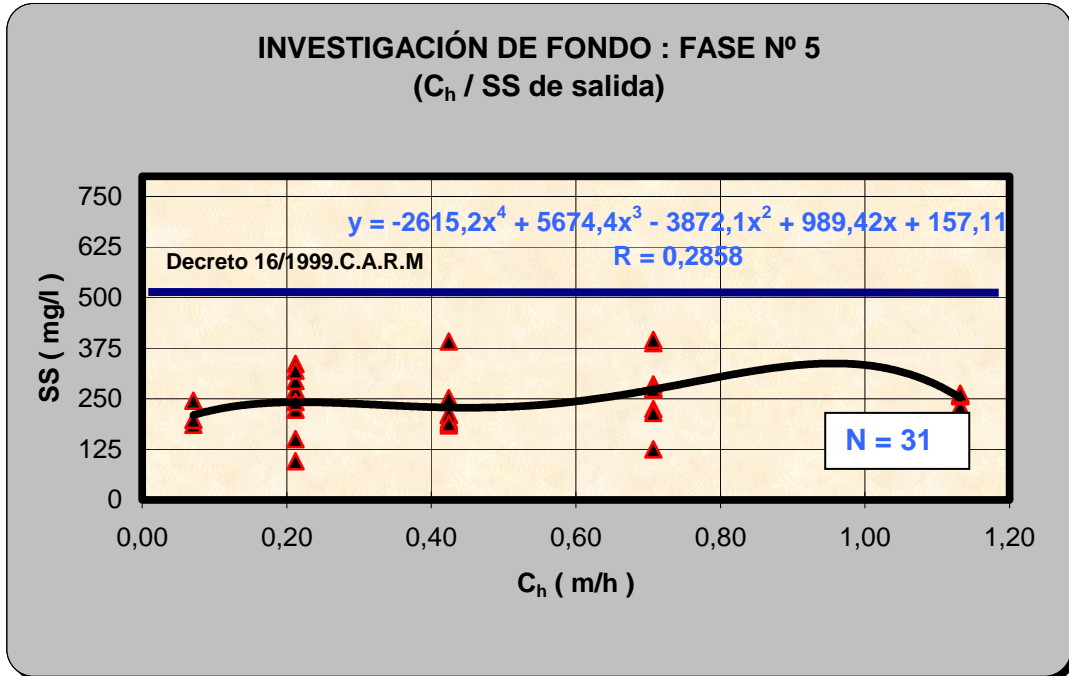


Gráfico 10.68.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

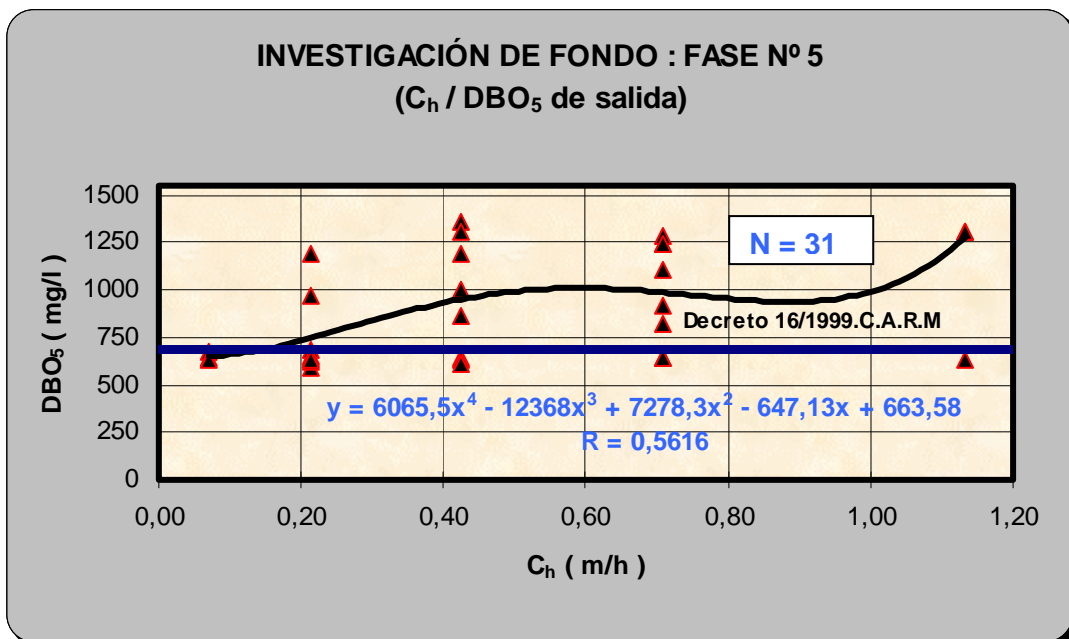


Gráfico 10.69.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

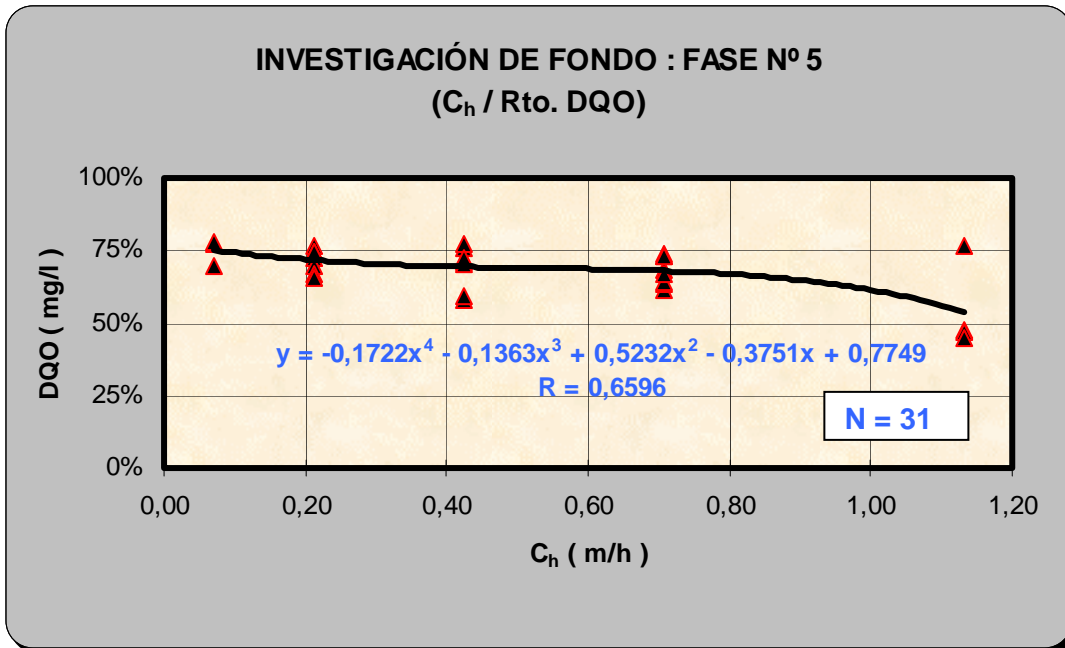


Gráfico 10.70.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

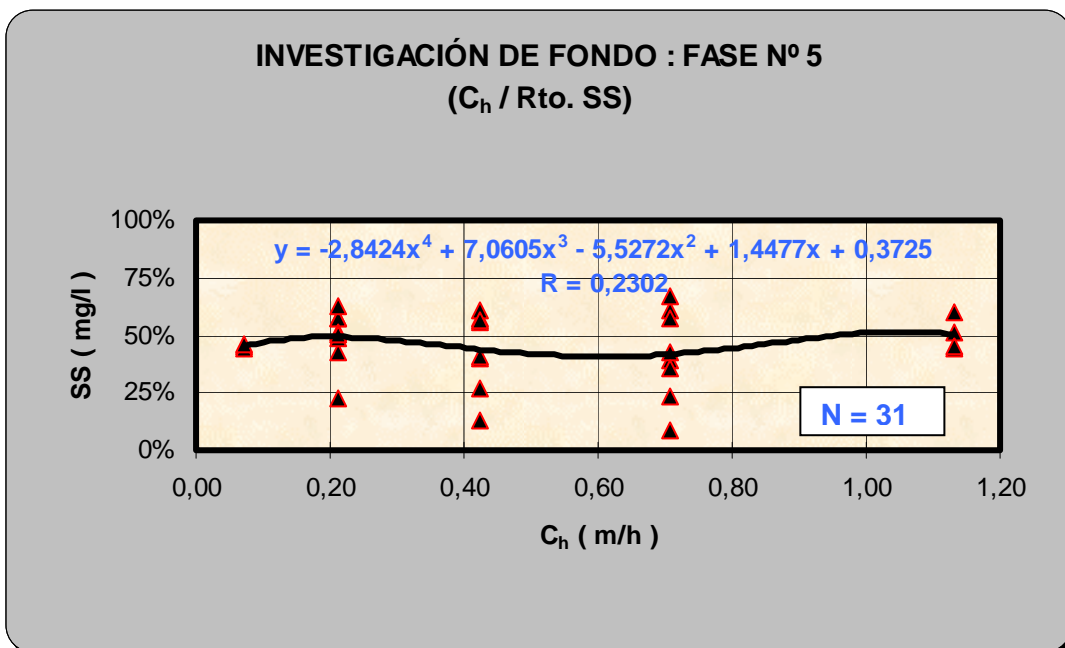


Gráfico 10.71.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

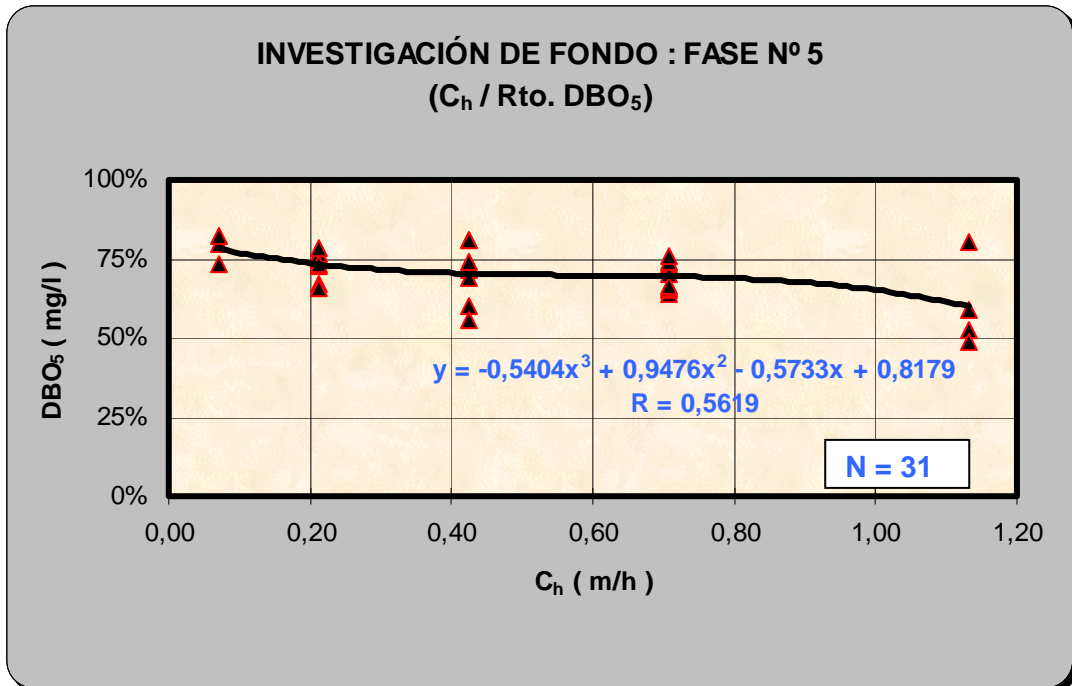


Gráfico 10.72.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

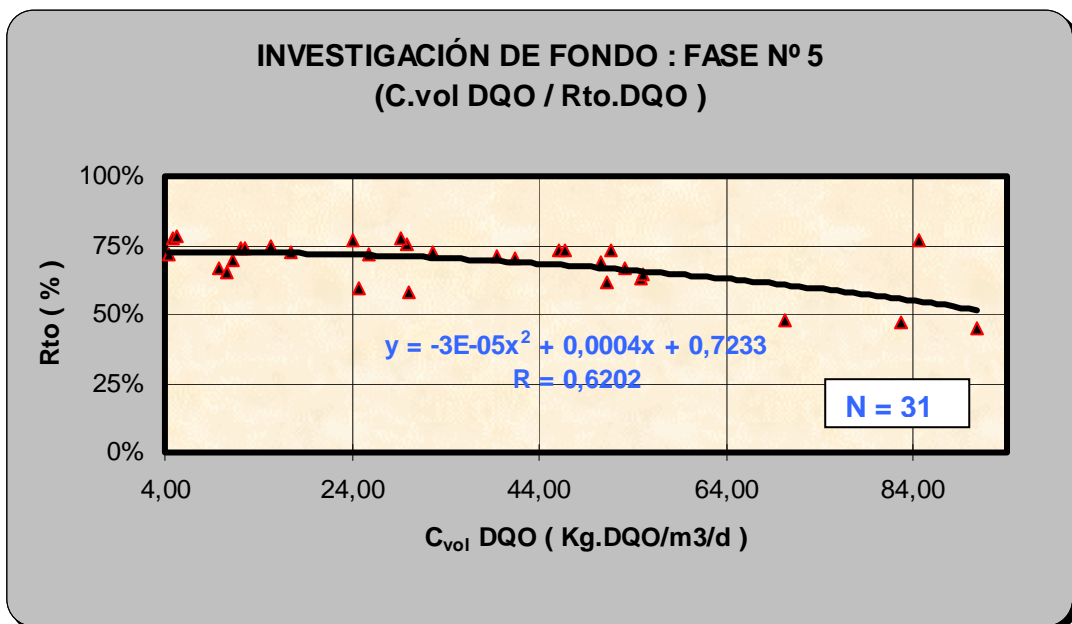


Gráfico 10.73.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

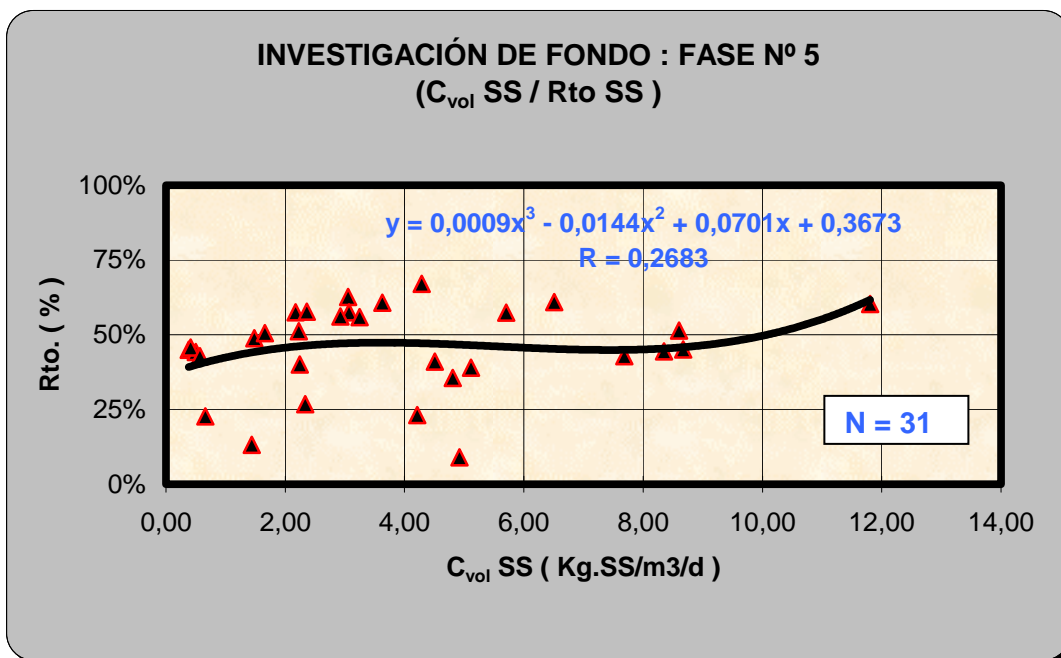


Gráfico 10.74.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

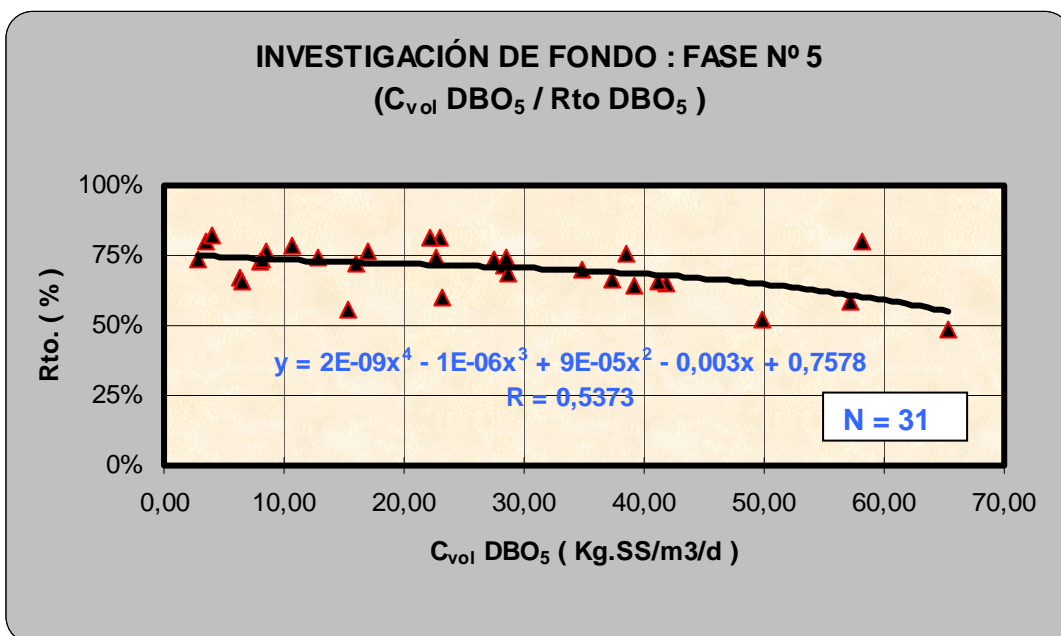


Gráfico 10.75.- Fase nº 5 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.15.- Discusión y resultados de la Fase nº 5

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Un 38,71% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Un 41,94% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l). Con la configuración de flujo contracorriente usada en esta fase y el cambio a un relleno del lecho de menor granulometría se produjo un empeoramiento en los resultados de salida.
- b. SS.- Los resultados obtenidos no alcanzaron nunca la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO, de salida (Graf.10.64), los resultados se ajustaron a una función polinómica ($y = 0,0048x^3 - 0,6048 x^2 + 32,637x + 800,35$), con un factor de correlación de $r = 0,7208$. Se obtiene una $C_{vol \cdot max} DQO = 10 \text{ Kg DQO/m}^3/\text{d}$, obtenida en base al nivel de salida máximo permitido, para

obtener una DQO < 1100 mg/l. Por otra parte en lo que respecta a la C_h , la DQO de salida (Graf. 10.67), presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 2212,2x^3 - 3630 x^2 + 2357,7x + 842,59$), con un factor de correlación de $r = 0,6532$. Se obtiene una $C_{h, \max} = 0,185$, (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de $DQO < 1100$ mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{\text{entrada}} = 3380$ mg/l. Por tanto si se tiene una $DQO_{\text{entrada}} > 3380$ mg/l (como cabe esperar mayoritariamente), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la $DQO_{\text{entrada max}}$ y reducir la carga hidráulica.

- b. SS.-Los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1.999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf. 10.65), se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 0,216x^3 - 5,8775 x^2 + 47,616x + 158,37$), con un factor de correlación de $r = 0,4726$. Dichos resultados de salida se mantuvieron bastante estables para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,38-11,81).
- c. También queda de manifiesto que la eliminación de DQO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño. El funcionamiento, en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida óptimos en general.

10.3.16 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 6: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O₂/h-24,44 Nm³/m²/h de aire, flujo contracorriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.63.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.64.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.76.- Fase nº 6 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.77.- Fase nº 6 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.78.- Fase nº 6 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo)

Cuadro 10.65.- Fase nº 6 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.66.- Fase nº 6 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.67.- Fase nº 6 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.68.- Fase nº 6 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.63.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	6,36	3.210	4.875	2.735	432		
2	24,44	5	6,89	3.370	4.560	2.645	534		
3	24,44	5	7,21	3.680	3.990	2.840	487		
4	24,44	15	6,11	3.010	5.030	2.600	556		
5	24,44	15	6,62	2.970	3.115	2.190	496	59,15	178,96
6	24,44	15	6,13	3.015	3.315	2.070	388		
7	24,44	15	8,19	5.860	2.690	1.675	384		
8	24,44	15	6,52	3.470	5.245	3.175	336		
9	24,44	15	6,5	2.990	5.415	3.700	308		
10	24,44	15	6,51	3.060	5.625	3.810	472	38,85	184,04
11	24,44	30	6,36	3.860	5.070	3.435	398		
12	24,44	30	6,7	2.650	5.020	2.950	272		
13	24,44	30	7,74	4.080	3.375	2.110	588	68,95	238,15
14	24,44	30	6,88	3.260	5.050	2.975	575		
15	24,44	30	6,56	3.100	4.630	2.790	476		
16	24,44	30	6,35	3.210	4.870	3.025	456		
17	24,44	30	8,97	6.600	4.655	2.985	585	84,17	255,75
18	24,44	30	6,94	3.990	5.130	3.005	475		
19	24,44	30	6,62	3.940	4.535	2.620	132	77,74	140,07
20	24,44	30	6,24	4.140	4.560	2.645	236		
21	24,44	50	9,04	7.650	3.410	1.690	900		
22	24,44	50	7,64	6.790	4.625	2.890	556		
23	24,44	50	6,85	4.030	4.605	2.775	612	116,22	159,68
24	24,44	50	7,34	4.320	3.545	2.220	720		
25	24,44	50	8,76	6.340	3.435	2.075	660	59,75	146,27
26	24,44	50	7,15	5.350	4.535	2.655	545		
27	24,44	50	6,9	4.565	3.755	2.475	470		
28	24,44	80	6,01	4.370	4.680	2.660	445		
29	24,44	80	6,15	4.860	4.315	2.510	425		
30	24,44	80	6,64	3.890	4.110	2.365	525		
31	24,44	80	6,98	5.010	4.650	2.960	385		

Cuadro 10.64.- Fase nº 6 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (μS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	7,61	4.560	1.075	715	255		
2	24,44	5	8,06	4.310	1.005	620	312		
3	24,44	5	8,34	4.675	980	625	266		
4	24,44	15	6,61	4.690	1.055	795	345		
5	24,44	15	8,35	3.820	985	600	180	15,36	36,28
6	24,44	15	8,1	4.010	550	420	200		
7	24,44	15	8,5	4.050	700	395	248		
8	24,44	15	7,27	5.060	1.075	590	224		
9	24,44	15	7,52	3.670	975	585	236		
10	24,44	15	8,08	3.140	785	435	296	29,12	41,63
11	24,44	30	7,84	2.630	1.9.95	1.355	240	6,63	33,62
12	24,44	30	7,64	2.880	1.770	1.050	48		
13	24,44	30	7,79	3.210	1.245	780	298	18,35	45,12
14	24,44	30	8,46	3.320	980	650	228		
15	24,44	30	8,29	3.400	1.495	805	336		
16	24,44	30	8,5	3.630	1.630	1.000	236		
17	24,44	30	7,63	5.280	1.280	1.075	292	27,35	46,28
18	24,44	30	7,53	4.290	1.980	1.275	80		
19	24,44	30	7,55	4.510	2.065	1.340	120	28,68	44,36
20	24,44	30	8,01	4.735	1.635	1.015	177		
21	24,44	50	8,65	5.190	1.435	740	388		
22	24,44	50	9,01	7.770	1.642	1.010	364		
23	24,44	50	7,52	3.830	1.030	640	368	33,86	58,86
24	24,44	50	8,03	3.970	1.170	630	460		
25	24,44	50	8,38	4.260	1.060	555	444	23,65	48,65
26	24,44	50	8,75	4.155	1.355	735	375		
27	24,44	50	8,16	4.325	1.075	630	315		
28	24,44	80	8,26	4.395	1.250	670	325		
29	24,44	80	8,46	4.650	1.560	810	285		
30	24,44	80	8,21	4.870	1.230	755	255		
31	24,44	80	8,88	4.430	1.835	1.255	305		

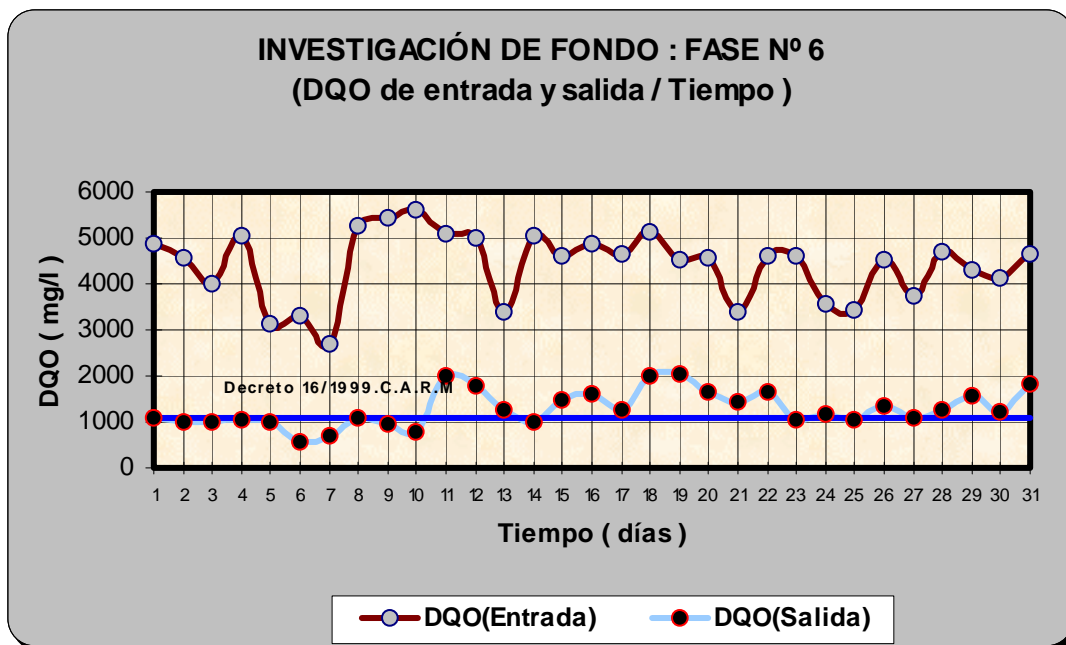


Gráfico 10.76.- Fase nº 6 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

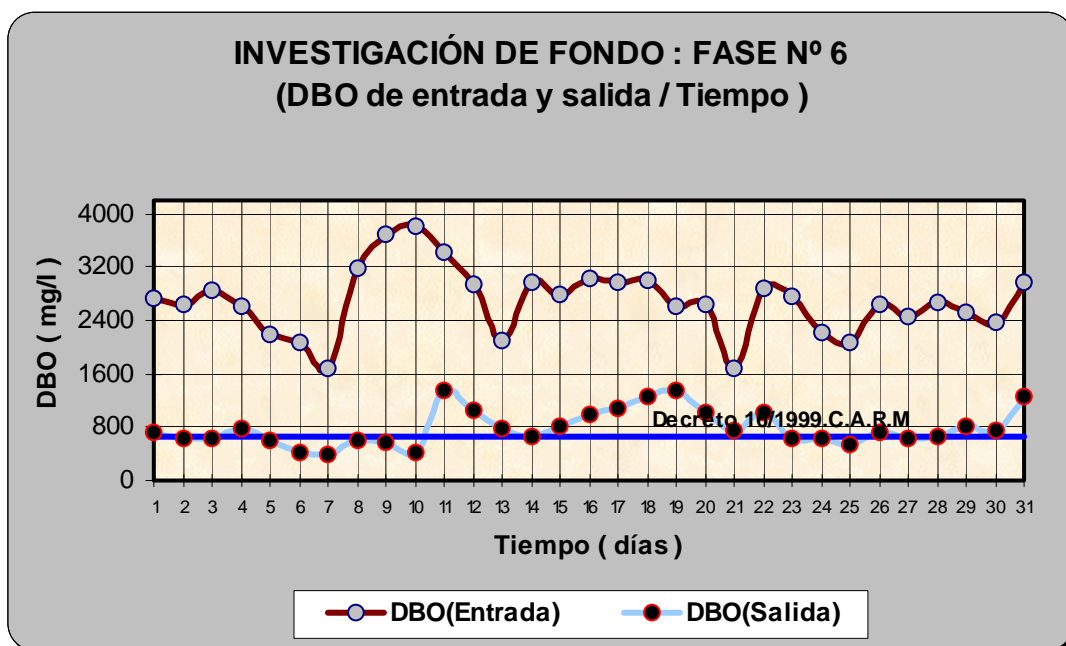


Gráfico 10.77.- Fase nº 6 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

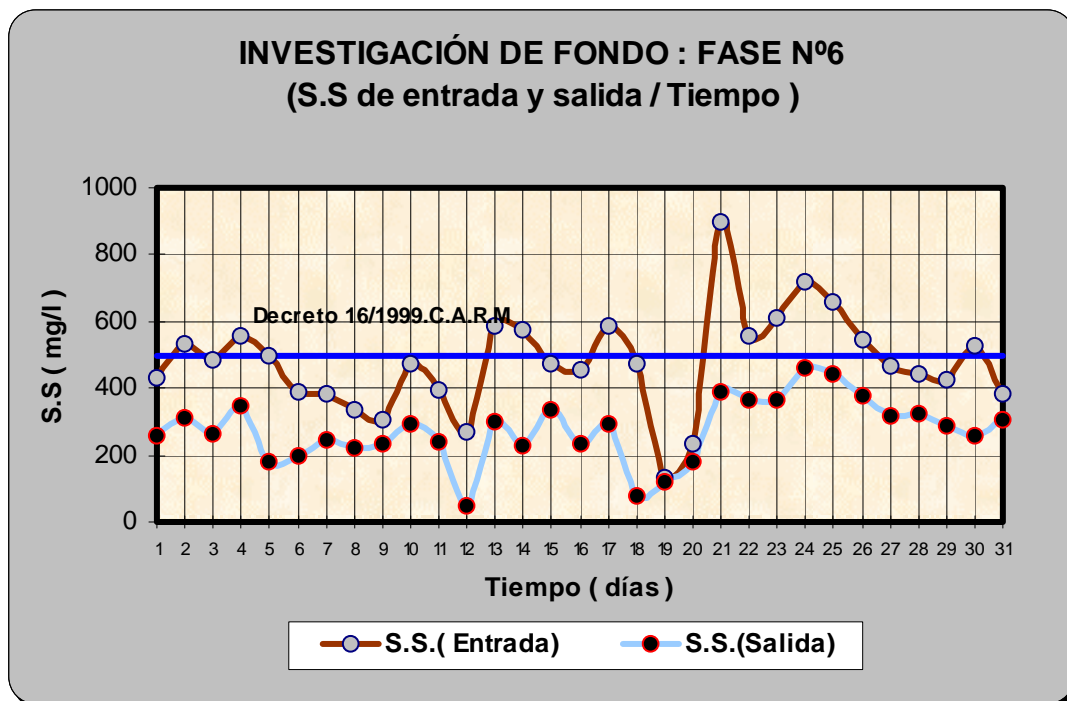


Gráfico 10.78.- Fase n° 6 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.65.- Fase nº 6 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	77,95%	73,86%	40,97%
2	77,96%	76,56%	41,57%
3	75,44%	77,99%	45,38%
4	79,03%	69,42%	37,95%
5	68,38%	72,60%	63,71%
6	83,41%	79,71%	48,45%
7	73,98%	76,42%	35,42%
8	79,50%	81,42%	33,33%
9	81,99%	84,19%	23,38%
10	86,04%	88,58%	37,29%
11	60,65%	60,55%	39,70%
12	64,74%	64,41%	82,35%
13	63,11%	63,03%	49,32%
14	80,59%	78,15%	60,35%
15	67,71%	71,15%	29,41%
16	66,53%	66,94%	48,25%
17	72,50%	63,99%	50,09%
18	61,40%	57,57%	83,16%
19	54,47%	48,85%	9,09%
20	64,14%	61,63%	25,00%
21	57,92%	56,21%	56,89%
22	64,50%	65,05%	34,53%
23	77,63%	76,94%	39,87%
24	67,00%	71,62%	36,11%
25	69,14%	73,25%	32,73%
26	70,12%	72,32%	31,19%
27	71,37%	74,55%	32,98%
28	73,29%	74,81%	26,97%
29	63,85%	67,73%	32,94%
30	70,07%	68,08%	51,43%
31	60,54%	57,60%	20,78%

Cuadro 10.66.- Fase nº 6 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0976	5,80
2	0,0976	5,78
3	0,0976	5,29
4	0,0325	2,16
5	0,0325	2,46
6	0,0325	2,37
7	0,0325	3,05
8	0,0325	1,51
9	0,0325	1,25
10	0,0325	1,16
11	0,0163	0,94
12	0,0163	1,03
13	0,0163	1,47
14	0,0163	0,84
15	0,0163	0,98
16	0,0163	0,96
17	0,0163	1,02
18	0,0163	1,13
19	0,0163	1,53
20	0,0163	1,20
21	0,0098	1,23
22	0,0098	0,62
23	0,0098	0,55
24	0,0098	0,74
25	0,0098	0,77
26	0,0098	0,61
27	0,0098	0,63
28	0,0061	0,37
29	0,0061	0,43
30	0,0061	0,45
31	0,0061	0,43

Cuadro 10.67.- Fase nº 6 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	5,52	3,10	0,49	8,28	4,64	0,73
2	0,07	5,16	2,99	0,60	7,74	4,49	0,91
3	0,07	4,52	3,21	0,55	6,77	4,82	0,83
4	0,21	17,08	8,83	1,89	25,62	13,24	2,83
5	0,21	10,58	7,44	1,68	15,86	11,15	2,53
6	0,21	11,26	7,03	1,32	16,88	10,54	1,98
7	0,21	9,13	5,69	1,30	13,70	8,53	1,96
8	0,21	17,81	10,78	1,14	26,71	16,17	1,71
9	0,21	18,39	12,56	1,05	27,58	18,84	1,57
10	0,21	19,10	12,94	1,60	28,65	19,40	2,40
11	0,42	34,43	23,33	2,70	51,64	34,99	4,05
12	0,42	34,09	20,03	1,85	51,13	30,05	2,77
13	0,42	22,92	14,33	3,99	34,38	21,49	5,99
14	0,42	34,29	20,20	3,90	51,44	30,30	5,86
15	0,42	31,44	18,95	3,23	47,16	28,42	4,85
16	0,42	33,07	20,54	3,10	49,61	30,81	4,64
17	0,42	31,61	20,27	3,97	47,42	30,40	5,96
18	0,42	34,84	20,41	3,23	52,25	30,61	4,84
19	0,42	30,80	17,79	0,90	46,19	26,69	1,34
20	0,42	30,97	17,96	1,60	46,45	26,94	2,40
21	0,71	38,59	19,13	10,19	57,89	28,69	15,28
22	0,71	52,34	32,71	6,29	78,52	49,06	9,44
23	0,71	52,12	31,41	6,93	78,18	47,11	10,39
24	0,71	40,12	25,13	8,15	60,18	37,69	12,22
25	0,71	38,88	23,48	7,47	58,31	35,23	11,20
26	0,71	51,33	30,05	6,17	76,99	45,07	9,25
27	0,71	42,50	28,01	5,32	63,75	42,02	7,98
28	1,13	84,75	48,17	8,06	127,12	72,25	12,09
29	1,13	78,14	45,45	7,70	117,21	68,18	11,54
30	1,13	74,43	42,83	9,51	111,64	64,24	14,26
31	1,13	84,20	53,60	6,97	126,31	80,40	10,46

Cuadro 10.68.- Fase nº 6 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	41,94
DQO de salida	45,16
SS de salida	100,00

10.3.17.- Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 6.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.69.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.70.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.71.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.72.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.73.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.74.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.69.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,0	2.650	2.690	1.675	132
<i>Máximo</i>	80	9,0	7.650	5.625	3.810	900
<i>Rango o Amplitud</i>	75	3,0	5.000	2.935	2.135	768
<i>Media Aritmética</i>	35	7,0	4.214	4401	2.686	478
<i>Desviación media</i>	18,2726	0,6057	990,8949	603,3611	371,9563	105,9376
<i>Varianza</i>	497,55	0,65	1.603.419,51	530.228,62	240.957,65	21.015,00
<i>Desviación típica</i>	22,3059	0,8074	1.266,2620	728,1680	490,8744	144,9655
<i>Coefficiente de Variación</i>	63,44	11,60	30,05	16,55	18,28	30,31

Cuadro 10.70.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	4,52	2,99	0,49
<i>Máximo</i>	1,13	84,75	53,60	10,19
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	80,23	50,61	9,70
<i>Media Aritmética</i>	0,50	34,66	20,91	3,96
<i>Desviación media</i>	0,2585	16,5382	9,9423	2,5286
<i>Varianza</i>	0,0996	488,7557	171,5496	8,4977
<i>Desviación típica</i>	0,3156	22,1078	13,0977	2,9151
<i>Coefficiente de Variación</i>	63,44	63,79	62,63	73,56

Cuadro 10.71.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	6,77	4,49	0,73
<i>Máximo</i>	127,12	80,40	15,28
<i>Rango o Amplitud</i>	120,35	75,91	14,55
<i>Media Aritmética</i>	51,99	31,37	5,94
<i>Desviación media</i>	24,8073	14,9135	3,7930
<i>Varianza</i>	1.099,7002	385,9865	19,1197
<i>Desviación típica</i>	33,1617	19,6465	4,3726
<i>Coefficiente de Variación</i>	63,79	62,63	73,56

Cuadro 10.72.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	6,6	2.630,0	550,0	395,0	48,0
<i>Máximo</i>	9,0	7.770,0	2.065,0	1.355,0	460,0
<i>Rango o Amplitud</i>	2,4	5.140,0	1.515,0	960,0	412,0
<i>Media Aritmética</i>	8,0	4.248,9	1.287,2	792,1	274,2
<i>Desviación media</i>	0,3992	630,2706	319,4235	211,6025	72,2830
<i>Varianza</i>	0,25	840.076,95	146.843,68	68.846,41	8.612,11
<i>Desviación típica</i>	0,5017	916,5571	383,2019	262,3860	92,8015
<i>Coefficiente de Variación</i>	6,24	21,57	29,77	33,13	33,84

Cuadro 10.73.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	54,47	48,85	9,09
<i>Máximo</i>	86,04	88,58	83,16
<i>Rango o Amplitud</i>	31,58	39,73	74,07
<i>Media Aritmética</i>	70,48	70,17	41,31
<i>Desviación media</i>	6,7057	7,1789	11,9507
<i>Varianza</i>	0,63	0,77	2,52
<i>Desviación típica</i>	7,9362	8,7662	15,8781
<i>Coefficiente de Variación</i>	11,26	12,49	38,44

Cuadro 10.74.- Fase nº 6 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,01	0,37
<i>Máximo</i>	0,10	5,80
<i>Rango o Amplitud</i>	0,09	5,43
<i>Media Aritmética</i>	0,03	1,57
<i>Desviación media</i>	0,0174	1,0254
<i>Varianza</i>	0,0006	2,1530
<i>Desviación típica</i>	0,0254	1,4673
<i>Coefficiente de Variación</i>	101,55	93,29

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.79.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.80.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.81.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.82.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.83.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.84.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.85.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.86.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.87.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.88.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.89.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.90.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

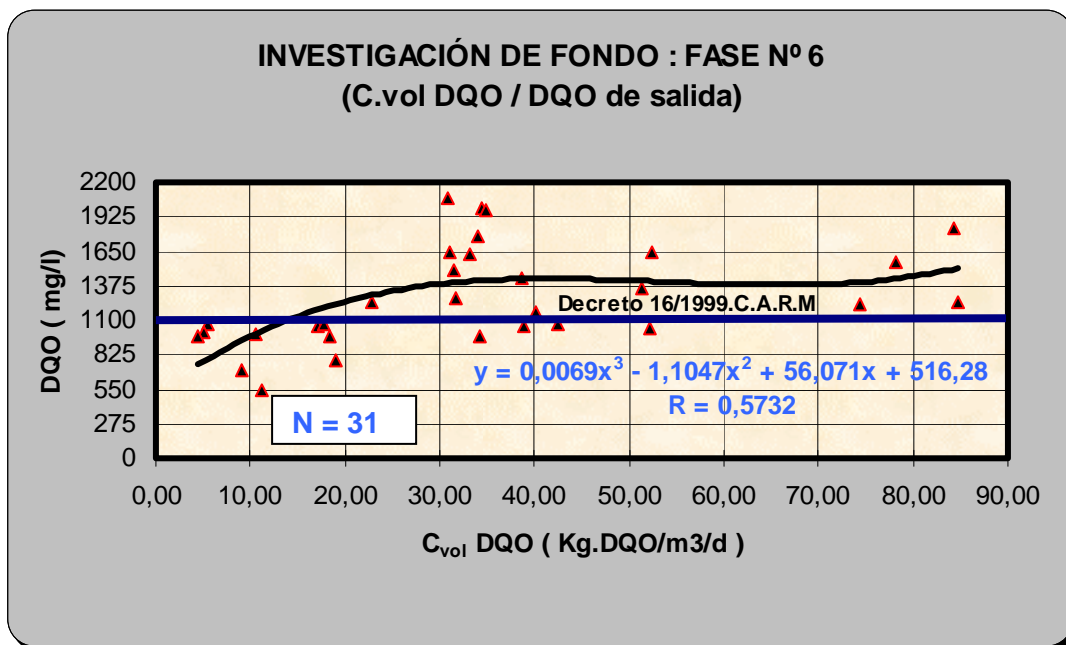


Gráfico 10.79.- Fase nº 6 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

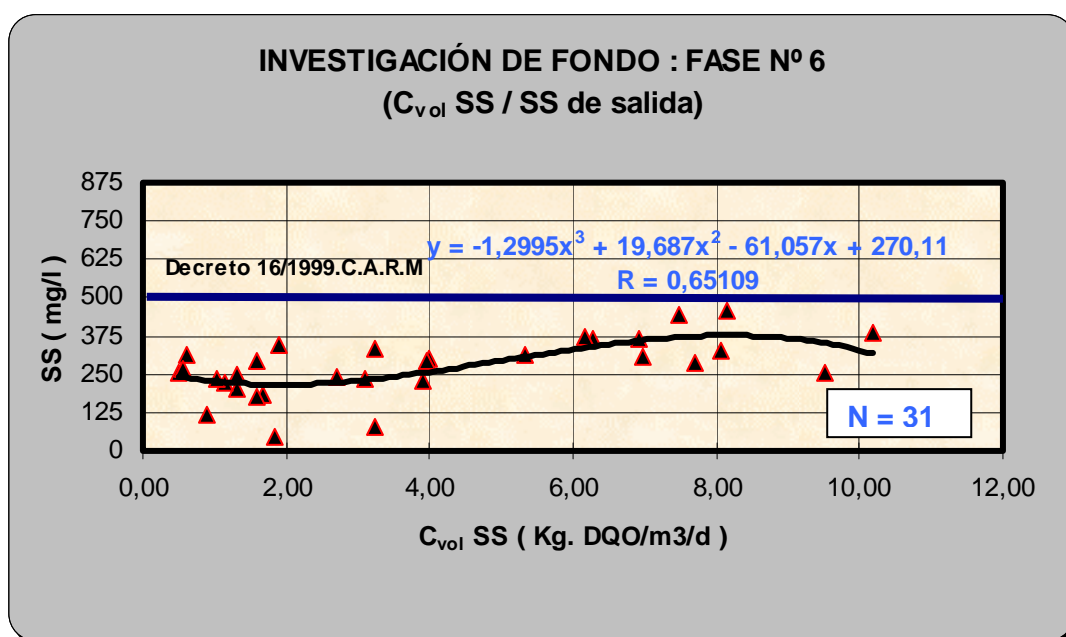


Gráfico 10.80.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

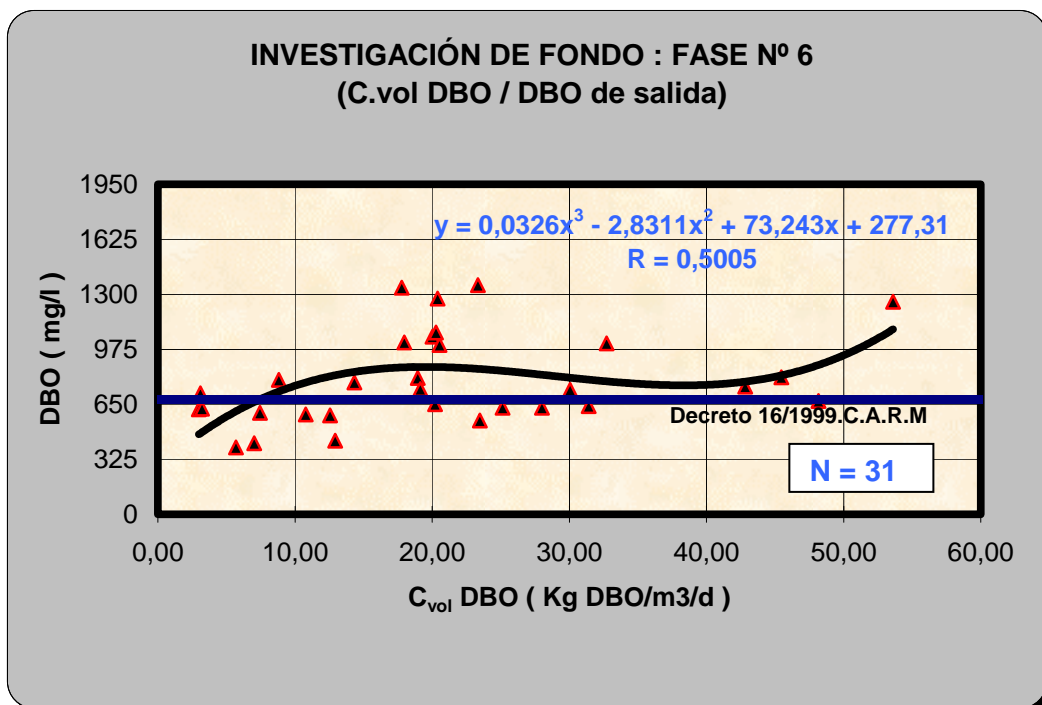


Gráfico 10.81.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

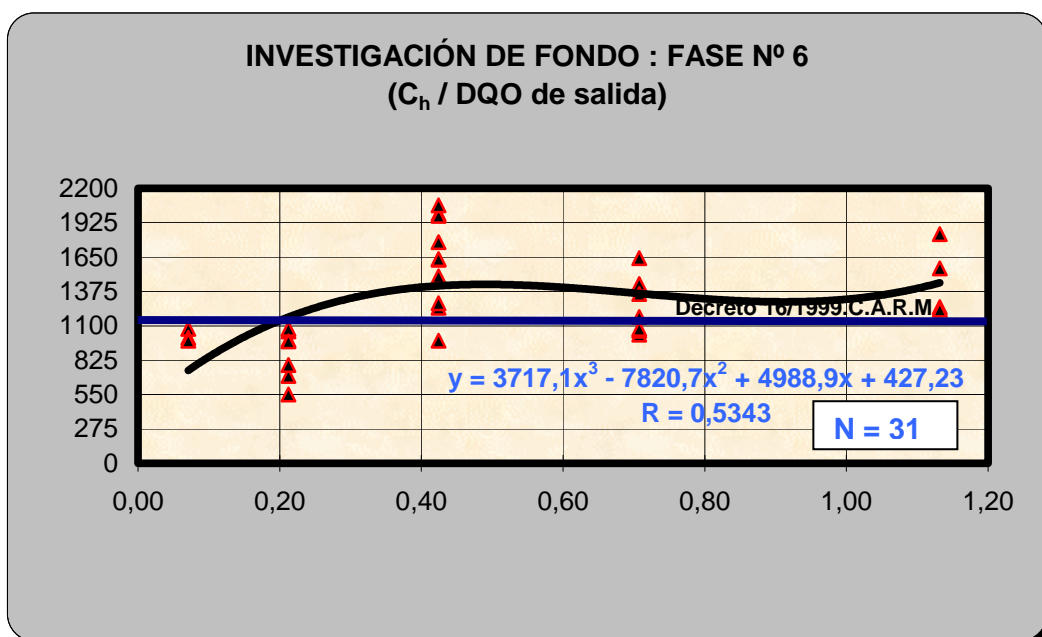


Gráfico 10.82.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

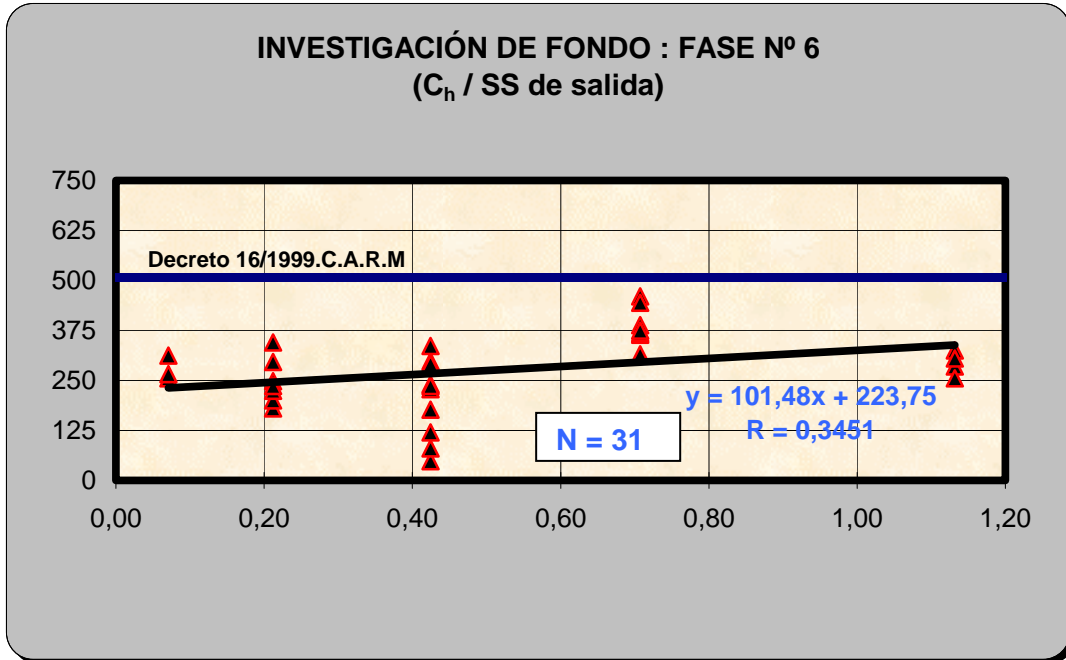


Gráfico 10.83.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

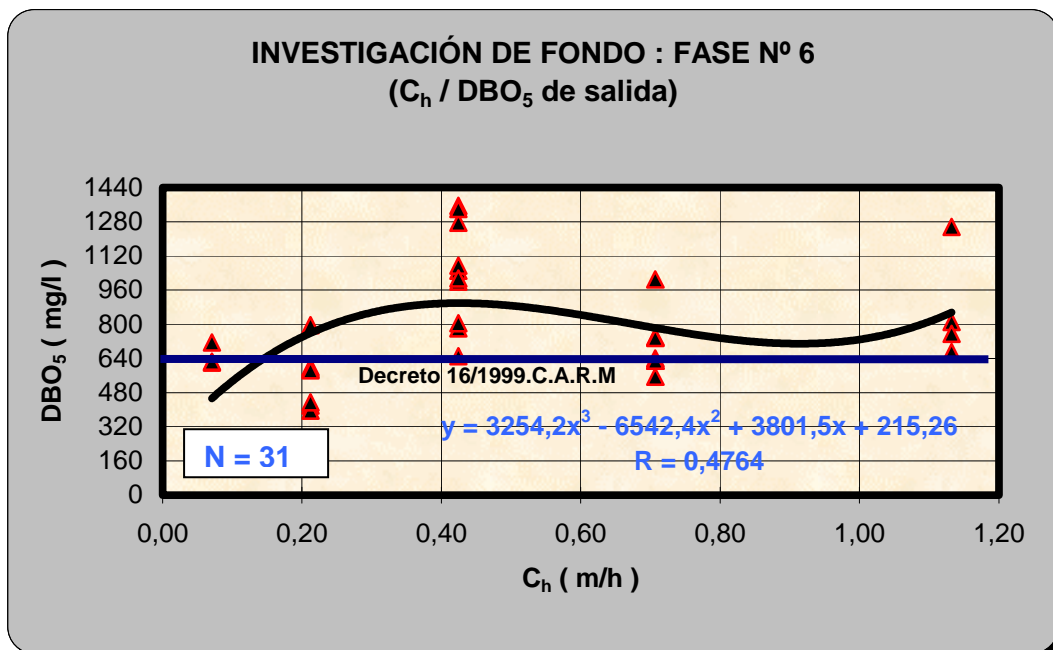


Gráfico 10.84.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

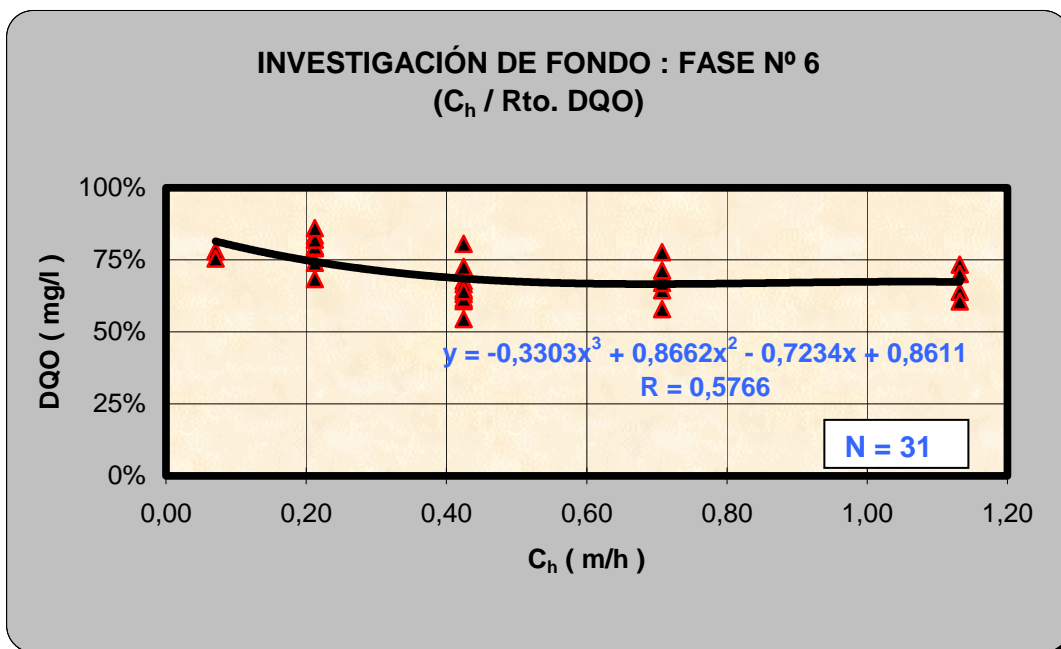


Gráfico 10.85.- Fase n° 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

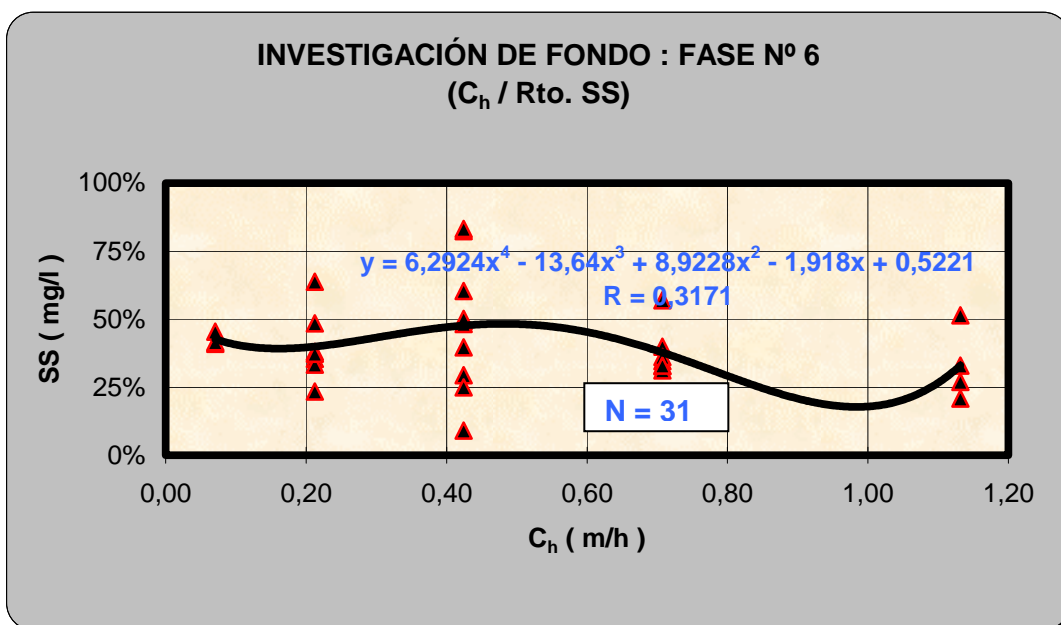


Gráfico 10.86.- Fase n° 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

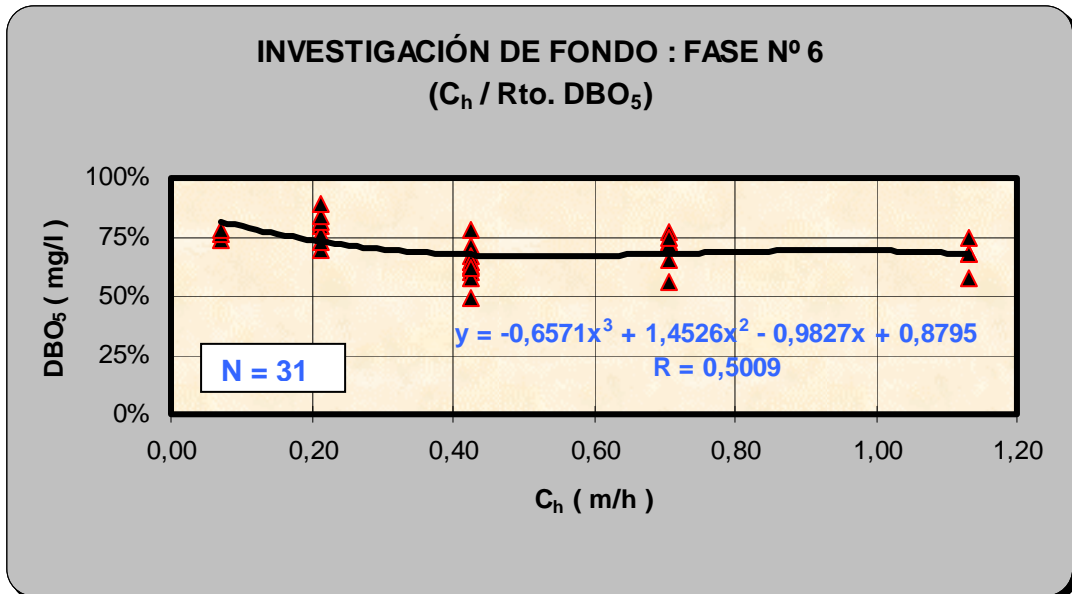


Gráfico 10.87.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

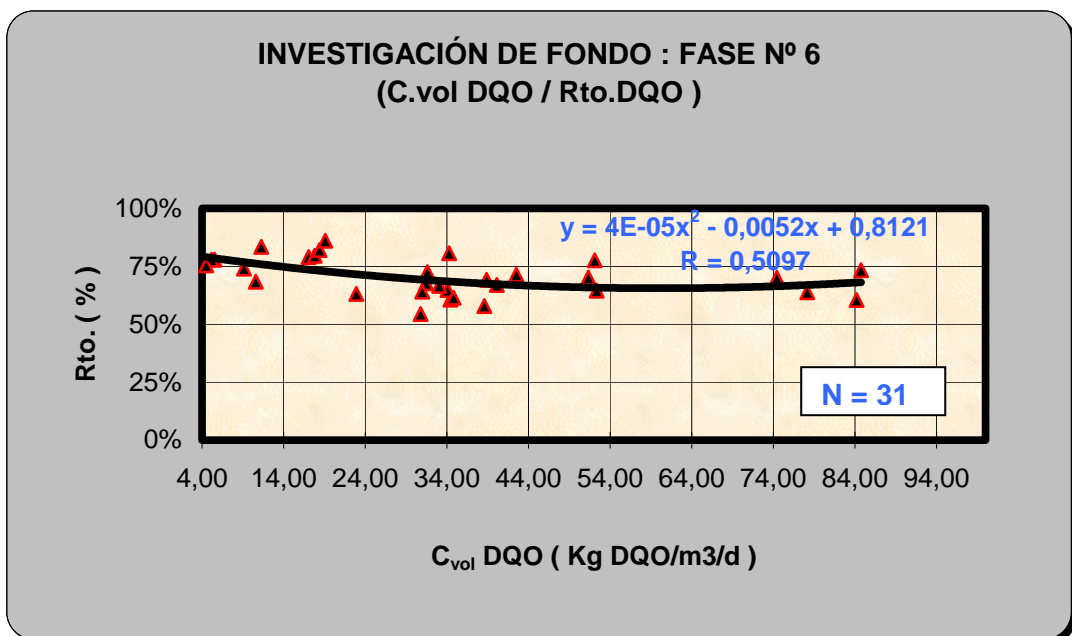


Gráfico 10.88.- Fase nº 6 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

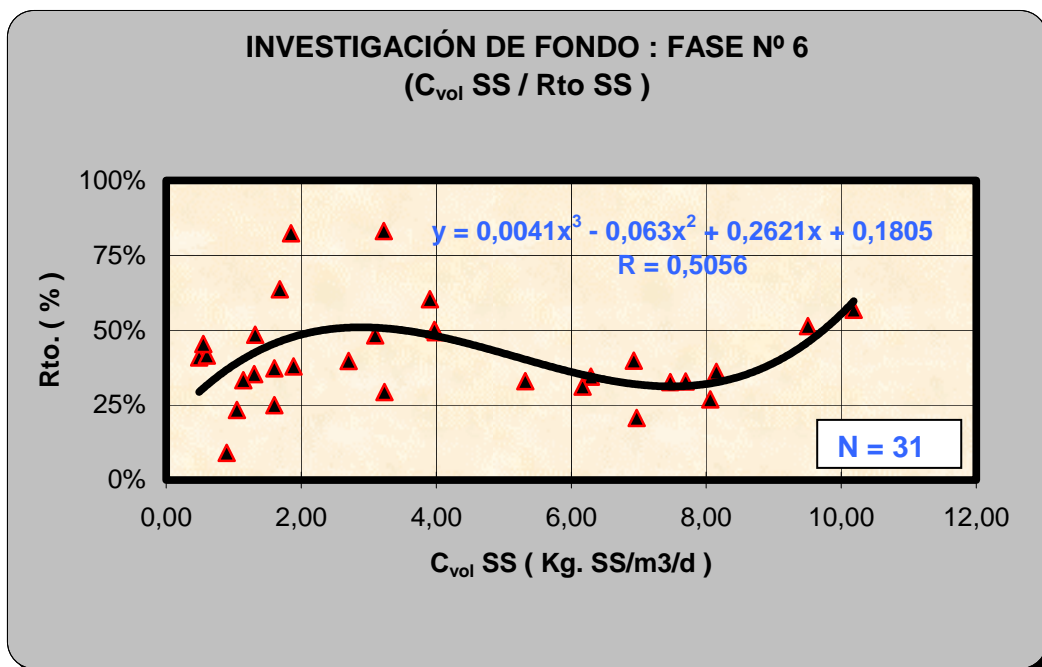


Gráfico 10.89.- Fase n° 6 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

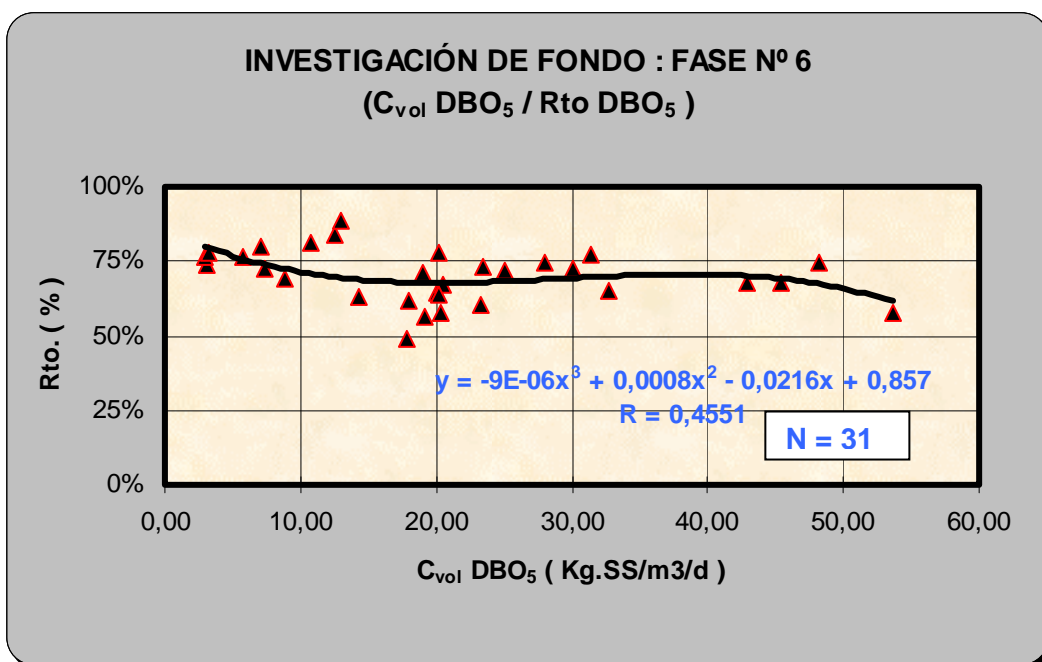


Gráfico 10.90.- Fase n° 6 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.18.- Discusión y resultados de la Fase nº 6

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Un 41,94% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Un 45,16% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l). El incremento de aporte de oxígeno al sistema se tradujo en un empeoramiento en los resultados de salida.
- b. SS.- Los resultados obtenidos no superaron nunca la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO de salida (Graf.10.79) , los resultados siguieron una función polinómica ($y = 0,0069x^3 - 1,1047 x^2 + 56,071x + 516,28$), con un factor de correlación $r = 0,5732$. Se aprecia una $C_{vol. max} DQO = 14 \text{ Kg DQO/m}^3/\text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una DQO < 1100 mg/l. Por otra parte, en lo que respecta a la $C_{h,}$ la DQO de salida (Graf.10.82), presentó unos resultados que siguieron una función

polinómica ($y = 3717,1x^3 - 7820,7x^2 + 4988,9x + 427,23$), con un factor de correlación $r = 0,5343$. Se obtiene una $C_{h, \max} = 0,20$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de $DQO < 1100$ mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{\text{entrada}} = 4.375$ mg/l. Por tanto si se tiene una $DQO_{\text{entrada}} > 4.375$ mg/l (como cabe esperarse en situaciones puntuales), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la $DQO_{\text{entrada max}}$ y reducir la carga hidráulica.

- b. SS.-Los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1.999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf. 10.80) se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -1,2995x^3 + 19,687x^2 - 61,057x + 270,11$), con un factor de correlación $r = 0,6511$. Dichos resultados de SS de salida se mantuvieron prácticamente constantes para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,49-10,19), debido al efecto de retención de partículas del propio filtro.
- c. Queda sobradamente manifiesto que la eliminación de DQO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño. El funcionamiento, en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida óptimos en general.

10.3.19 – Resultados analíticos y cargas de trabajo. Fase nº 7: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,209 Kg O₂/h-10,47 Nm³/m²/h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.75.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.76.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.77.- Fase nº 7 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.78 Fase nº 7 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.79.- Fase nº 7 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 10.80.- Fase nº 7 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.81.- Fase nº 7 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.82.- Fase nº 7 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.83.- Fase nº 7 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.75.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	6,02	4.870	4.815	3065	416	37,31	156,03
2	10,47	5	6,38	5.160	4.715	2910	398		
3	10,47	5	6,66	5.130	4.770	3135	453	27,31	141,13
4	10,47	5	6,29	5.174	4.975	3215	507		
5	10,47	10	6,12	5.275	3.970	2505	456	34,26	166,32
6	10,47	10	6,28	4.475	4.310	2875	388		
7	10,47	10	6,66	5.365	4.565	2965	502		
8	10,47	10	7,04	4.935	5.005	3315	461	44,21	204,32
9	10,47	15	6,28	4.460	4.870	3105	488		
10	10,47	15	6,45	4.565	3.760	2425	434		
11	10,47	15	6,88	5.305	4.675	3175	331		
12	10,47	15	6,56	5.095	5.020	3285	468	55,33	241,12
13	10,47	30	6,33	5.655	5.360	3410	512		
14	10,47	30	6,22	5.455	4.760	3105	489		
15	10,47	30	6,66	5.015	4.815	2985	456	47,56	178,27
16	10,47	30	6,67	4.935	3.670	2310	489		
17	10,47	30	6,74	5.120	4.410	2920	427		
18	10,47	30	6,23	5.210	4.680	3210	481		
19	10,47	50	6,56	7.150	4.805	3030	472	33,29	151,82
20	10,47	50	6,42	6.260	3.995	2990	454		
21	10,47	50	6,9	5.910	4.895	3084	512	43,17	210,6
22	10,47	50	6,08	5.940	4.365	2740	398		
23	10,47	50	6,66	5.130	4.770	3135	453	27,31	141,13
24	10,47	50	6,66	5.180	3.875	2465	453	27,31	141,13
25	10,47	50	6,66	5.235	4.310	2870	453	27,31	141,13
26	10,47	80	6,48	6.090	3.825	2415	548	32,88	143,42
27	10,47	80	6,18	6.670	2.745	1255	556		
28	10,47	80	6,67	6.800	2.140	1355	470	25,86	171,43
29	10,47	80	6,33	6.760	2.455	1710	536		

Cuadro 10.76.- Fase nº 7 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	10,47	5	8,23	5.440	585	366	278	1,68	26,81
2	10,47	5	8,56	5.580	666	514	313		
3	10,47	5	8,93	5.430	386	260	247	2,35	17,23
4	10,47	5	8,25	5.215	435	328	283		
5	10,47	10	8,93	5.430	386	260	247	2,35	17,23
6	10,47	10	8,43	5.565	442	316	253		
7	10,47	10	8,56	5.680	364	244	284		
8	10,47	10	8,21	4.680	486	347	236	2,76	21,45
9	10,47	15	8,55	4.665	389	244	164		
10	10,47	15	8,44	4.760	466	292	196		
11	10,47	15	8,22	5.130	398	234	214		
12	10,47	15	8,26	5.235	516	312	269	4,67	18,15
13	10,47	30	8,33	6.025	613	469	316		
14	10,47	30	8,58	5.230	667	486	231		
15	10,47	30	8,21	4.870	512	307	268	3,49	15,22
16	10,47	30	8,58	4.675	486	267	264		
17	10,47	30	8,37	5.025	598	373	301		
18	10,47	30	8,66	5.340	674	527	318		
19	10,47	50	8,04	5.240	854	572	265	2,67	21,45
20	10,47	50	8,22	5.355	761	467	247		
21	10,47	50	8,27	6.124	1.375	990	298		
22	10,47	50	9,07	5.830	721	575	184	3,32	18,7
23	10,47	50	8,02	6.720	968	601	299		
24	10,47	50	8,93	5.880	790	473	353	1,43	42
25	10,47	80	8,38	5.620	1.645	1.089	282		
26	10,47	80	8,08	6.060	1.905	1.304	428	4,37	24,32
27	10,47	80	8,44	6.340	1.446	670	240		
28	10,47	80	8,62	6.080	916	623	432	0,09	32,22
29	10,47	80	8,27	5.465	1.345	917	405		

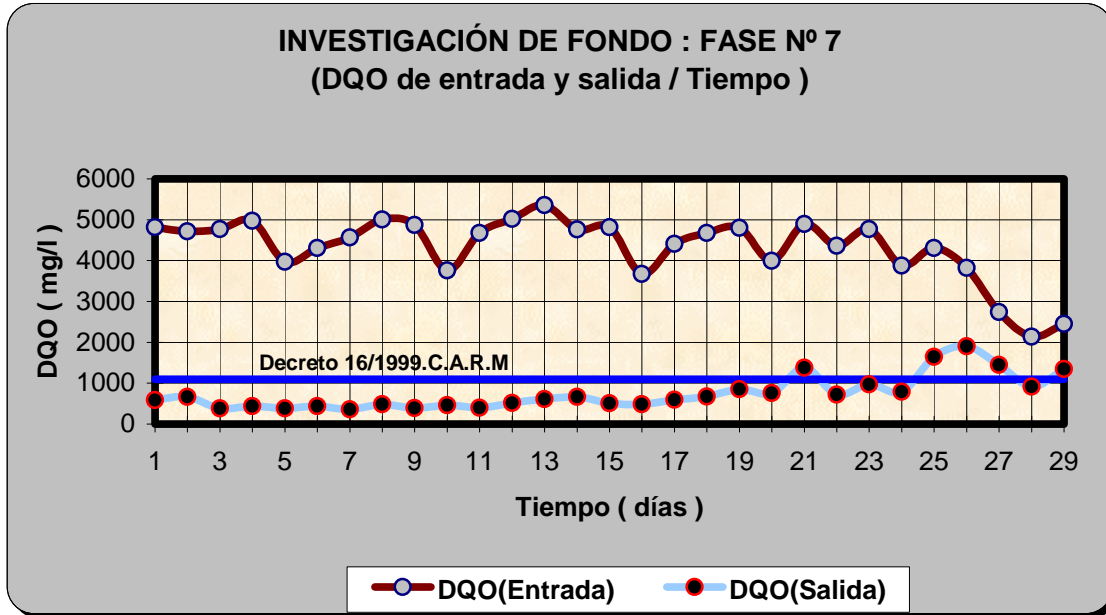


Gráfico 10.91.- Fase nº 7 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

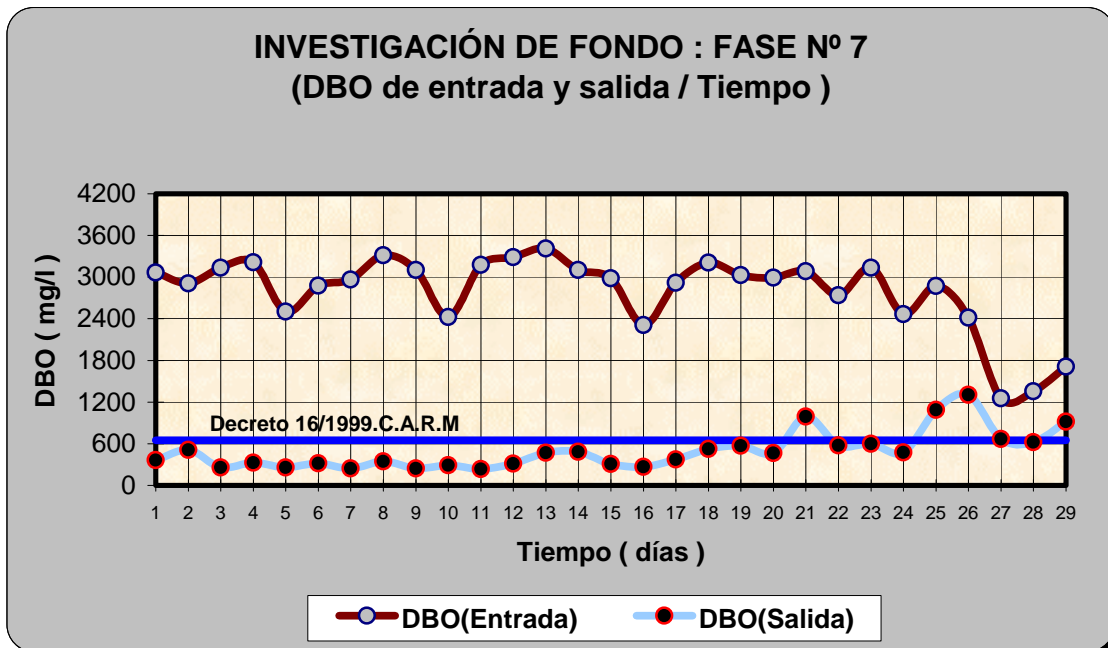


Gráfico 10.92.- Fase nº 7 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

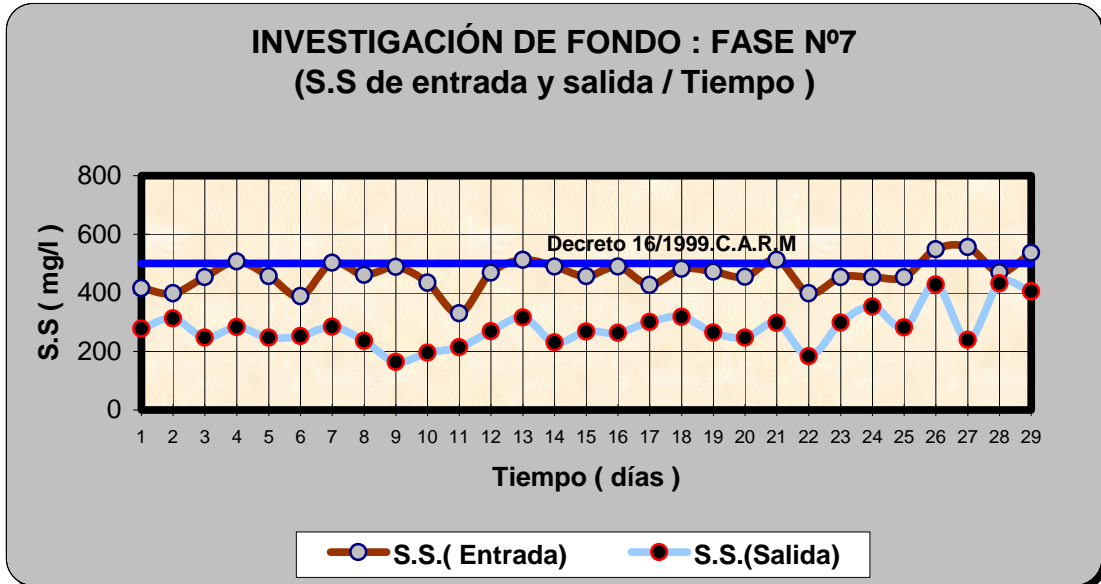


Gráfico 10.93.- Fase n° 7 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo.

Cuadro 10.77.- Fase nº 7 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	87,85%	88,06%	33,17%
2	85,87%	82,34%	21,36%
3	91,91%	91,71%	45,47%
4	91,26%	89,80%	44,18%
5	90,28%	89,62%	45,83%
6	89,74%	89,01%	34,79%
7	92,03%	91,77%	43,43%
8	90,29%	89,53%	48,81%
9	92,01%	92,14%	66,39%
10	87,61%	87,96%	54,84%
11	91,49%	92,63%	35,35%
12	89,72%	90,50%	42,52%
13	88,56%	86,25%	38,28%
14	85,99%	84,35%	52,76%
15	89,37%	89,72%	41,23%
16	86,76%	88,44%	46,01%
17	86,44%	87,23%	29,51%
18	85,60%	83,58%	33,89%
19	82,23%	81,12%	43,86%
20	80,95%	84,38%	45,59%
21	71,91%	67,90%	41,80%
22	83,48%	79,01%	53,77%
23	79,71%	80,83%	34,00%
24	79,61%	80,81%	22,08%
25	61,83%	62,06%	37,75%
26	50,20%	46,00%	21,90%
27	47,32%	46,61%	56,83%
28	57,20%	54,02%	8,09%
29	45,21%	46,37%	24,44%

Cuadro 10.78.- Fase nº 7 (I Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0418	1,70
2	0,0418	1,78
3	0,0418	1,69
4	0,0418	1,64
5	0,0209	1,11
6	0,0209	1,09
7	0,0209	0,97
8	0,0209	0,86
9	0,0139	0,59
10	0,0139	0,78
11	0,0139	0,58
12	0,0139	0,58
13	0,0070	0,27
14	0,0070	0,30
15	0,0070	0,31
16	0,0070	0,44
17	0,0070	0,34
18	0,0070	0,28
19	0,0042	0,19
20	0,0042	0,20
21	0,0042	0,20
22	0,0042	0,22
23	0,0042	0,19
24	0,0042	0,28
25	0,0042	0,26
26	0,0026	0,28
27	0,0026	0,52
28	0,0026	0,44
29	0,0026	0,66

Cuadro 10.79.- Fase nº 7 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	5,45	3,47	0,47	8,17	5,20	0,71
2	0,07	5,34	3,29	0,45	8,00	4,94	0,68
3	0,07	5,40	3,55	0,51	8,10	5,32	0,77
4	0,07	5,63	3,64	0,57	8,45	5,46	0,86
5	0,14	8,99	5,67	1,03	13,48	8,51	1,55
6	0,14	9,76	6,51	0,88	14,63	9,76	1,32
7	0,14	10,33	6,71	1,14	15,50	10,07	1,70
8	0,14	11,33	7,50	1,04	16,99	11,26	1,57
9	0,21	16,54	10,54	1,66	24,80	15,81	2,49
10	0,21	12,77	8,23	1,47	19,15	12,35	2,21
11	0,21	15,87	10,78	1,12	23,81	16,17	1,69
12	0,21	17,04	11,15	1,59	25,57	16,73	2,38
13	0,42	36,40	23,16	3,48	54,60	34,73	5,22
14	0,42	32,32	21,08	3,32	48,48	31,63	4,98
15	0,42	32,70	20,27	3,10	49,05	30,40	4,64
16	0,42	24,92	15,69	3,32	37,38	23,53	4,98
17	0,42	29,95	19,83	2,90	44,92	29,74	4,35
18	0,42	31,78	21,80	3,27	47,67	32,70	4,90
19	0,71	54,38	34,29	5,34	81,57	51,44	8,01
20	0,71	45,21	33,84	5,14	67,82	50,76	7,71
21	0,71	55,40	34,90	5,79	83,10	52,36	8,69
22	0,71	49,40	31,01	4,50	74,10	46,52	6,76
23	0,71	53,99	35,48	5,13	80,98	53,22	7,69
24	0,71	43,86	27,90	5,13	65,78	41,85	7,69
25	0,71	48,78	32,48	5,13	73,17	48,72	7,69
26	1,13	69,26	43,73	9,92	103,90	65,60	14,89
27	1,13	49,71	22,73	10,07	74,56	34,09	15,10
28	1,13	38,75	24,54	8,51	58,13	36,81	12,77
29	1,13	44,46	30,97	9,71	66,68	46,45	14,56

Cuadro 10.80.- Fase nº 7 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	82,76
DQO de salida	82,76
SS de salida	100,00

10.3.20.- Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 7.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.81.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.82.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.83.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.84.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.85.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.86.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.81.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,0	4.460	2.140	1.255	331
<i>Máximo</i>	80	7,0	7.150	5.360	3.410	556
<i>Rango o Amplitud</i>	75	1,0	2.690	3.220	2.155	225
<i>Media Aritmética</i>	33	6,5	5.459	4.322	2.792	464
<i>Desviación media</i>	20,8323	0,2198	558,6183	584,9703	410,1213	36,6611
<i>Varianza</i>	601,90	0,07	485.499,56	587.148,45	292.944,33	2.355,38
<i>Desviación típica</i>	24,5337	0,2555	696,7780	766,2561	541,2433	48,5323
<i>Coefficiente de Variación</i>	73,35	3,94	12,76	17,73	19,39	10,46

Cuadro 10.82.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	5,34	3,29	0,45
<i>Máximo</i>	1,13	69,26	43,73	10,07
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	63,93	40,44	9,62
<i>Media Aritmética</i>	0,47	29,85	19,13	3,64
<i>Desviación media</i>	0,2947	16,4630	10,4786	2,3641
<i>Varianza</i>	0,1205	348,5399	142,1228	8,4725
<i>Desviación típica</i>	0,3471	18,6692	11,9215	2,9108
<i>Coefficiente de Variación</i>	73,35	62,54	62,32	79,87

Cuadro 10.83.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	8,00	4,94	0,68
<i>Máximo</i>	103,90	65,60	15,10
<i>Rango o Amplitud</i>	95,89	60,66	14,43
<i>Media Aritmética</i>	44,78	28,69	5,47
<i>Desviación media</i>	24,6945	15,7179	3,5461
<i>Varianza</i>	784,2147	319,7762	19,0631
<i>Desviación típica</i>	28,0038	17,8823	4,3661
<i>Coefficiente de Variación</i>	62,54	62,32	79,87

Cuadro 10.84.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (μ S/cm)	DQO mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	8,0	665	364	234	164
<i>Máximo</i>	9,1	6 720	1 905	1 304	432
<i>Rango o Amplitud</i>	1,1	2 055	1 541	1 070	268
<i>Media Aritmética</i>	8,4	5 472	752	497	280
<i>Desviación media</i>	0,2196	402,7301	309,6195	200,6683	46,4994
<i>Varianza</i>	0,07	258.880,03	163.278,39	71.868,59	3.990,07
<i>Desviación típica</i>	0,2715	508,8025	404,0772	268,0832	63,1670
<i>Coefficiente de Variación</i>	3,22	9,30	53,77	53,89	22,57

Cuadro 10.85.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	45,21	46,00	8,09
<i>Máximo</i>	92,03	92,63	66,39
<i>Rango o Amplitud</i>	46,81	46,63	58,31
<i>Media Aritmética</i>	80,77	80,13	39,58
<i>Desviación media</i>	10,5651	10,9602	9,6547
<i>Varianza</i>	1,95	2,08	1,50
<i>Desviación típica</i>	13,9485	14,4346	12,2557
<i>Coefficiente de Variación</i>	17,27	18,01	30,96

Cuadro 10.86.- Fase nº 7 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,003	0,19
<i>Máximo</i>	0,04	1,78
<i>Rango o Amplitud</i>	0,04	1,60
<i>Media Aritmética</i>	0,01	0,65
<i>Desviación media</i>	0,0101	0,4018
<i>Varianza</i>	0,0002	0,2485
<i>Desviación típica</i>	0,0128	0,4985
<i>Coefficiente de Variación</i>	95,76	77,18

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.94.- Fase nº 7 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.95.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.96.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.97.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.98.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.99.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.100.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.101.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.102.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.103.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.104.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.105.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

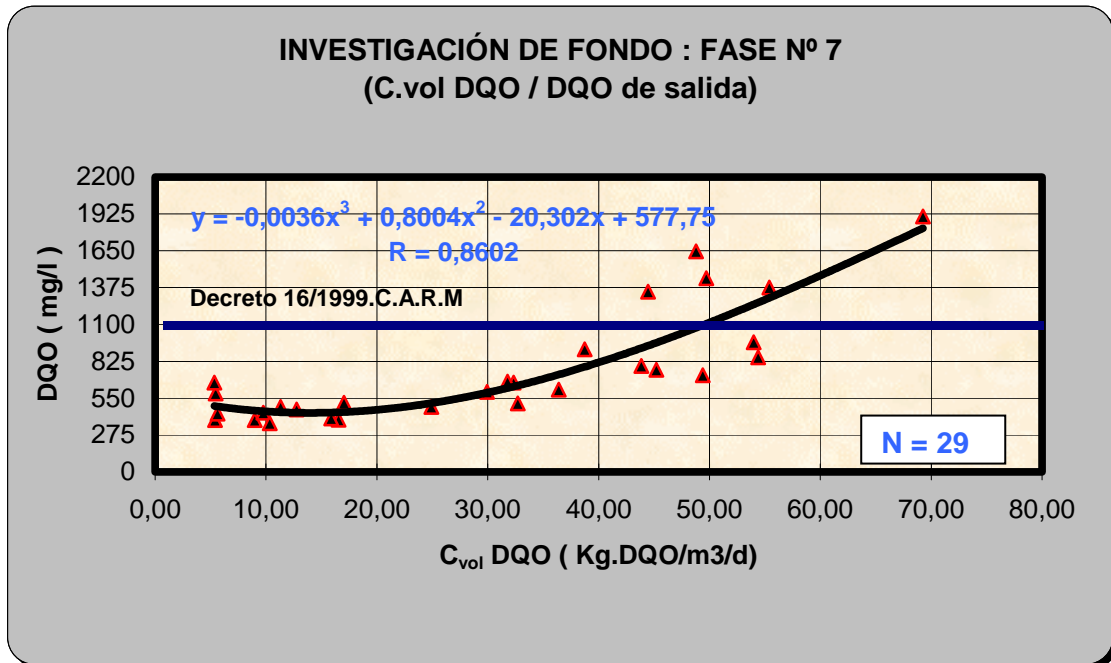


Gráfico 10.94.- Fase nº 7 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

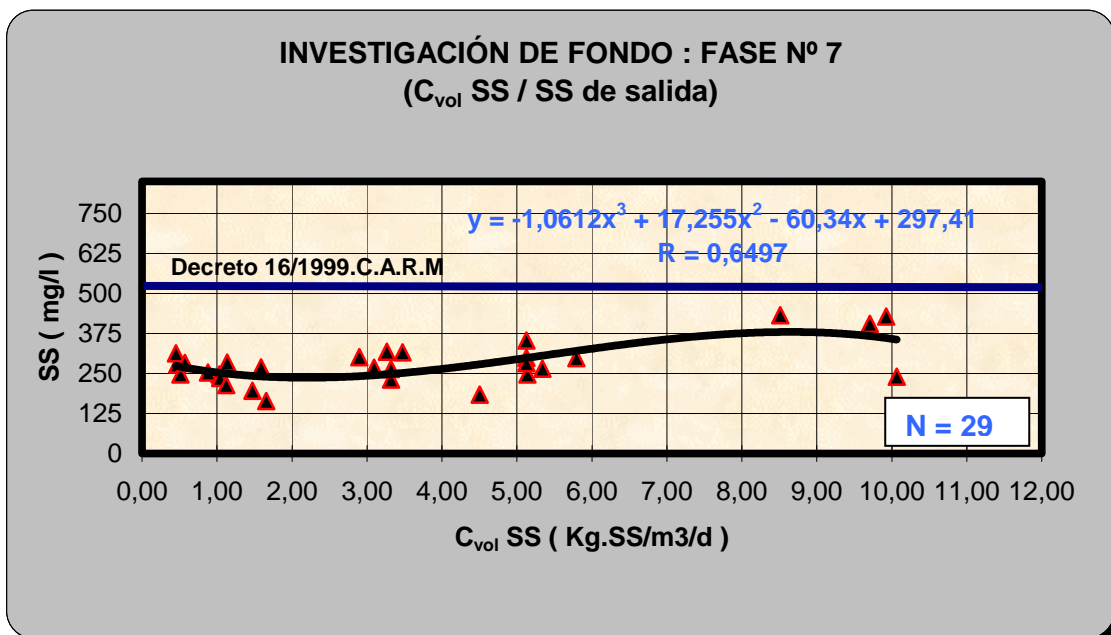


Gráfico 10.95.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

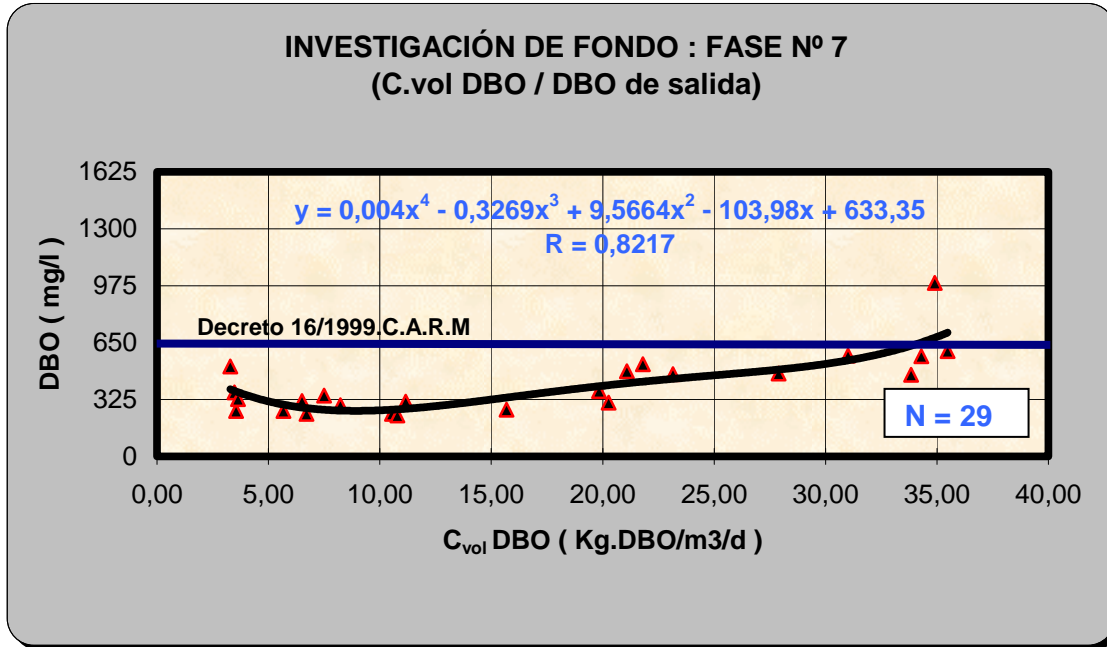


Gráfico 10.96.- Fase n° 7 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

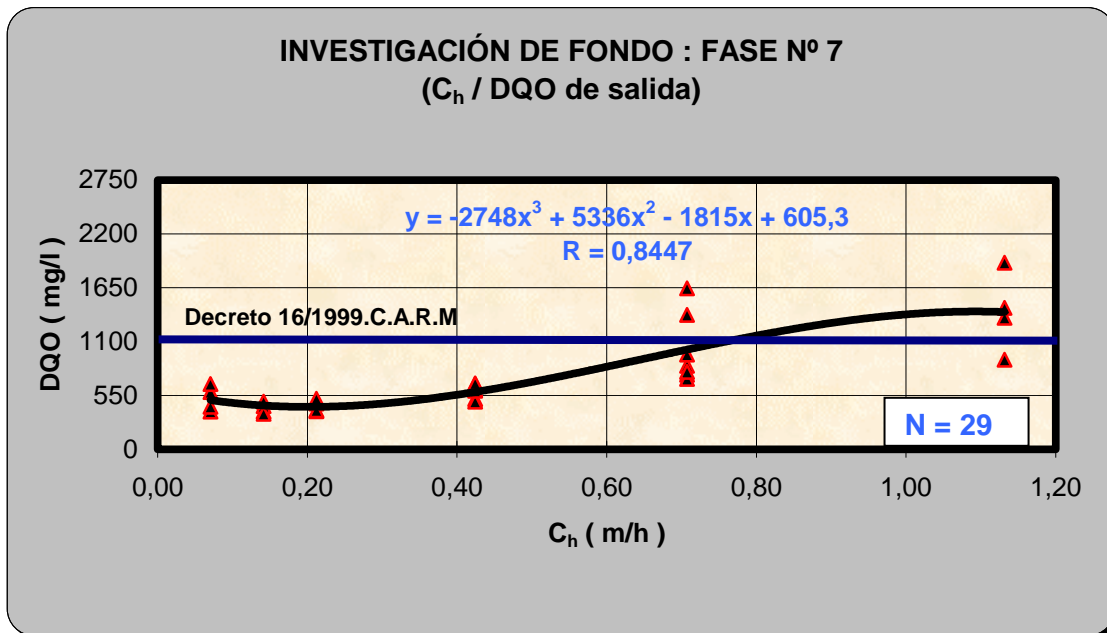


Gráfico 10.97.- Fase n° 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

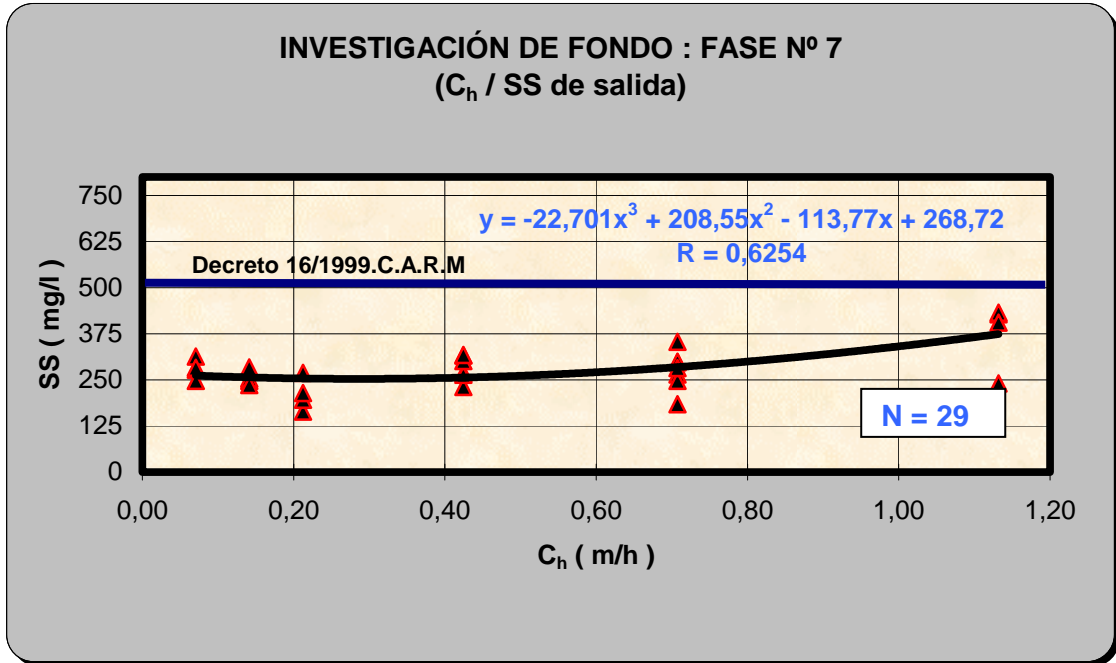


Gráfico 10.98.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

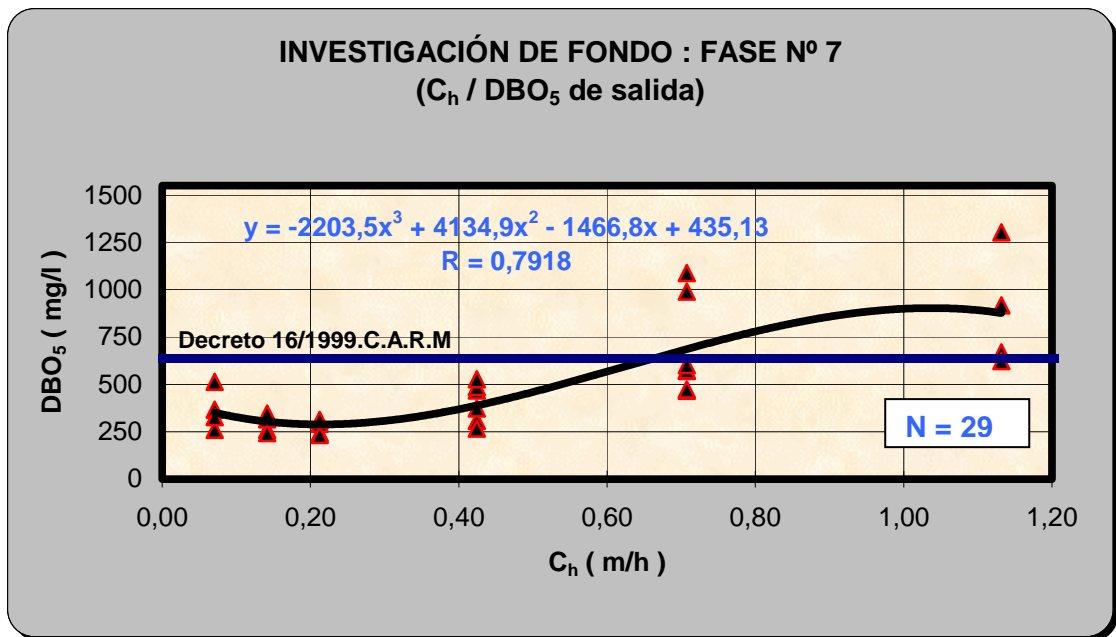


Gráfico 10.99.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

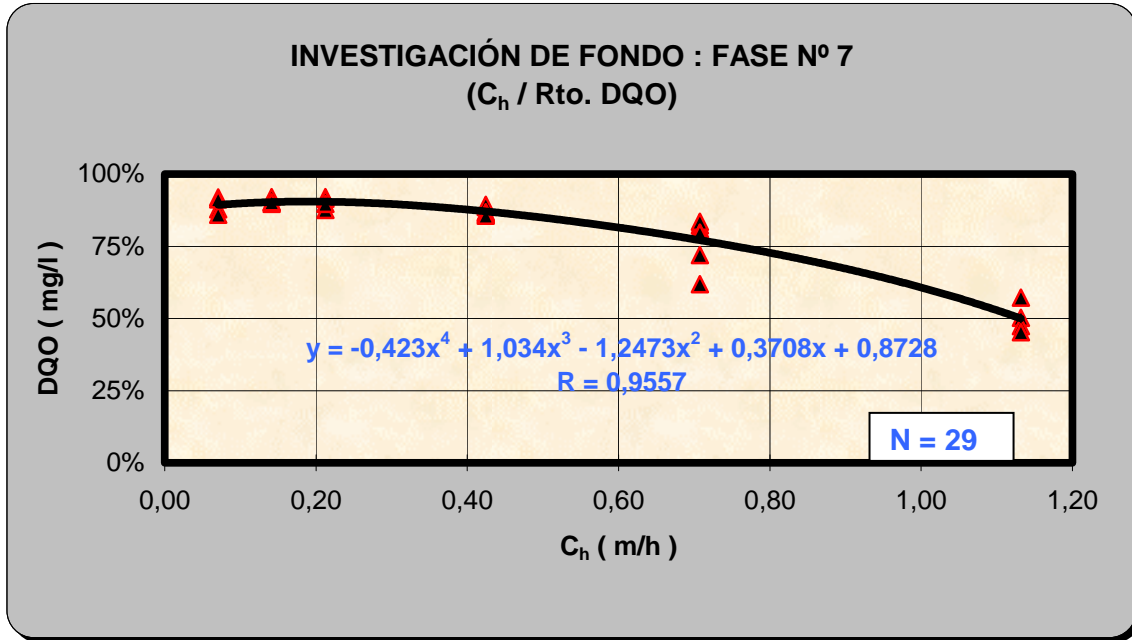


Gráfico 10.100.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

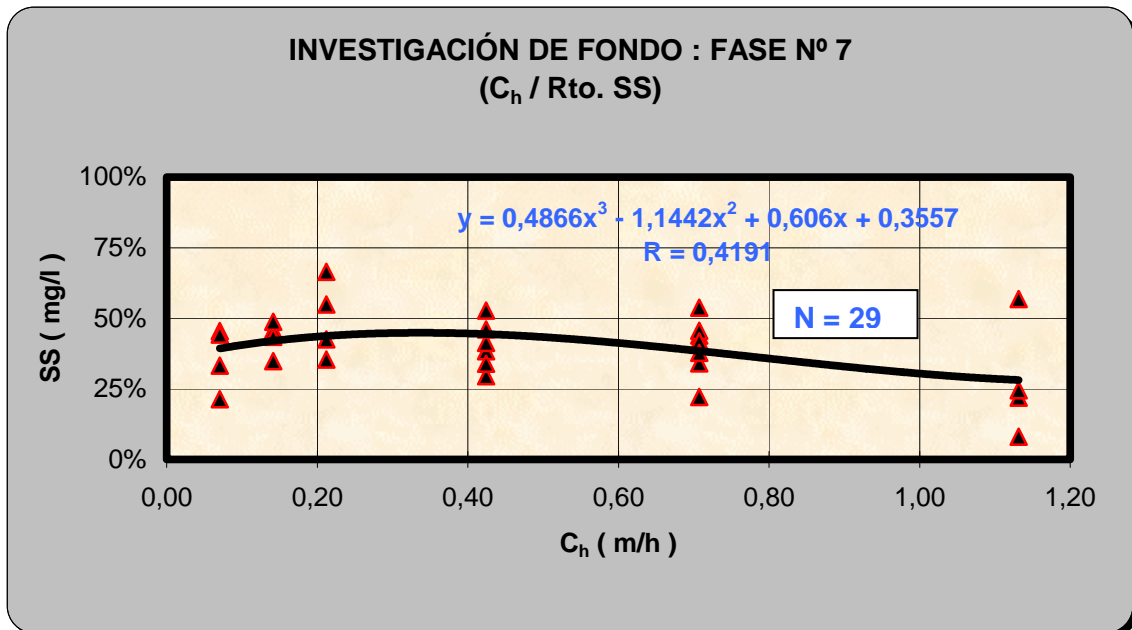


Gráfico 10.101.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

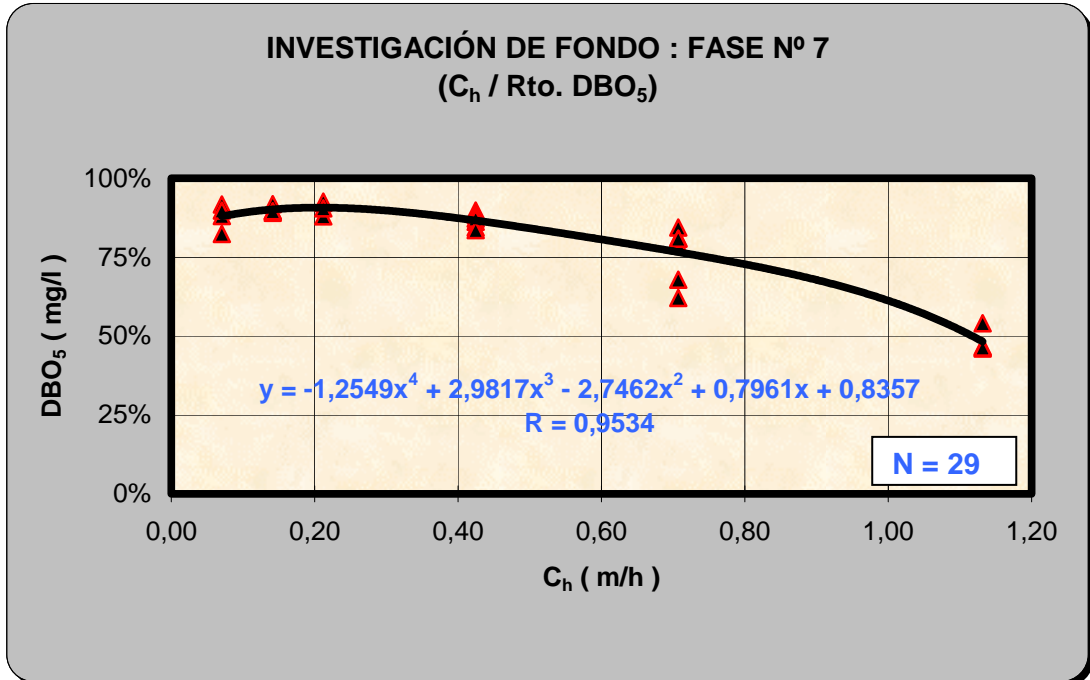


Gráfico 10.102.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

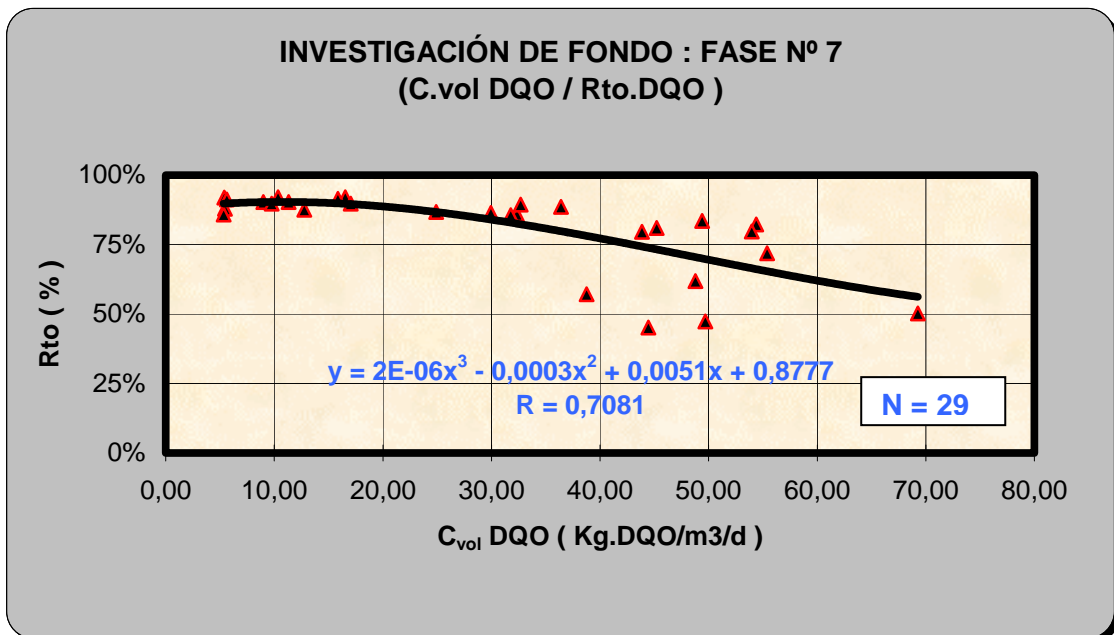


Gráfico 10.103.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

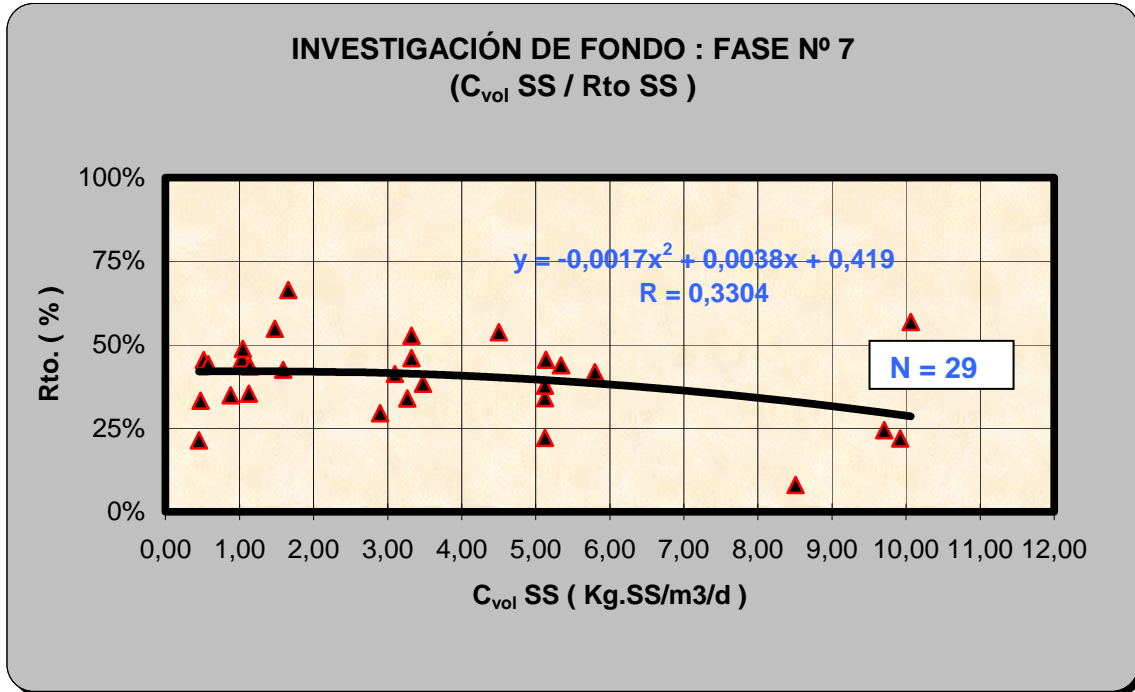


Gráfico 10.104.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

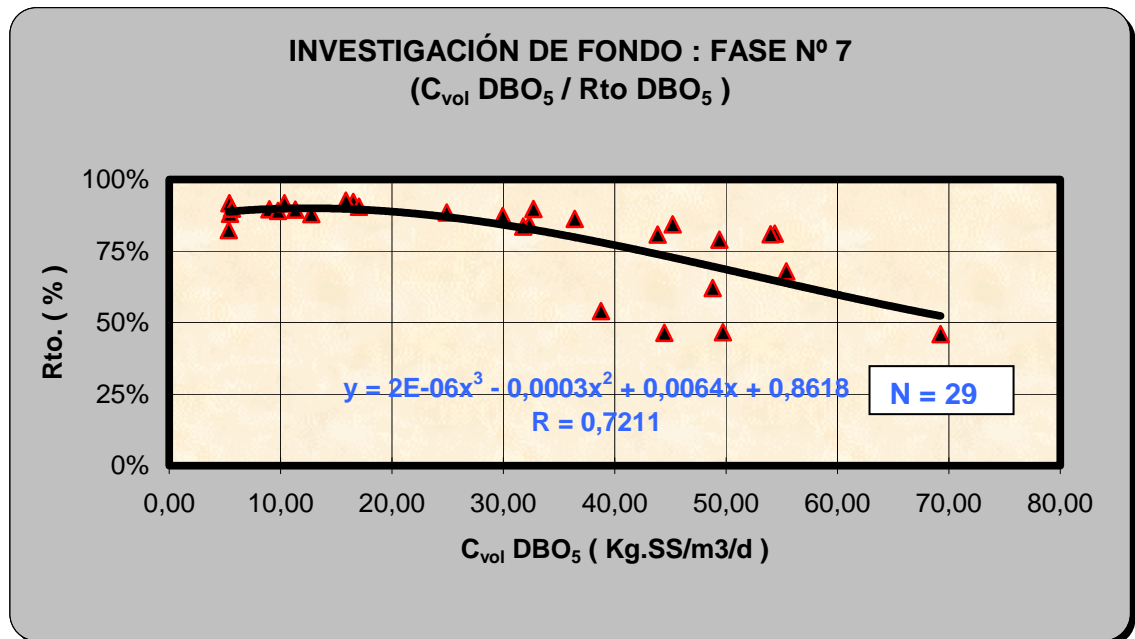


Gráfico 10.105.- Fase nº 7 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.21.- Discusión y resultados de la Fase nº 7

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO y DBO₅.- Un 82,76% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (650 mg/l). Igualmente un 82,76% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (1.100 mg/l). Al igual que en los ensayos con arcilla de granulometría de 3-7 mm el cambio a un flujo de tipo co-corriente se tradujo en una mejoría en los resultados de salida, no presentando muchas diferencias con la fase 3.
- b. SS.- Los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

- a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO de salida (Graf. 10.94), los resultados siguieron una función polinómica ($y = -0,0036x^3 + 0,8004x^2 - 20,302x + 577,75$), con un factor de correlación

de $r = 0,8602$. Se aprecia una $C_{vol. max} DQO = 49,50 \text{ Kg DQO/m}^3/d$ (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una $DQO < 1100 \text{ mg/l}$. Por otra parte, en lo que respecta a la C_h , la DQO de salida (Graf.10.97) presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -2748x^3 + 5336x^2 - 1815x + 605,3$), con un factor de correlación de $r = 0,8447$. Se obtiene una $C_{h, max} = 0,76$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente un umbral de $DQO < 1100 \text{ mg/l}$. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{entrada} = 4.075 \text{ mg/l}$. Por tanto si se tiene una $DQO_{entrada} > 4.075 \text{ mg/l}$ (como cabe esperar la mayoría de las veces), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la $DQO_{entrada max}$ y reducir la carga hidráulica. En caso contrario, se procederá a la inversa, es decir, fijaremos la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica inferior a la máxima. Para valores de carga aplicados a los experimentos de esta fase $C_h \leq 0,71 \text{ m/h}$ todas las muestras analizadas cumplieron (excepto el día 21) las exigencias del Decreto 16/1.999 de la C.A.R.M en DQO .

- b. SS.-Los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1.999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf.10.95) se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -1,0612x^3 + 17,255x^2 - 60,34x + 297,41$), con un factor de correlación de $r = 0,6497$.

Dichos resultados de SS de salida se mantuvieron prácticamente constante los niveles de salida para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,45-10,07).

- c. DBO₅ - Observando las curvas de ajuste que representan la DBO₅, de salida (Graf. 10.96), los resultados siguieron una función polinómica ($y = 0,004x^4 - 0,3269x^3 + 9,5664x^2 - 103,984x + 633,35$), con un factor de correlación de $r = 0,8217$. Se aprecia una $C_{vol. max} DBO_5 = 33,8$ Kg DBO₅/m³/d (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una DBO₅ < 650 mg/l. Por otra parte, respecto a la C_h, la DQO de salida (Graf. 10.99) presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -2203,5x^3 + 4134,9x^2 - 1466,8x + 435,13$), con un factor de correlación de $r = 0,7918$. Se obtiene una $C_{h, max} = 0,66$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de DBO₅ < 650 mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para DBO_{5 entrada} = 3.200 mg/l. Por tanto si se tiene una DBO_{5 entrada} < 3.200 mg/l (como cabe esperar mayoritariamente), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica DBO_{5 entrada} inferior a la máxima. Para valores de carga aplicados a los experimentos de esta fase $C_h \leq 0,71$ m/h todas las muestras analizadas cumplieron (excepto el día 21) las exigencias del Decreto 16/1.999 de la C.A.R.M en DBO₅.
- d. Al igual que en las otras fases la eliminación de DQO y DBO₅, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño. El funcionamiento, en

cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida óptimos.

10.3.22 – Caracterización analítica y cargas de trabajo. Fase nº 8: Relleno monocapa (2-5 mm); Caudal de aire = 0,488 Kg O₂/h-24,44 Nm³/m²/h de aire, flujo co-corriente y dosificación de nutrientes

Seguidamente se muestran los cuadros de datos y representaciones gráficas de algunos parámetros y variables en función del tiempo, incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.87.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados(AB)

Cuadro 10.88.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados(AT)

Gráfico 10.106.- Fase nº 8 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.107.- Fase nº 8 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo

Gráfico 10.108.- Fase nº 8 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo

Cuadro 10.89.- Fase nº 8 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB)

Cuadro 10.90.- Fase nº 8 (IFondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.91.- Fase nº 8 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.92.- Fase nº 8 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM)

Cuadro 10.87.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de entrada de agua bruta a los lechos inundados (AB).

Día	Q. aire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	6,62	4.110	3.580	2950	379	21,81	78,44
2	24,44	5	6,16	4.330	3.550	2.925	336	26,48	322,16
3	24,44	5	6,69	4.120	3.690	3.045	276		
4	24,44	5	6,02	4.800	3.630	3.010	186		
5	24,44	5	6,79	4.260	3.455	2.850	202	22,42	66,53
6	24,44	5	6,92	4.800	3.765	3.200	137		
7	24,44	5	6,83	4.500	3.625	2.890	230	25,01	108,55
8	24,44	5	6,38	4.410	3.790	3.185	166		
9	24,44	10	6,72	5.700	3.245	2.650	664		
10	24,44	10	6,17	5.270	3.985	3.195	276	17,36	116,26
11	24,44	10	6,16	6.080	3.550	3.100	115		
12	24,44	10	6,18	4.440	3.435	2.905	129	24,14	89,64
13	24,44	10	6,12	4.610	3.460	2.900	103		
14	24,44	10	6,88	4.300	3.015	2.325	260		
15	24,44	10	6,42	4.350	3.175	2.355	174	16,12	98,05
16	24,44	15	6,39	5.340	5.415	4.210	691	21,34	112,06
17	24,44	15	6,79	5.300	5.005	4.100	535		
18	24,44	15	6,89	5.040	6.515	4.950	584	27,26	235,92
19	24,44	15	6,24	5.630	4.485	3.100	616		
20	24,44	15	7,14	6.050	3.055	2.380	650	28,32	203,1
21	24,44	30	6,47	6.260	3.795	2.900	421		
22	24,44	30	6,06	6.210	4.050	2.860	640	22,1	61,63
23	24,44	30	6,66	6.300	3.815	2.700	688		
24	24,44	30	6,53	8.670	3.165	2.350	431		
25	24,44	30	6,85	9.160	2.230	1.225	310	17,3	316,56
26	24,44	50	6,23	6.680	2.005	1.115	365	24,32	170,04
27	24,44	50	6,26	6.940	3.355	2.705	60		
28	24,44	50	6,98	6.800	3.455	2.430	640	27,21	158,83
29	24,44	80	6,96	5.500	4.150	2.800	740		
30	24,44	80	6,86	5.770	4.035	2.610	728	14,31	160,2
31	24,44	80	6,84	5.412	3.830	2.410	322		
32	24,44	80	6,34	5.480	4.615	2.535	518	11,98	136,42

Cuadro 10.88.- Fase nº 8 (I. Fondo): Datos de salida de agua tratada de los lechos inundados (AT).

Día	Qaire proc. (Nm ³ /m ² /h)	Q agua (l/h)	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)	Fósforo (mg/l)	N _{total} (mg/l)
1	24,44	5	8,61	4.040	266	175	330	4,88	10,45
2	24,44	5	8,31	4.220	230	145	298	5,77	26,03
3	24,44	5	8,48	4.360	344	135	234		
4	24,44	5	8,93	4.420	278	100	142		
5	24,44	5	8,38	4.240	198	140	104	0,31	10,65
6	24,44	5	8,28	4.590	184	110	132		
7	24,44	5	8,11	4.290	174	105	228	9,36	31,52
8	24,44	5	8,23	4.270	212	155	103		
9	24,44	10	8,66	4.490	770	505	197		
10	24,44	10	8,25	4.410	548	375	268	0,11	32,22
11	24,44	10	8,93	4.290	216	65	48		
12	24,44	10	8,43	4.450	236	145	115	4,9	21,01
13	24,44	10	8,29	4.370	230	135	95		
14	24,44	10	8,87	4.090	186	145	24		
15	24,44	10	8,69	4.300	194	155	66	1,15	8,4
16	24,44	15	8,65	5.240	294	145	70	1,12	19,61
17	24,44	15	8,54	5.310	336	235	113		
18	24,44	15	8,04	5.350	932	660	352	3,36	42,02
19	24,44	15	9,07	4.970	516	350	288		
20	24,44	15	8,86	5.450	162	135	104	2,17	9,8
21	24,44	30	8,68	5.920	1.046	640	181		
22	24,44	30	8,58	5.990	800	485	220	3,31	21,41
23	24,44	30	8,38	6.360	828	560	226		
24	24,44	30	9,16	6.380	254	160	130		
25	24,44	30	9,1	6.440	268	180	89	3,43	15,41
26	24,44	50	9,23	6.480	170	100	36	2,19	8,4
27	24,44	50	9,45	6.490	116	75	34		
28	24,44	50	9,22	6.420	266	195	290	2,38	19,61
29	24,44	80	7,69	5.460	3.310	2.315	426		
30	24,44	80	9	5.300	2.130	1.275	30	1,05	4,2
31	24,44	80	8,63	5.155	1.424	845	159		
32	24,44	80	7,61	5.460	2.790	1.670	504	1,11	26,06

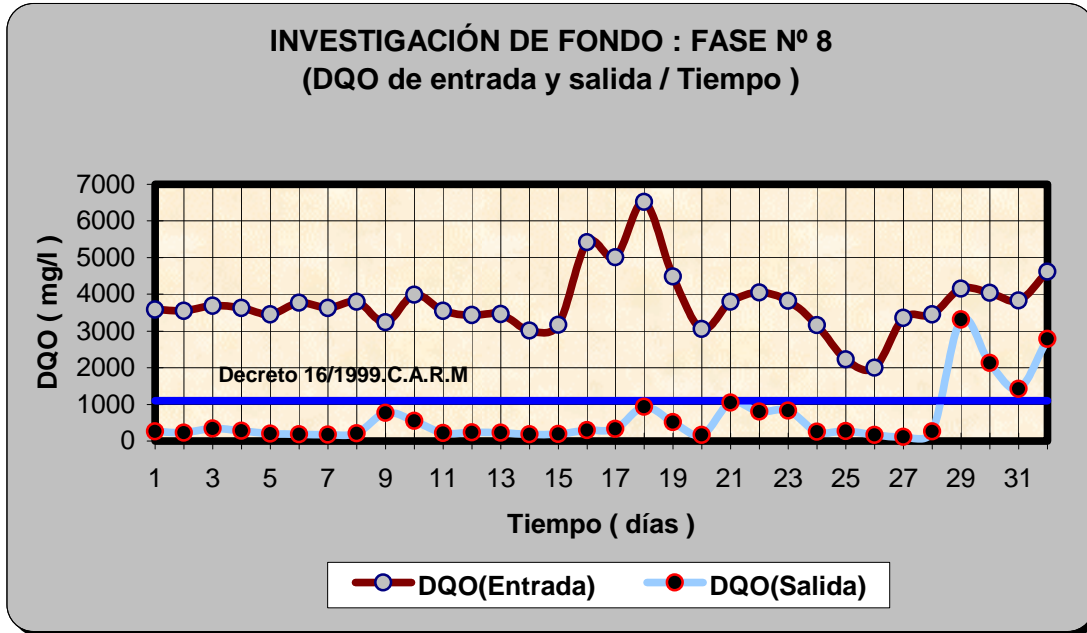


Gráfico 10.106.- Fase nº 8 (I. Fondo): DQO de entrada y salida/Tiempo.

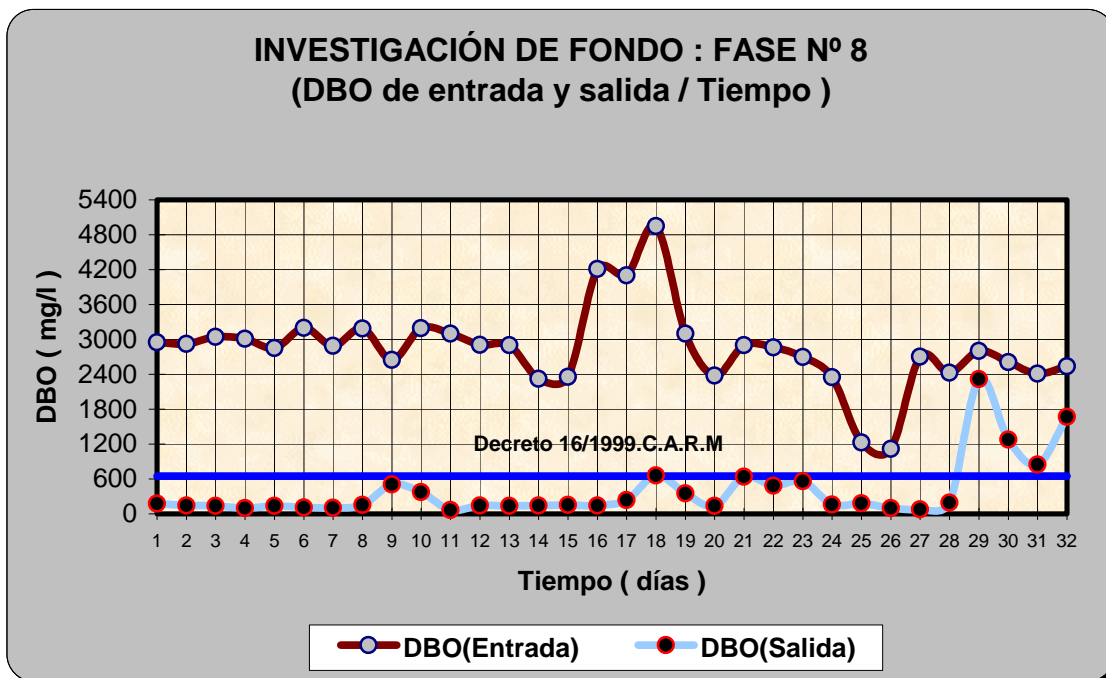


Gráfico 10.107.- Fase nº 8 (I. Fondo): DBO de entrada y salida/Tiempo.

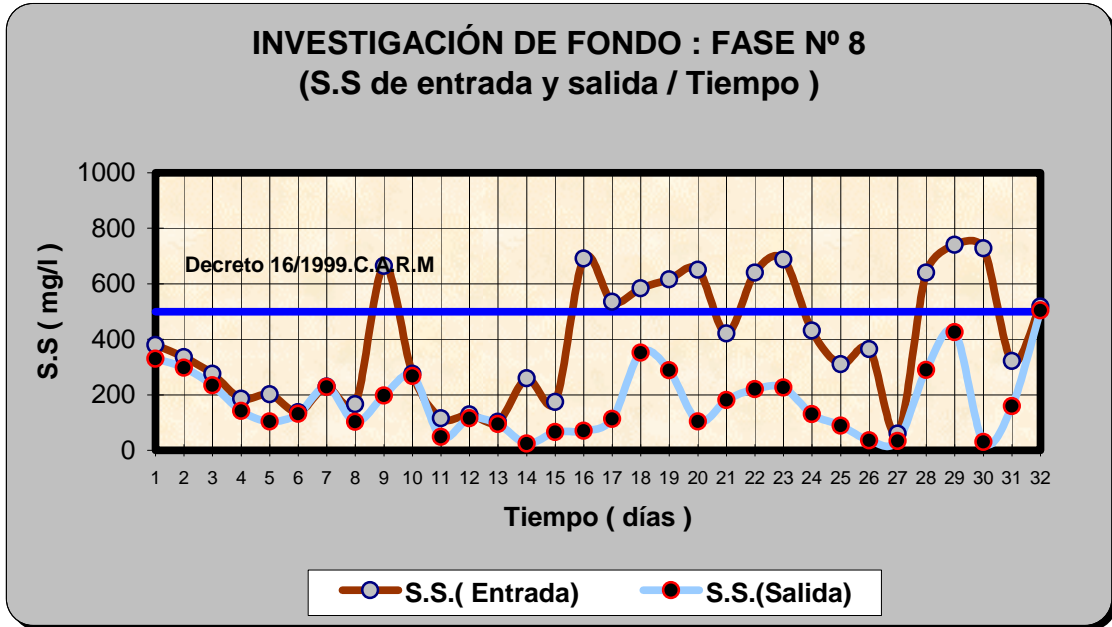


Gráfico 10.108.- Fase nº 8 (I. Fondo): S.S. de entrada y salida/Tiempo).

Cuadro 10.89.- Fase nº 8 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho (AT, respecto AB).

Día	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	S.S. (mg/l)
1	92,57%	94,07%	12,93%
2	93,52%	95,04%	11,31%
3	90,68%	95,57%	15,22%
4	92,34%	96,68%	23,66%
5	94,27%	95,09%	48,51%
6	95,11%	96,56%	3,65%
7	95,20%	96,37%	0,87%
8	94,41%	95,13%	37,95%
9	76,27%	80,94%	70,33%
10	86,25%	88,26%	2,90%
11	93,92%	97,90%	58,26%
12	93,13%	95,01%	10,85%
13	93,35%	95,34%	7,77%
14	93,83%	93,76%	90,77%
15	93,89%	93,42%	62,07%
16	94,57%	96,56%	89,87%
17	93,29%	94,27%	78,88%
18	85,69%	86,67%	39,73%
19	88,49%	88,71%	53,25%
20	94,70%	94,33%	84,00%
21	72,44%	77,93%	57,01%
22	80,25%	83,04%	65,63%
23	78,30%	79,26%	67,15%
24	91,97%	93,19%	69,84%
25	87,98%	85,31%	71,29%
26	91,52%	91,03%	90,14%
27	96,54%	97,23%	43,33%
28	92,30%	91,98%	54,69%
29	20,24%	17,32%	42,43%
30	47,21%	51,15%	95,88%
31	62,82%	64,94%	50,62%
32	39,54%	34,12%	2,70%

Cuadro 10.90.- Fase n ° 8 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación.

Día	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
1	0,0976	4,22
2	0,0976	4,21
3	0,0976	4,02
4	0,0976	4,02
5	0,0976	4,32
6	0,0976	3,79
7	0,0976	4,21
8	0,0976	3,87
9	0,0488	2,73
10	0,0488	2,08
11	0,0488	1,93
12	0,0488	2,12
13	0,0488	2,12
14	0,0488	2,69
15	0,0488	2,66
16	0,0325	0,96
17	0,0325	1,01
18	0,0325	0,91
19	0,0325	1,42
20	0,0325	1,74
21	0,0163	0,86
22	0,0163	0,82
23	0,0163	0,91
24	0,0163	0,89
25	0,0163	1,87
26	0,0098	1,15
27	0,0098	0,45
28	0,0098	0,52
29	0,0061	1,51
30	0,0061	0,55
31	0,0061	0,47
32	0,0061	0,85

Cuadro 10.91.- Fase nº 8 (I. Fondo): Cargas de entrada al lecho inundado.

Día	Q _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)	Q _{sup} DQO (Kg.DQO/m ² /d)	Q _{sup} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	Q _{sup} SS (Kg.SS/m ² /d)
1	0,07	4,05	3,34	0,43	6,08	5,01	0,64
2	0,07	4,02	3,31	0,38	6,03	4,97	0,57
3	0,07	4,18	3,45	0,31	6,26	5,17	0,47
4	0,07	4,11	3,41	0,21	6,16	5,11	0,32
5	0,07	3,91	3,23	0,23	5,87	4,84	0,34
6	0,07	4,26	3,62	0,16	6,39	5,43	0,23
7	0,07	4,10	3,27	0,26	6,15	4,91	0,39
8	0,07	4,29	3,60	0,19	6,43	5,41	0,28
9	0,14	7,35	6,00	1,50	11,02	9,00	2,25
10	0,14	9,02	7,23	0,62	13,53	10,85	0,94
11	0,14	8,04	7,02	0,26	12,05	10,53	0,39
12	0,14	7,78	6,58	0,29	11,66	9,86	0,44
13	0,14	7,83	6,56	0,23	11,75	9,85	0,35
14	0,14	6,82	5,26	0,59	10,24	7,89	0,88
15	0,14	7,19	5,33	0,39	10,78	8,00	0,59
16	0,21	18,39	14,29	2,35	27,58	21,44	3,52
17	0,21	16,99	13,92	1,82	25,49	20,88	2,72
18	0,21	22,12	16,81	1,98	33,18	25,21	2,97
19	0,21	15,23	10,53	2,09	22,84	15,79	3,14
20	0,21	10,37	8,08	2,21	15,56	12,12	3,31
21	0,42	25,77	19,69	2,86	38,66	29,54	4,29
22	0,42	27,50	19,42	4,35	41,25	29,13	6,52
23	0,42	25,91	18,33	4,67	38,86	27,50	7,01
24	0,42	21,49	15,96	2,93	32,24	23,94	4,39
25	0,42	15,14	8,32	2,11	22,71	12,48	3,16
26	0,71	22,69	12,62	4,13	34,04	18,93	6,20
27	0,71	37,97	30,61	0,68	56,96	45,92	1,02
28	0,71	39,10	27,50	7,24	58,65	41,25	10,86
29	1,13	75,15	50,70	13,40	112,72	76,05	20,10
30	1,13	73,07	47,26	13,18	109,60	70,89	19,77
31	1,13	69,35	43,64	5,83	104,03	65,46	8,75
32	1,13	83,57	45,90	9,38	125,35	68,86	14,07

Cuadro 10.92.- Fase nº 8 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con el Decreto 16/1999 de CARM).

Parámetro a estudiar	% Conforme
DBO ₅ de salida	85,29
DQO de salida	88,23
SS de salida	100,00

10.3.23.- Caracterización estadística de resultados y presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros en la Fase nº 8.

Seguidamente se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.93.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.94.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.95.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado

Cuadro 10.96.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado

Cuadro 10.97.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB)

Cuadro 10.98.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado

Nota.- La varianza de las tablas que se presentan seguidamente, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de varianza.

Cuadro 10.93.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	5	6,0	4.110,0	2.005,0	1.115,0	60,0
<i>Máximo</i>	80	7,1	9.160,0	6.515,0	4.950,0	740,0
<i>Rango o Amplitud</i>	75	1,1	5.050,0	4.510,0	3.835,0	680,0
<i>Media Aritmética</i>	25	6,5	5.519,4	3.747,7	2.839,5	392,9
<i>Desviación media</i>	19,8828	0,2903	906,0820	548,9258	447,7148	190,3594
<i>Varianza</i>	605,44	0,10	1.437.698,56	676.379,66	488.799,00	45.884,92
<i>Desviación típica</i>	24,6058	0,3205	1.199,0407	822,4230	699,1416	214,2077
<i>Coefficiente de Variación</i>	97,81	4,90	21,72	21,94	24,62	54,52

Cuadro 10.94.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	C _h (m/h)	Q _{vol} DQO (Kg.DQO/m ³ /d)	Q _{vol} DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d)	Q _{vol} SS (Kg.SS/m ³ /d)
<i>Mínimo</i>	0,07	3,91	3,23	0,16
<i>Máximo</i>	1,13	83,57	50,70	13,40
<i>Rango o Amplitud</i>	1,06	79,66	47,48	13,25
<i>Media Aritmética</i>	0,36	21,46	14,84	2,73
<i>Desviación media</i>	0,2813	16,6352	10,7892	2,5440
<i>Varianza</i>	0,1212	510,0382	196,2063	12,3518
<i>Desviación típica</i>	0,3481	22,5840	14,0074	3,5145
<i>Coefficiente de Variación</i>	97,81	105,23	94,40	128,89

Cuadro 10.95.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al lecho inundado.

Parámetro Estadístico	$Q_{sup}DQO$ (Kg.DQO/m ² /d)	$Q_{sup}DBO_5$ (Kg.DBO ₅ /m ² /d)	$Q_{sup}SS$ (Kg.SS/m ² /d)
<i>Mínimo</i>	5,87	4,84	0,23
<i>Máximo</i>	125,35	76,05	20,10
<i>Rango o Amplitud</i>	119,49	71,22	19,87
<i>Media Aritmética</i>	32,19	22,26	4,09
<i>Desviación media</i>	24,9528	16,1838	3,8159
<i>Varianza</i>	1.147,5860	441,4643	27,7916
<i>Desviación típica</i>	33,8760	21,0111	5,2718
<i>Coficiente de Variación</i>	105,23	94,40	128,89

Cuadro 10.96.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del lecho inundado.

Parámetro Estadístico	pH	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SS (mg/l)
<i>Mínimo</i>	7,61	4.040,00	116,00	65,00	24,00
<i>Máximo</i>	9,45	6.490,00	3.310,00	2.315,00	504,00
<i>Rango o Amplitud</i>	1,84	2.450,00	3.194,00	2.250,00	480,00
<i>Media Aritmética</i>	8,60	5.093,91	622,13	394,22	176,13
<i>Desviación media</i>	0,3416	731,4063	526,9297	337,9395	98,5156
<i>Varianza</i>	0,18	687.629,27	579.295,73	245.879,86	14.110,98
<i>Desviación típica</i>	0,4285	829,2341	761,1148	495,8627	118,7897
<i>Coficiente de Variación</i>	4,98	16,28	122,34	125,78	67,45

Cuadro 10.97.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%) a la salida del lecho inundado (AT, respecto AB).

Parámetro Estadístico	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SS(%)
<i>Mínimo</i>	20,24	17,32	0,87
<i>Máximo</i>	96,54	97,90	95,88
<i>Rango o Amplitud</i>	76,30	80,58	95,01
<i>Media Aritmética</i>	84,27	85,51	47,30
<i>Desviación media</i>	12,3175	12,2210	25,4280
<i>Varianza</i>	3,12	3,40	8,84
<i>Desviación típica</i>	17,6675	18,4285	29,7287
<i>Coefficiente de Variación</i>	20,97	21,55	62,86

Cuadro 10.98.- Fase nº 8 (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referente a la aireación en el lecho inundado.

Parámetro Estadístico	Kg O ₂ /l Agua bruta	Kg O ₂ /Kg DBO _{5,eliminado}
<i>Mínimo</i>	0,01	0,45
<i>Máximo</i>	0,10	4,32
<i>Rango o Amplitud</i>	0,09	3,88
<i>Media Aritmética</i>	0,04	2,06
<i>Desviación media</i>	0,0285	1,1398
<i>Varianza</i>	0,0012	1,7637
<i>Desviación típica</i>	0,0340	1,3280
<i>Coefficiente de Variación</i>	76,53	64,51

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.109.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida

Gráfico 10.110.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida

Gráfico 10.111.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida

Gráfico 10.112.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida

Gráfico 10.113.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida

Gráfico 10.114.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida

Gráfico 10.115.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.116.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS

Gráfico 10.117.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO

Gráfico 10.118.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO

Gráfico 10.119.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS

Gráfico 10.120.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO

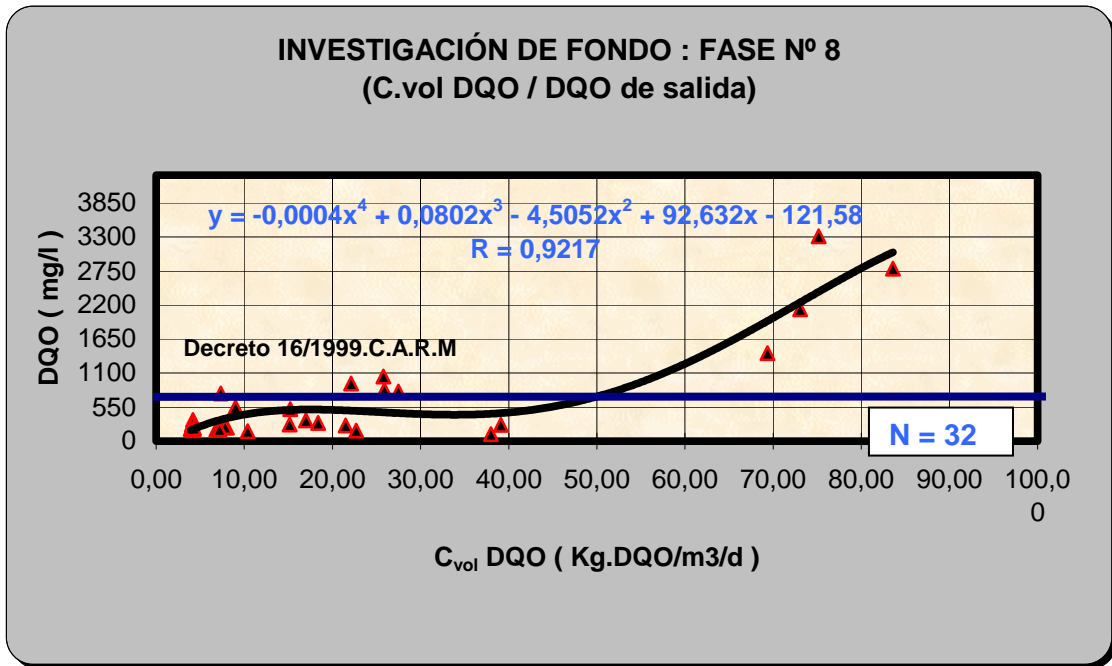


Gráfico 10.109.- Fase nº 8 (I.Fondo): Carga vol. DQO/DQO de salida.

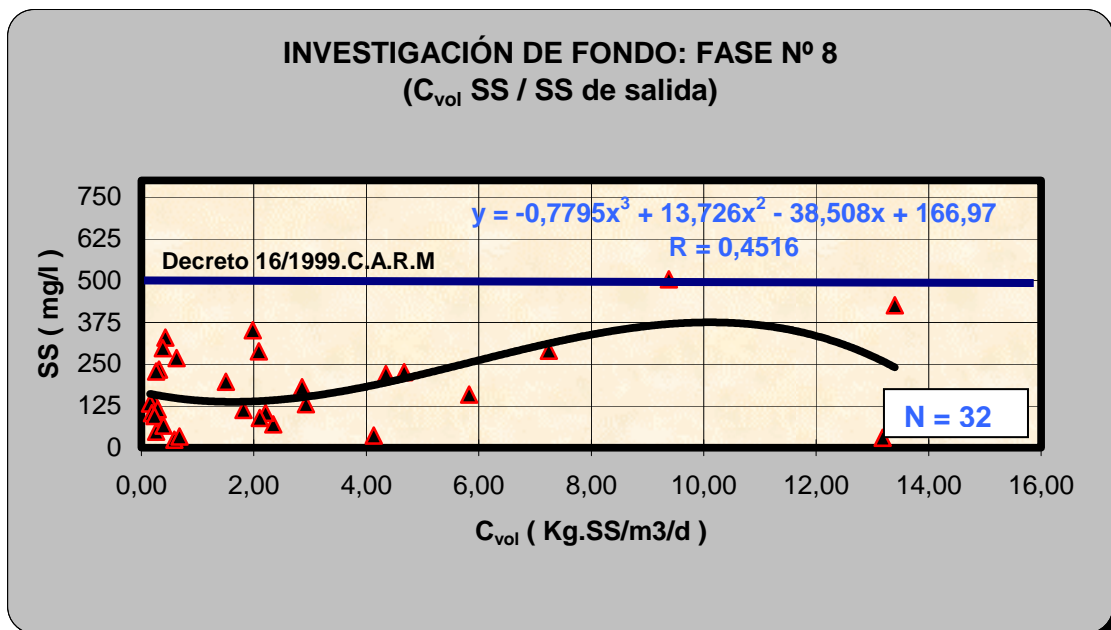


Gráfico 10.110.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. SS/SS de salida.

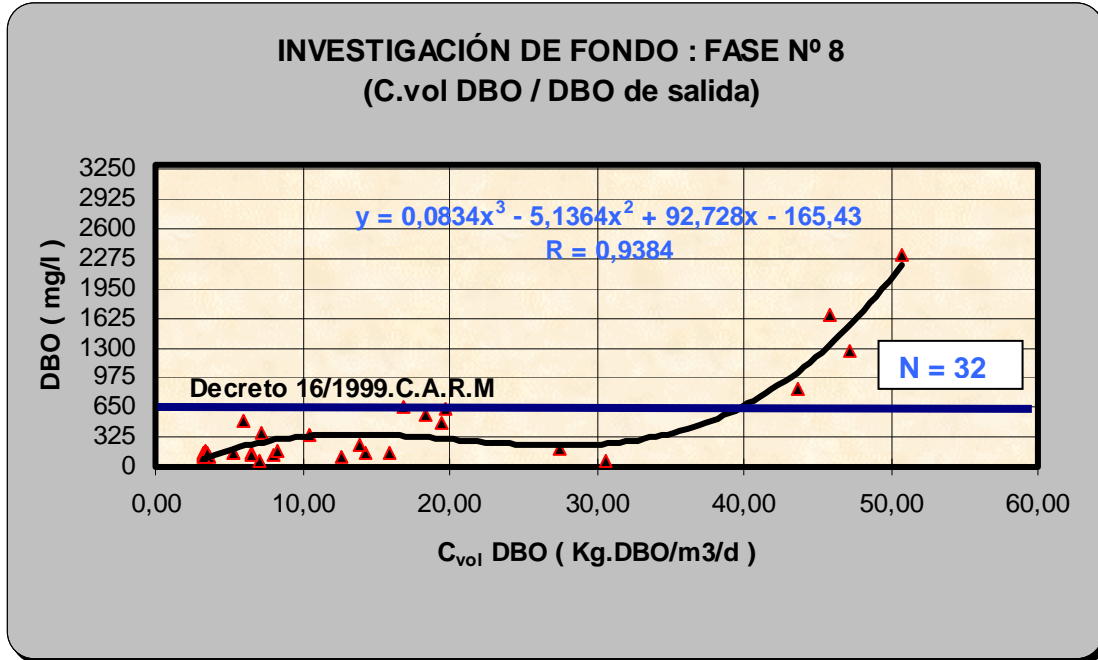


Gráfico 10.111.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DBO/DBO de salida.

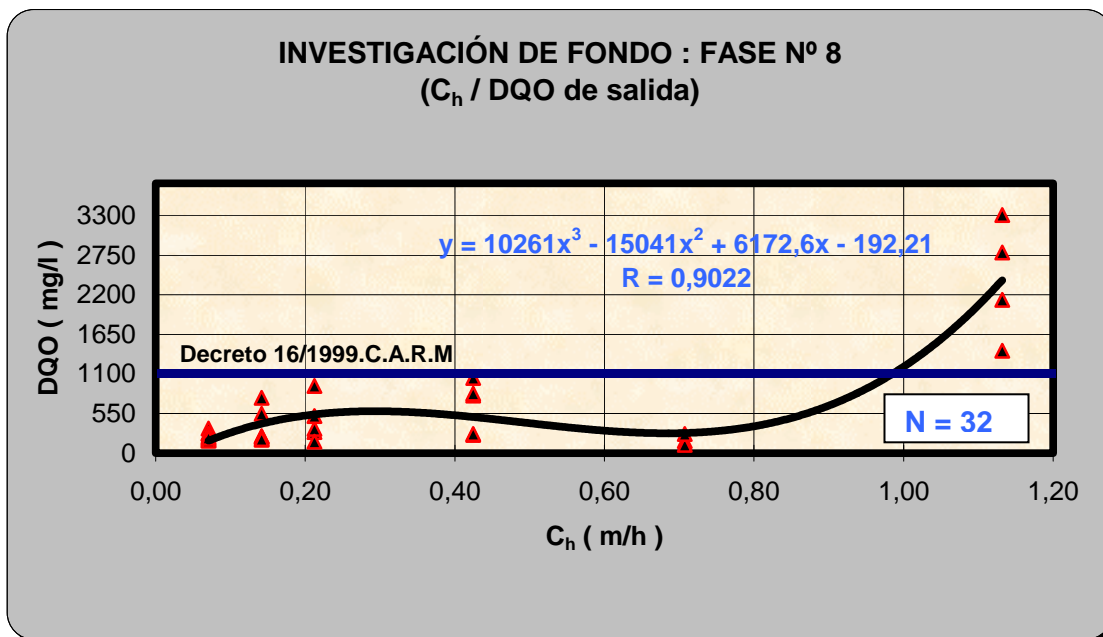


Gráfico 10.112.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/DQO de salida.

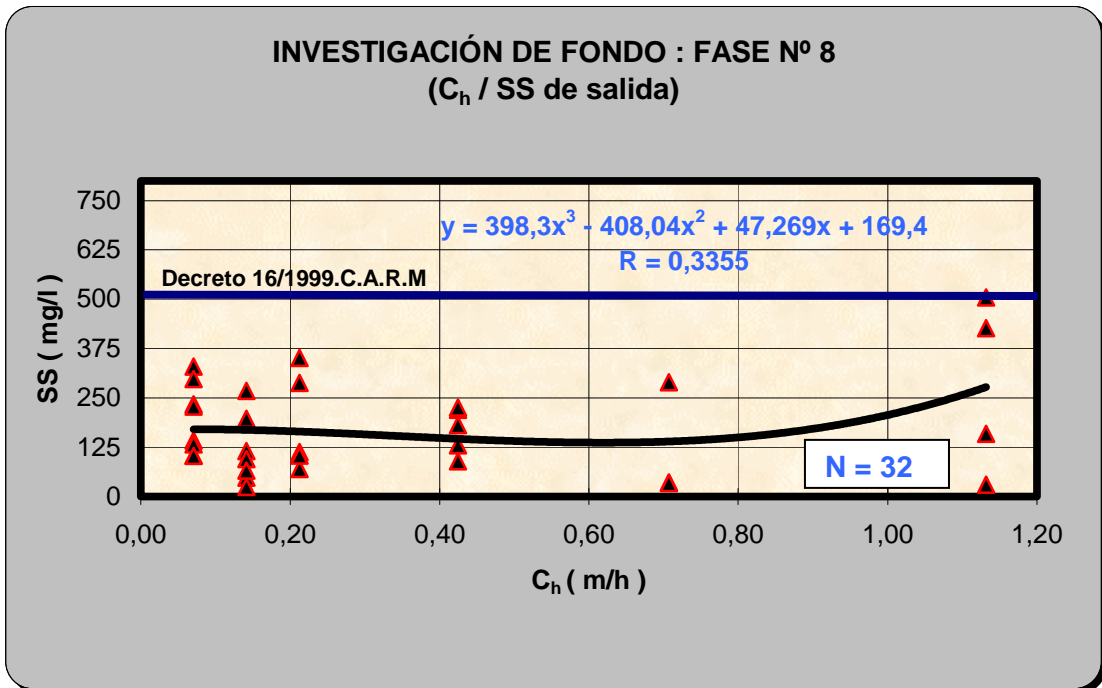


Gráfico 10.113.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/SS de salida.

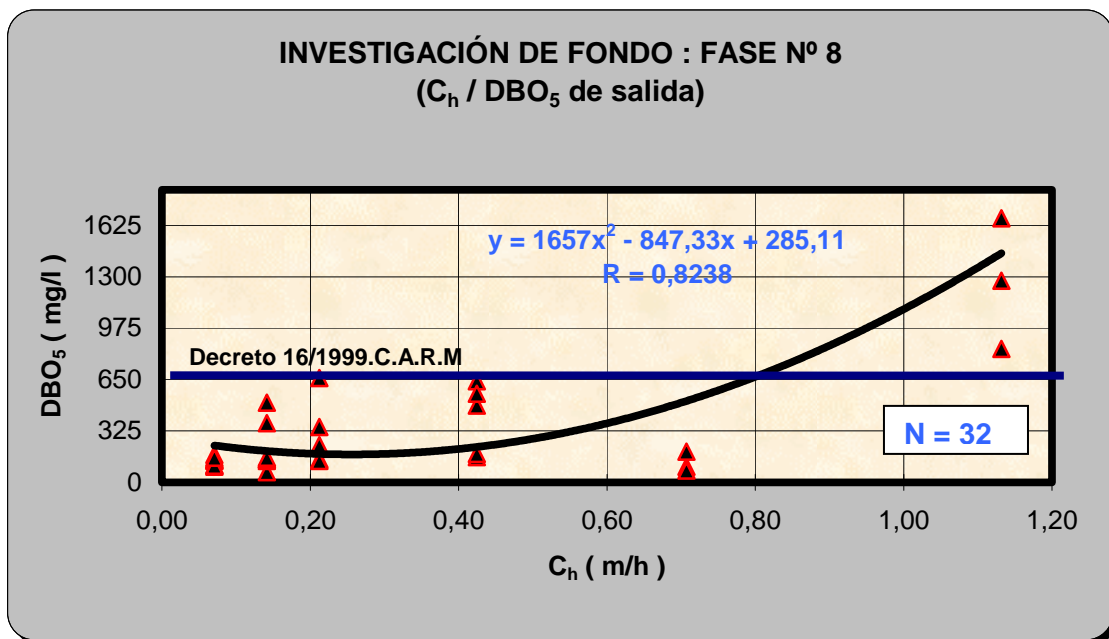


Gráfico 10.114.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/DBO de salida.

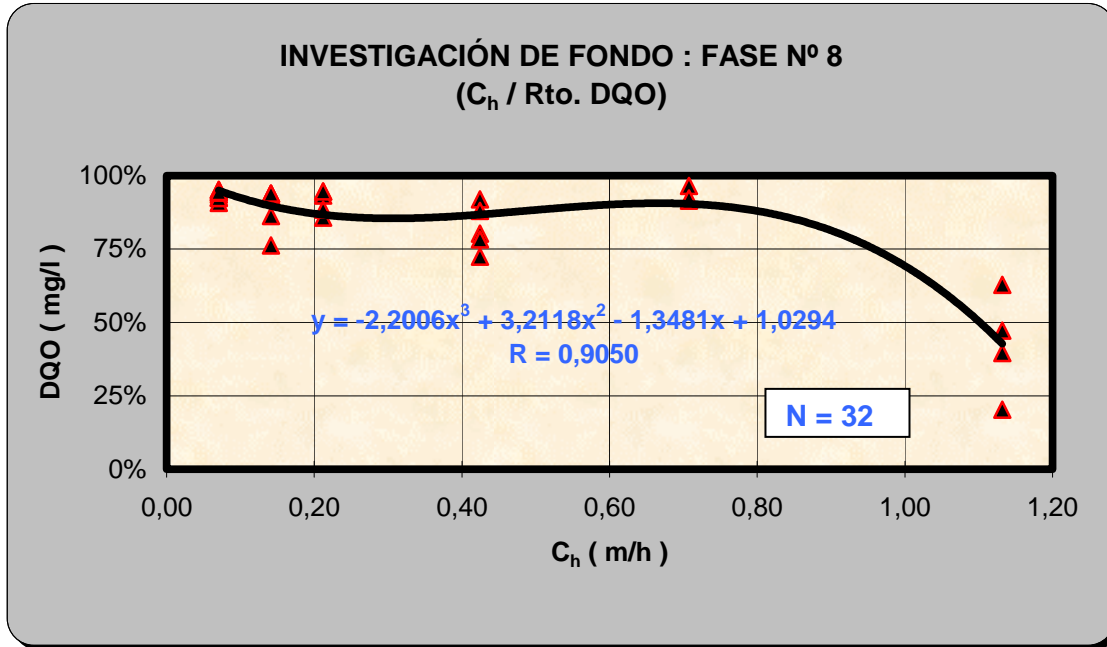


Gráfico 10.115.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DQO.

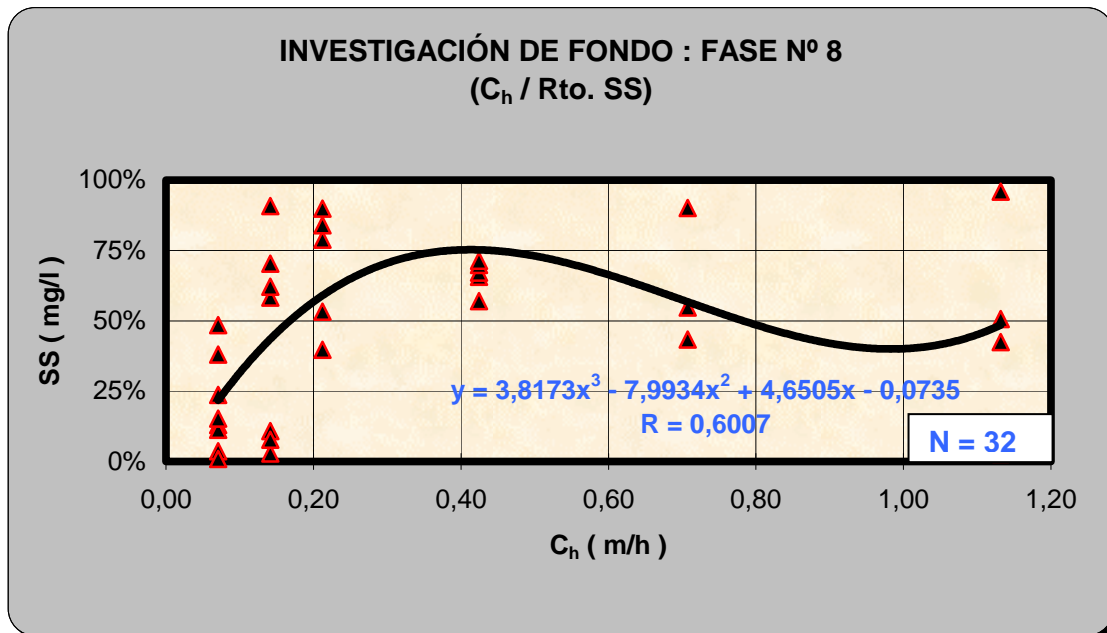


Gráfico 10.116.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de SS.

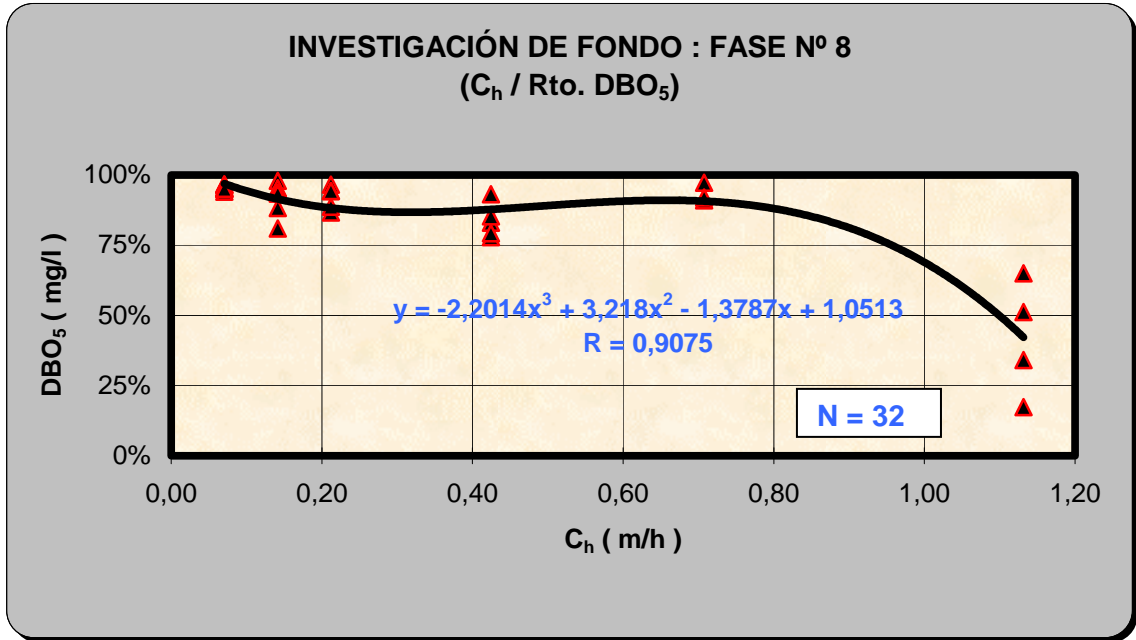


Gráfico 10.117.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga hidráulica/Rendimiento de DBO.

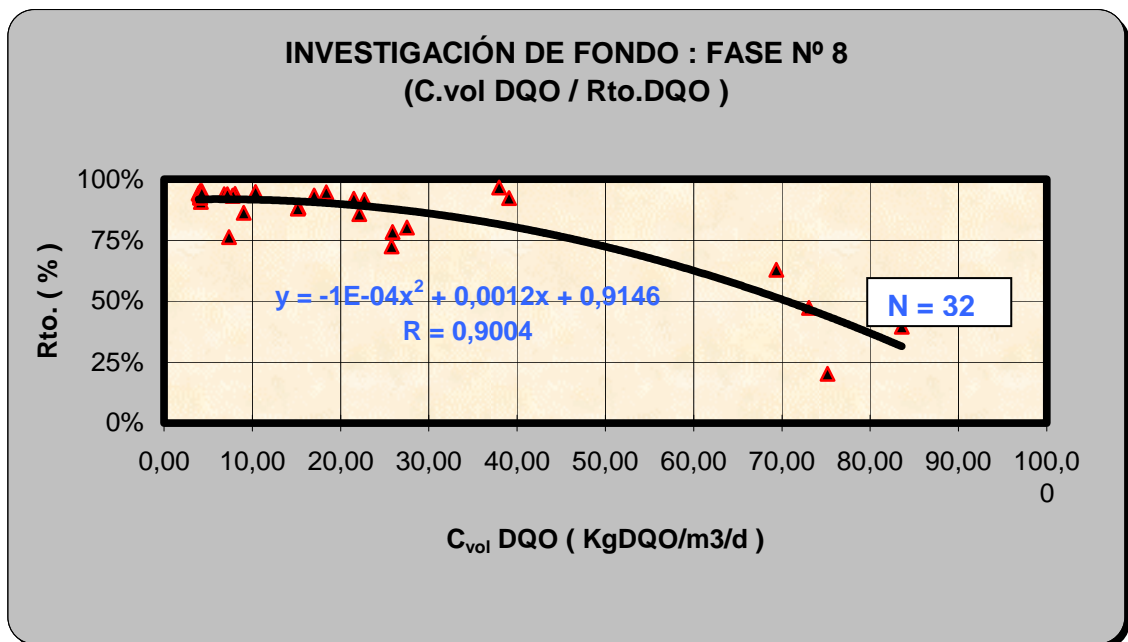


Gráfico 10.118.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. DQO/Rendimiento de DQO.

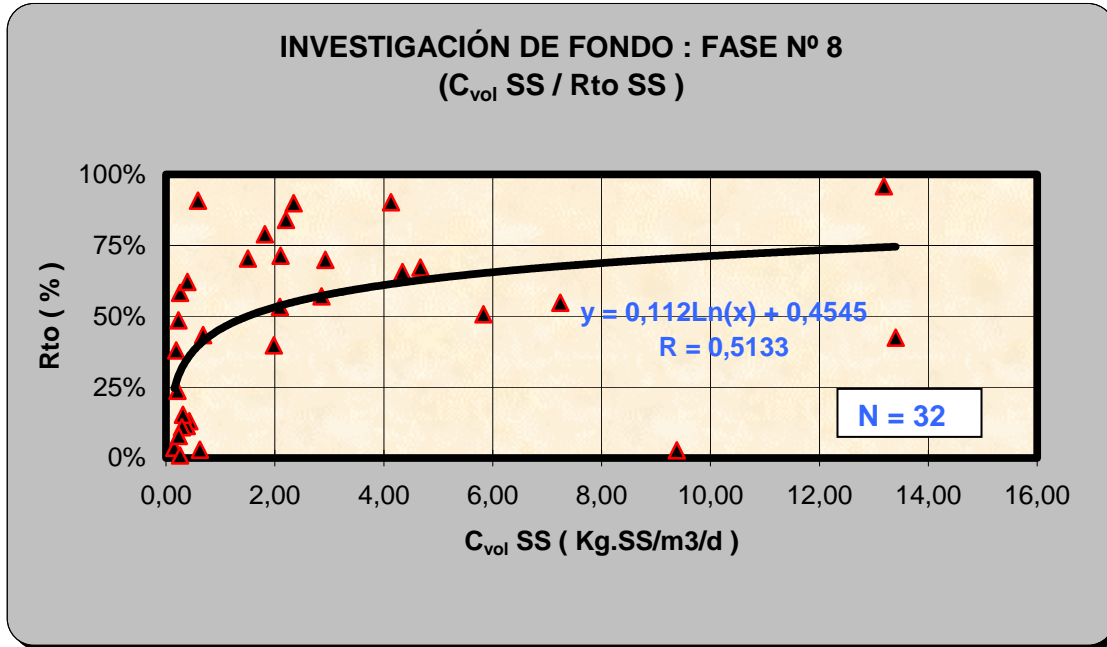


Gráfico 10.119.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol. SS/Rendimiento de SS.

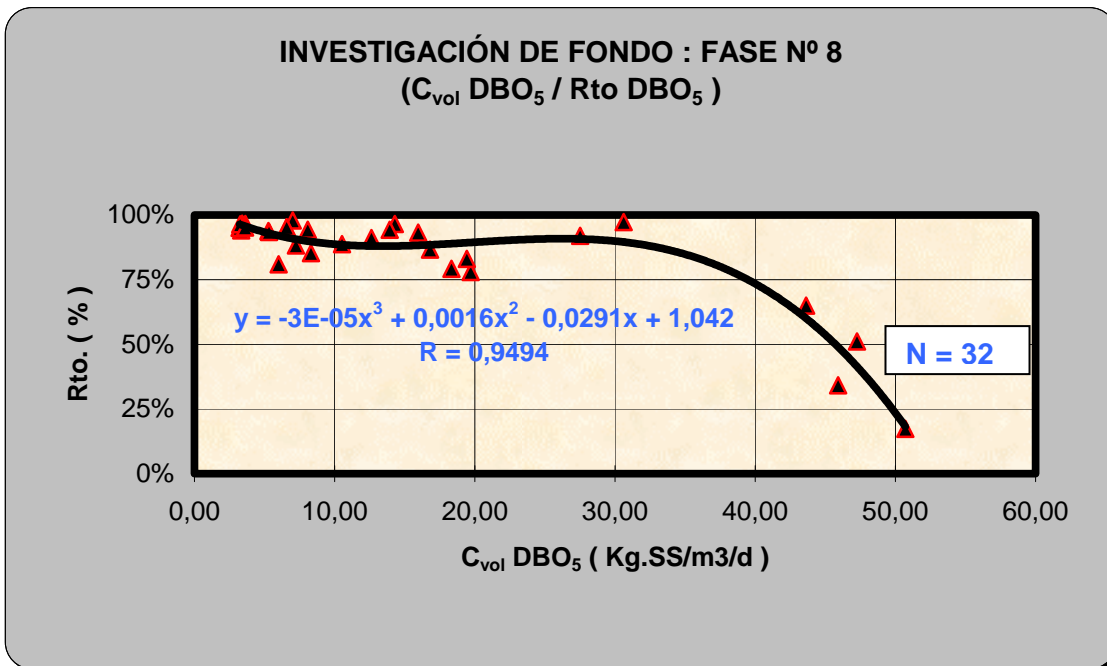


Gráfico 10.120.- Fase nº 8 (I. Fondo): Carga vol DBO/Rendimiento de DBO.

10.3.24.- Discusión y resultados de la Fase nº 8

De los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir :

a) DQO y DBO₅.- Un 85,29% del total de las muestras analizadas a la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DBO₅ establecidos por el Decreto 16/1.999 de La Comunidad Autónoma de La Región de Murcia (650 mg / l). El 88,23% del total de las muestras analizadas de la salida del lecho fueron conformes a los límites de vertido de DQO establecidos por el Decreto 16/1.999 de La Comunidad Autónoma de La Región de Murcia (1.100 mg/l). El incremento de aporte de oxígeno al sistema se tradujo en una ligera mejoría en los resultados de salida. Se observa que para altos caudales (80l/h), se produce un empeoramiento del efluente, motivado probablemente por la insuficiencia de lavado del filtro.

b) SS.- Los resultados se consideran satisfactorios, pues no se superó nunca la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1.999 de La Comunidad Autónoma de La Región de Murcia.

Respecto al estudio sistemático de relación de variables y parámetros, con los cuadros y gráficos anteriores se puede deducir:

a. DQO - Observando las curvas de ajuste que representan la DQO de salida (Graf. 10.109), los resultados siguieron una función polinómica ($y = -0,0004x^4 + 0,0802x^3 - 4,5052 x^2 + 92,632x - 121,58$), con un factor de correlación de $r = 0,9217$. Se aprecia una $C_{vol \cdot max} DQO, = 58 \text{ Kg}$

DQO/m³/d (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una DQO < 1100 mg/l. Por otra parte, en lo que respecta a la C_h , la DQO de salida (Graf.10.112) presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = 10261x^3 - 15041x^2 + 6172,6x - 192,21$), con un factor de correlación de $r = 0,9022$. Se obtiene una $C_{h, \max} = 0,98$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente un umbral de $DQO < 1100$ mg/l. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DQO_{\text{entrada}} = 3.700$ mg/l. Por tanto si se tiene una $DQO_{\text{entrada}} > 3.700$ mg/l (como cabe esperar la mayoría de las veces), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la $DQO_{\text{entrada max}}$ y reducir la carga hidráulica. En caso contrario, se procederá a la inversa, es decir, fijaremos la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica inferior a la máxima. Para valores de carga aplicados a los experimentos de esta fase $C_h \leq 0,71$ m/h todas las muestras analizadas cumplieron (excepto el día 21) las exigencias del Decreto 16/1.999 de la C.A.R.M en DQO.

- b. SS.-Los resultados obtenidos no superaron la concentración máxima admisible (500 mg/l) marcada por el Decreto 16/1.999 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de salida (Graf.10.110) se observaron unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -0,7795x^3 + 13,726x^2 - 38,508x + 166,97$), con un factor de correlación de $r = 0,4516$. Observando las curvas de ajuste que representan los SS de

salida se observa que existen pequeñas fluctuaciones en los niveles de salida para los rangos de carga volumétrica SS ensayados (0,16-13,40).

- c. DBO_5 - Observando las curvas de ajuste que representan la DBO_5 , de salida (Graf. 10.111), los resultados siguieron una función polinómica ($y = 0,0834x^3 - 5,1364x^2 + 92,728x - 165,43$), con un factor de correlación de $r = 0,9384$. Se aprecia una $C_{vol. max} DBO_5 = 40 \text{ Kg } DBO_5/m^3/d$ (obtenida en base al nivel de salida máximo permitido), para obtener una $DBO_5 < 650 \text{ mg/l}$. Por otra parte, respecto a la C_h , la DQO de salida (Graf. 10.114) presentó unos resultados que siguieron una función polinómica ($y = -1617x^2 - 847,33x + 285,11$), con un factor de correlación de $r = 0,8238$. Se obtiene una $C_{h, max} = 0,795$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente el umbral de $DBO_5 < 650 \text{ mg/l}$. Estas cargas se tienen simultáneamente para $DBO_5_{entrada} = 3.145 \text{ mg/l}$. Por tanto si se tiene una $DBO_5_{entrada} < 3.145 \text{ mg/l}$ (como cabe esperar mayoritariamente), significa que, en caso de diseño de un lecho con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica $DBO_5_{entrada}$ inferior a la máxima. Para valores de carga aplicados a los experimentos de esta fase $C_h \leq 0,71 \text{ m/h}$ todas las muestras analizadas cumplieron las exigencias del Decreto 16/1.999 de la C.A.R.M en DBO_5
- d. Al igual que en las otras fases la eliminación de DQO y DBO_5 , para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño. El funcionamiento, en

cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida óptimos.

10.3.25 – Comparativa de resultados entre fases. Presentación gráfica.

Seguidamente se recogen los gráficos relacionados a continuación

Gráfico 10.121 Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DQO

Gráfico 10.122- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de SS

Gráfico 10.123- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DBO₅

Gráfico 10.124.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de DQO

Gráfico 10.125.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de SS

Gráfico 10.126.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de DBO₅

*Gráfico 10.127.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M.
Niveles de salida de DQO*

*Gráfico 10.128.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M.
Niveles de salida de SS*

*Gráfico 10.129.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M.
Niveles de salida de DBO₅*

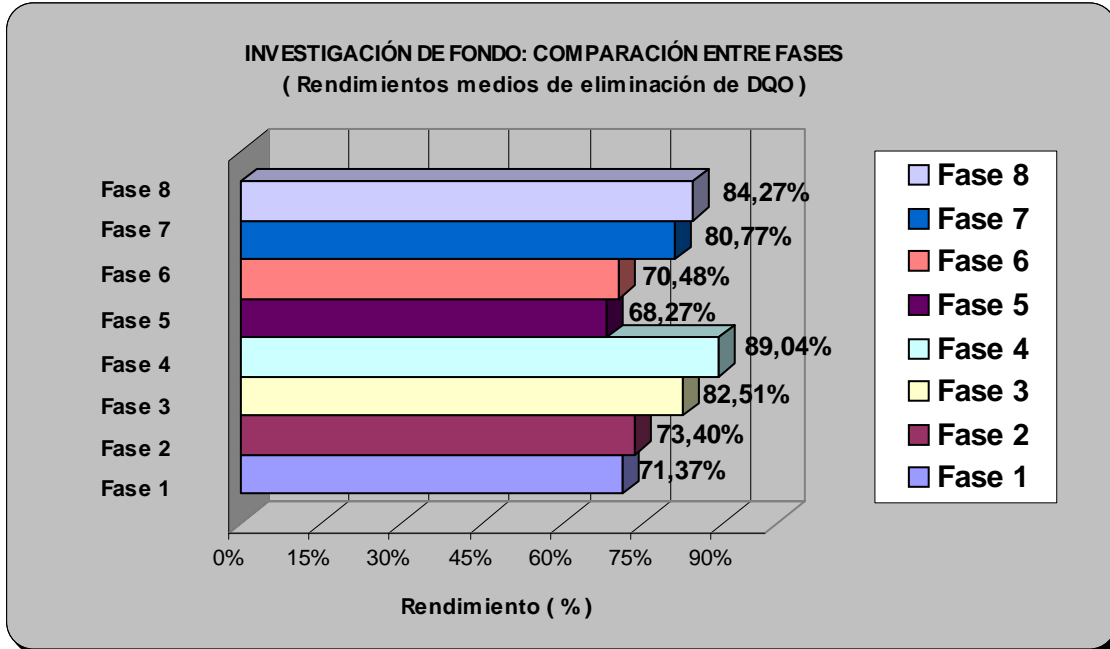


Gráfico 10.121- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DQO.

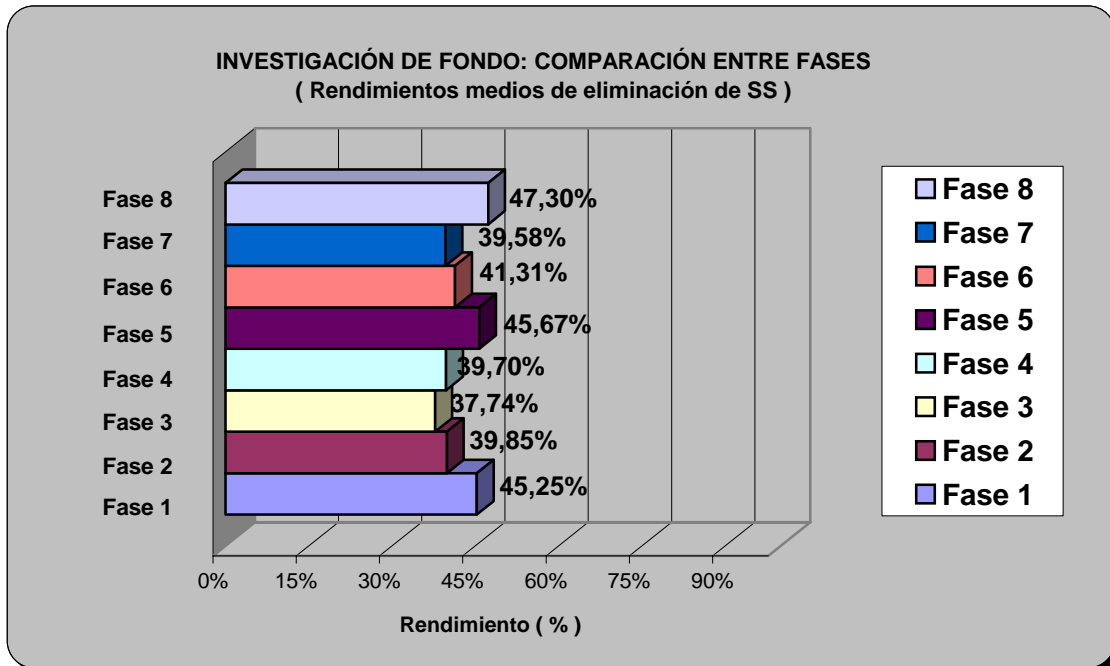


Gráfico 10.122- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de SS.

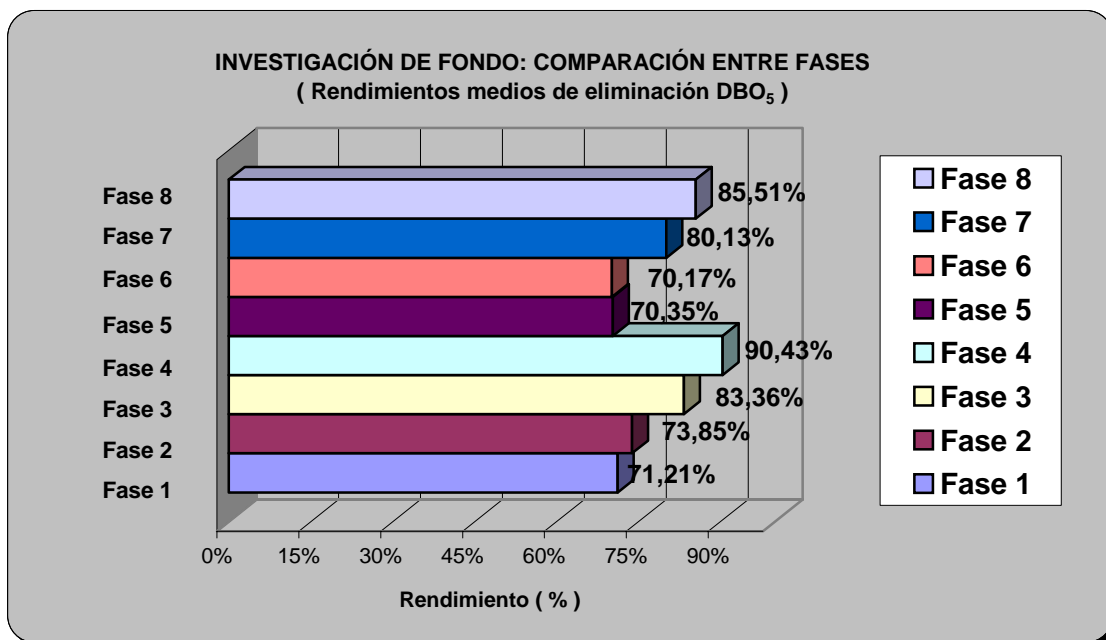


Gráfico 10.123- Comparación entre fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DBO₅.

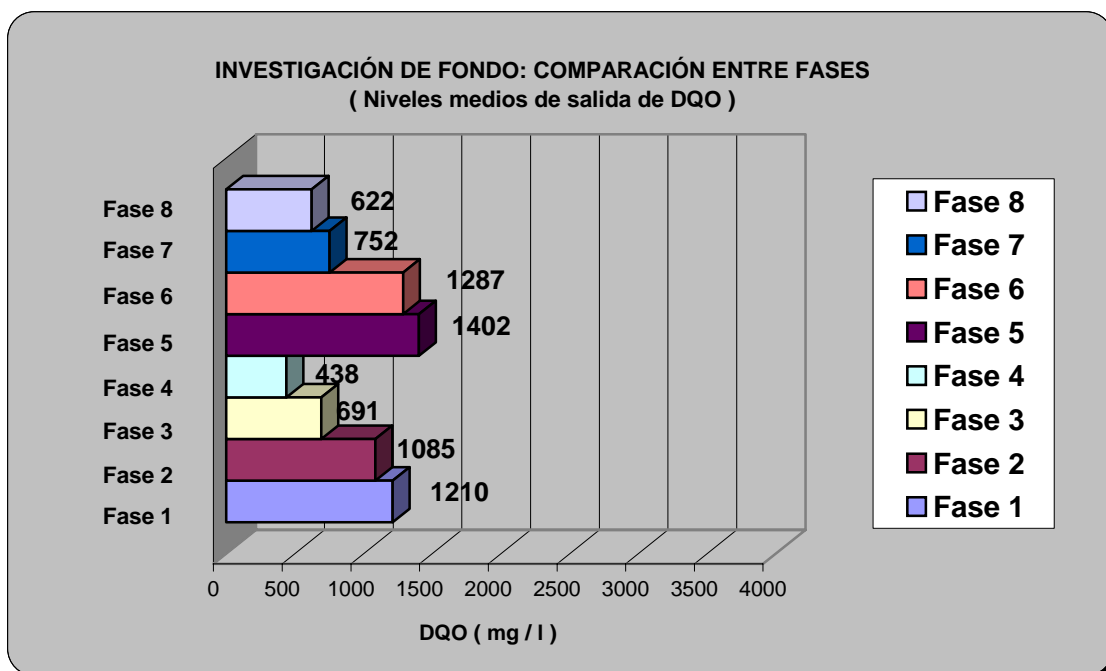


Gráfico 10.124.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de DQO.

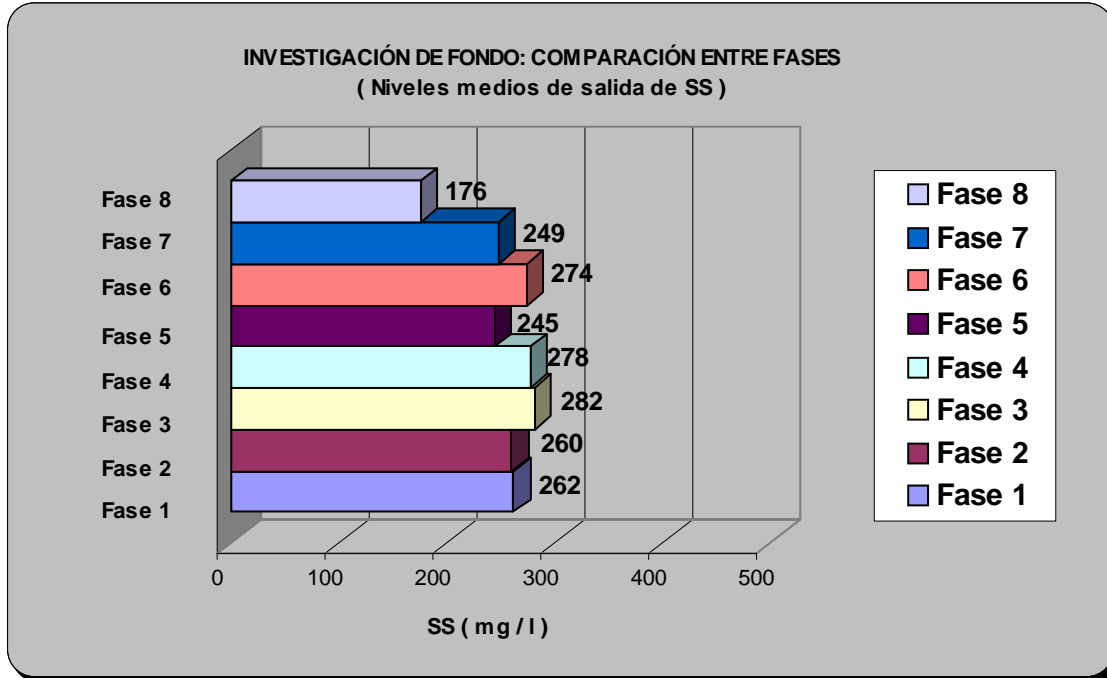


Gráfico 10.125.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de SS.

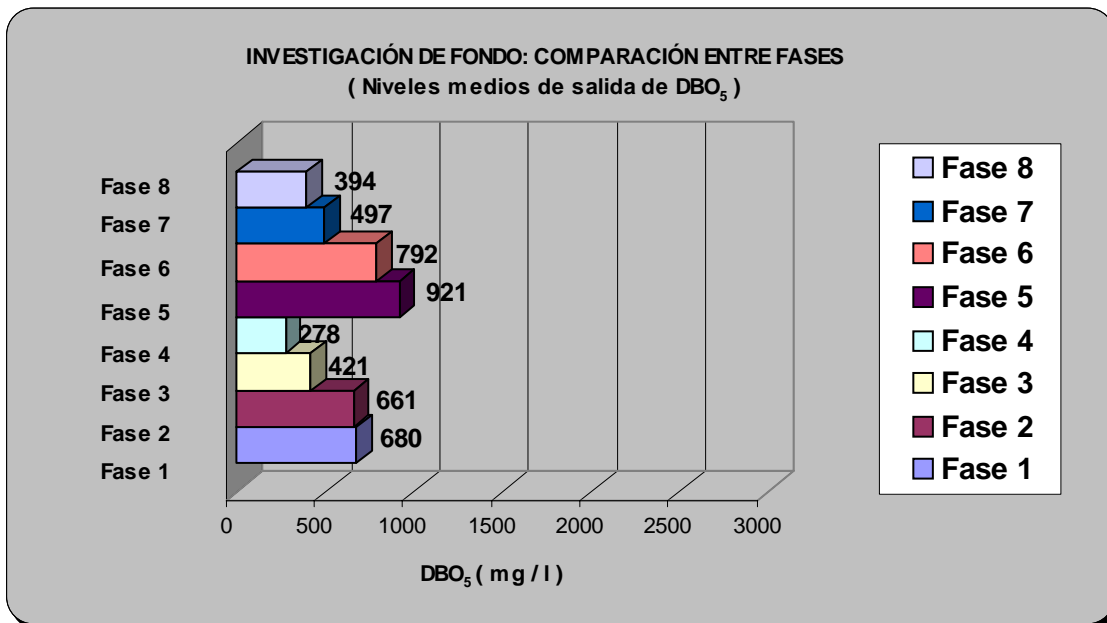


Gráfico 10.126.- Comparación entre fases (I. Fondo):Niveles medios de salida de DBO₅.

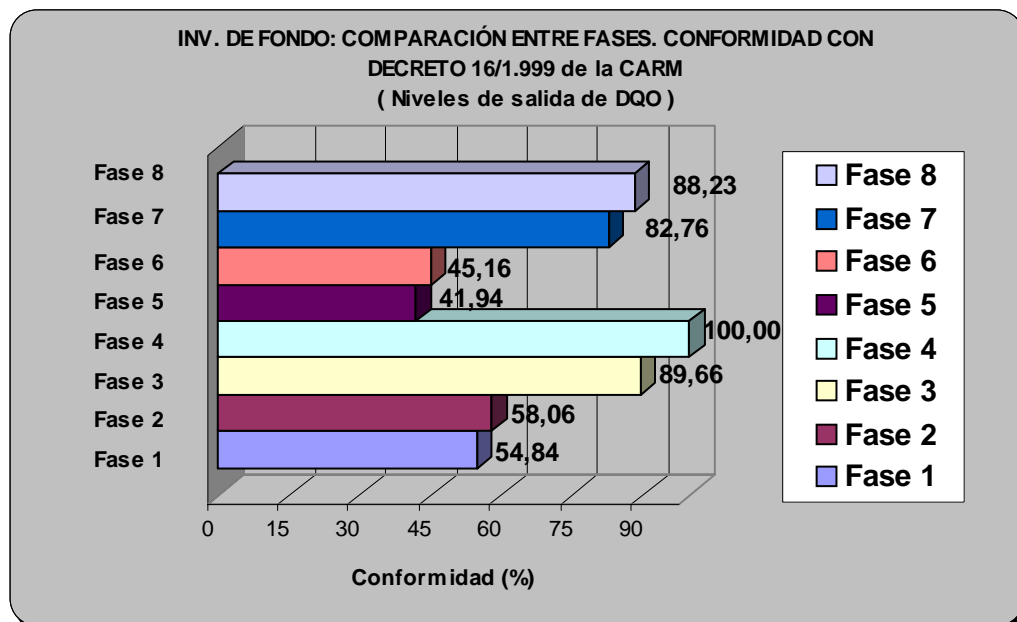


Gráfico 10.127.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M. Niveles de salida de DQO.

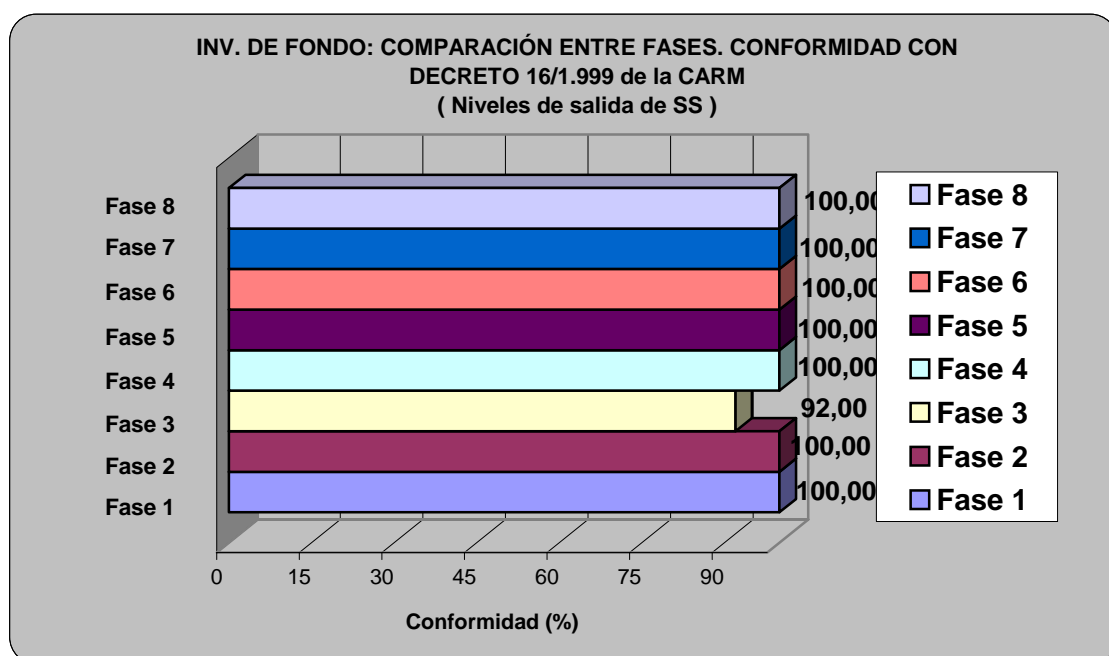


Gráfico 10.128.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M. Niveles de salida de SS.

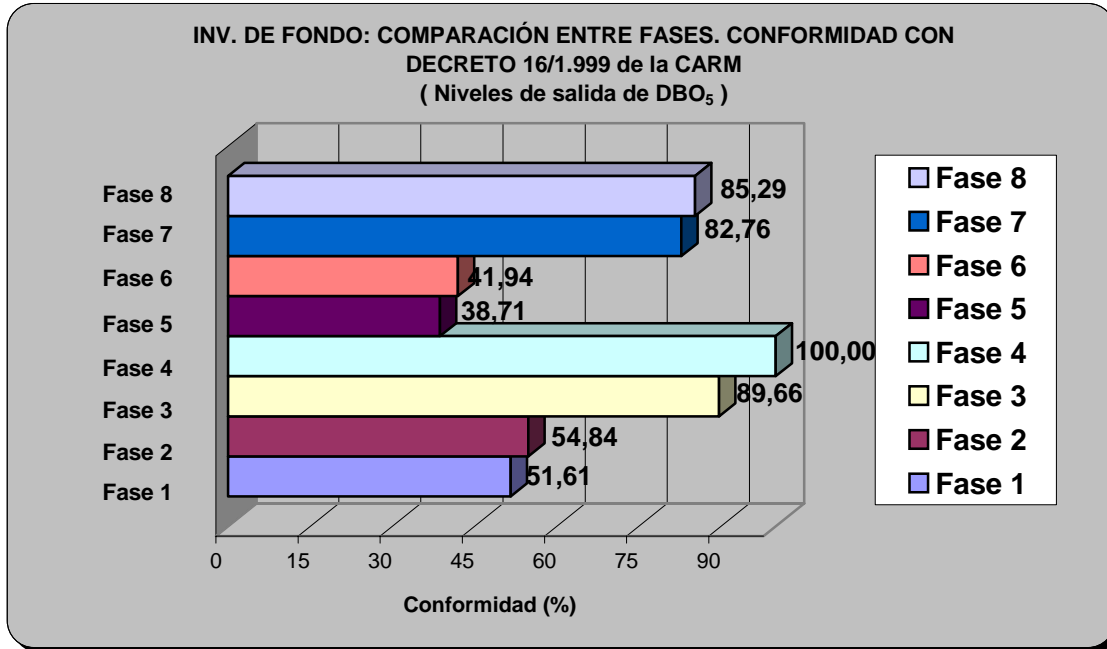


Gráfico 10.129.- Comparación entre fases (I. Fondo): Conformidad con el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M. Niveles de salida de DBO₅.

11.- ESTUDIO DEL LAVADO

11.- ESTUDIO DEL LAVADO

Los lavados de los lechos una vez que se ha producido una pérdida de carga considerable por la colmatación de los mismos debido al paso del agua residual a través de la arcilla expandida, está relacionada estrechamente con la recuperación de los lechos en las horas siguientes. Los condicionantes que rigen los lavados respecto a la recuperación de los lechos son:

- Grado de contaminación del agua bruta en las horas previas.
- Sólidos retenidos en los huecos del material de relleno(arcilla expandida).
- Estado de los microorganismos : nivel de actividad microbiológica, espesor, densidad, etc.

Aplicando criterios de sencillez en la explotación diaria de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, se considera que el lavado tipo debe modificarse lo menos posible, para evitar la aparición de otras variables de proceso no deseadas.

Aplicando estos criterios de sencillez se diseñan automatismos de lavado en base a la progresiva pérdida de carga que tiene lugar en el interior del lecho inundado. Por ello se asociará el comienzo del lavado a un fenómeno meramente físico, que tiene en cuenta el empeoramiento de las condiciones hidráulicas, sin considerar el estado de la biomasa en ese instante.

En la investigación presente se ha ensayado un modelo tipo de lavado que ya se había constatado en investigaciones precedentes de la Cátedra, utilizando flujos ascendentes de aire y agua de lavado (que favorecen la facilidad constructiva de los mecanismos de la depuradora).

En el lavado del lecho inundado se actuó variando los distintos parámetros en busca de la optimización de la operación llegando al siguiente lavado tipo del Reactor Biológico:

- Uso del agua tratada: 16% del volumen tratado diariamente.
- Caudal de agua de lavado: $35 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.
- Caudal de aire de lavado: $80 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{hora}$.
- N° de ciclos de lavado: 3.
- Carrera de lavado: 24 horas.

El tiempo de lavado está en torno a los 12 minutos, aplicando la experiencias anteriores de incremento de efectividad de los lavados rápidos y potentes frente a largos períodos de aclarado.

12.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE

12.1.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el programa Statgraphics Plus para Windows 5.1. Se realizó un análisis multifactorial de la varianza para las variables $DBO_{5\text{ salida}}$, $DQO_{\text{ salida}}$, y $SS_{\text{ salida}}$, con el objetivo de determinar los factores que tienen un efecto significativo sobre las mencionadas variables. Los estudios que se realizaron fueron :

- Estudio sobre la $DBO_{5\text{ salida}}$, en relación a la $C_{\text{vol DBO}}$ aplicada.
- Estudio sobre la $DQO_{\text{ salida}}$, en relación a la $C_{\text{vol DQO}}$ aplicada.
- Estudio sobre los $SS_{\text{ salida}}$, en relación a la $C_{\text{vol SS}}$ aplicada.
- Estudio sobre la $DQO_{\text{ salida}}$, en relación a la $C_{\text{hidráulica}}$ aplicada.
- Estudio sobre los $SS_{\text{ salida}}$, en relación a la $C_{\text{hidráulica}}$ aplicada.

Estudio sobre la $DBO_{5, salida}$, en relación a la $C_{vol DBO}$ aplicada.

En primer lugar se realizó un análisis multifactorial de la varianza para la variable $DBO_{5, salida}$. El principal objetivo de este análisis consiste en determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en la $DBO_{5, salida}$. Los F-tests en la tabla ANOVA permiten identificar los factores significantes. Asimismo, se pretende definir qué medias son significativamente diferentes de otras. Se acompaña el Gráfico de Medias para facilitar la interpretación de los efectos significantes.

En los siguientes datos estadísticos se tiene :

- Variable dependiente: $DBO_{5, salida}$
- Factor: FASE
- Covariable: $C_{vol DBO}$ aplicada al lecho inundado
- Factor: FASE
- Número de casos completos: 245

Cuadro 12.1.- Síntesis Análisis de la Varianza para $DBO_{5, salida}$ - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor

COVARIANTES					
$C_{vol DBO}$	6,68334E6	1	6,68334E6	129,23	0,0000
EFECTOS PRINCIPALES					
A:FASE	7,39064E6	7	1,05581E6	20,42	0,0000
RESIDUOS	1,22049E7	236	51715,7		

TOTAL (CORREGIDO)	2,92697E7	244			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los P-valores comprueban la importancia estadística del factor. Del cuadro se desprende que, dado que 2 p-valores son inferiores a 0,05, el factor considerado tiene efecto estadísticamente significativo en DBO₅, salida para un 95,0%.

Cuadro 12.2.- Contraste múltiple de rangos para DBO₅ de salida según FASE.

Método: 95,0 porcentaje LSD				
FASE	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	31	316,235	40,981	X
3	29	424,431	42,2305	XX
8	32	447,516	40,4734	X
7	29	503,617	42,2326	X
2	31	637,867	40,8933	X
1	31	676,751	40,8454	XX
6	31	778,61	40,8614	XX
5	31	858,669	41,214	X

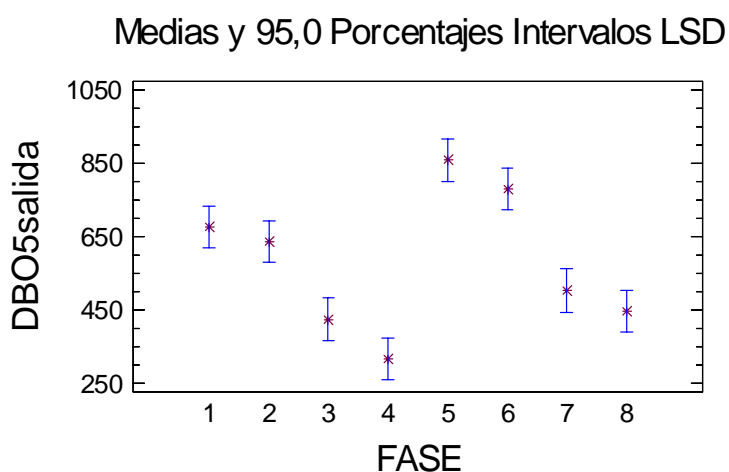
Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	38,8834	98,3754
1 - 3	*252,319	136,338
1 - 4	*360,516	138,09
1 - 5	*-181,918	135,919
1 - 6	-101,859	137,052
1 - 7	*173,133	136,222
1 - 8	*229,235	138,074
2 - 3	*213,436	75,5658
2 - 4	*321,633	77,5407
2 - 5	*-220,801	75,4878
2 - 6	*-140,743	76,4091
2 - 7	*134,25	75,4586
2 - 8	*190,352	77,5357
3 - 4	108,197	115,834
3 - 5	*-434,237	114,283
3 - 6	*-354,179	114,005
3 - 7	-79,1861	113,807
3 - 8	-23,0844	115,85
4 - 5	*-542,434	115,892
4 - 6	*-462,375	116,314
4 - 7	*-187,383	115,781
4 - 8	*-131,281	117,655
5 - 6	80,0585	115,125
5 - 7	*355,051	114,146
5 - 8	*411,153	115,873
6 - 7	*274,993	114,114
6 - 8	*331,094	116,353
7 - 8	56,1017	115,791

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla nos informa del procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior del Cuadro muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 21 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la página, se identifican 5 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Gráfico 12.1.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. DBO₅ salida



En cuanto al comportamiento de las fases en el proceso, los resultados han mostrado que las Fases 3 y 4 presentan mejores resultados (Flujo Co-corriente) en los niveles de DBO_5 a la salida del lecho inundado. Aunque los resultados son mejores con la aireación de 24,44 $Nm^3/m^2/h$ (Fase 4) que con la de 10,47 $Nm^3/m^2/h$ (Fase 3), las diferencias entre ellos no resultaron significativas, tal y como se demuestra en los análisis estadísticos anteriores. Así mismo se observa un mejor comportamiento del sistema en general en las fases donde la granulometría del relleno era de 3-7 mm (Fases 1, 2, 3 y 4).

Estudio sobre la DQO_{salida} , en relación a la $C_{vol DQO}$ aplicada.

En primer lugar se realizó un análisis multifactorial de la varianza para la variable DQO_{salida} . El principal objetivo de este análisis consiste en determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en la DQO_{salida} . Los F-tests en la tabla ANOVA permiten identificar los factores significantes. Asimismo, se pretende definir qué medias son significativamente diferentes de otras. Se acompaña el Gráfico de Medias para facilitar la interpretación de los efectos significantes.

En los siguientes datos estadísticos se tiene :

- Variable dependiente: DQO_{salida}
- Factor: FASE
- Covariable: $C_{vol DQO}$ aplicada al lecho inundado
- Factor: FASE
- Número de casos completos: 245

Cuadro 12.3.- Síntesis Análisis de la Varianza para DQO_{salida} - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
COVARIANTES					
CvoldQO	1,76951E7	1	1,76951E7	159,89	0,0000
EFECTOS PRINCIPALES					
A:FASE	1,797E7	7	2,56714E6	23,20	0,0000
RESIDUOS	2,61188E7	236	110673,0		
TOTAL (CORREGIDO)	7,09322E7	244			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los P-valores comprueban la importancia estadística del factor. Del cuadro se desprende que, dado que 2 p-valores son inferiores a 0,05, el factor considerado tiene efecto estadísticamente significativo en DQO_{salida} para un 95,0%.

Cuadro 12.4.- Contraste múltiple de rangos para DQO de salida según FASE

Método: 95,0 porcentaje LSD				
FASE	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos

4	31	531,853	60,2013	X
3	29	698,96	61,7791	XX
8	32	727,17	59,3931	X
7	29	758,344	61,7785	X
2	31	1029,69	59,9101	X
1	31	1166,58	59,8517	XX
6	31	1237,68	59,8782	X
5	31	1336,11	59,9776	X

Contraste	Diferencias		+/-	Límites

1 - 2	136,89		143,859	
1 - 3	*467,625		199,504	
1 - 4	*634,731		201,921	
1 - 5	-169,529		198,949	
1 - 6	-71,096		199,647	
1 - 7	*408,24		199,432	
1 - 8	*439,415		201,925	
2 - 3	*330,735		110,703	
2 - 4	*497,842		113,421	
2 - 5	*-306,419		110,946	
2 - 6	*-207,986		110,872	
2 - 7	*271,351		110,622	
2 - 8	*302,525		113,422	
3 - 4	167,106		169,599	
3 - 5	*-637,154		168,066	
3 - 6	*-538,721		166,478	
3 - 7	-59,3848		166,473	
3 - 8	-28,2105		169,592	
4 - 5	*-804,261		169,839	
4 - 6	*-705,827		169,703	
4 - 7	*-226,491		169,549	
4 - 8	*-195,317		172,115	
5 - 6	98,4333		168,303	
5 - 7	*577,77		167,944	
5 - 8	*608,944		169,848	
6 - 7	*479,336		166,49	
6 - 8	*510,51		169,695	
7 - 8	31,1743		169,543	

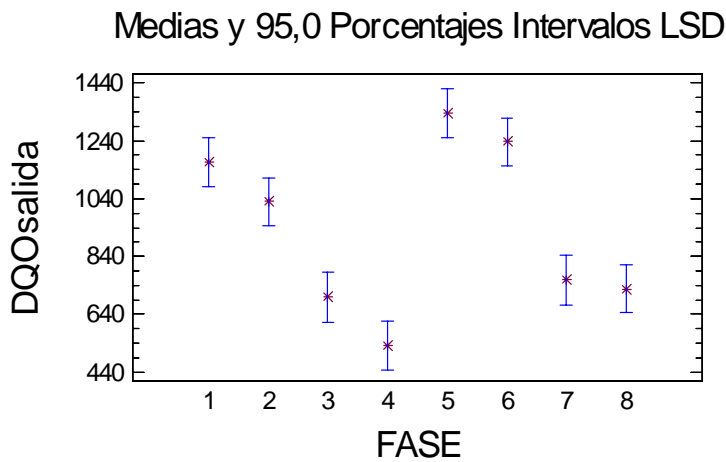
* indica una diferencia significativa.				

Esta tabla nos informa del procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior del Cuadro muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El

asterisco que se encuentra al lado de los 20 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la página, se identifican 4 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Gráfico 12.2.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. DQO salida



Al igual que estudio anterior, los resultados han mostrado que las Fases 3 y 4 presentan mejores resultados en los niveles de DQO a la salida del lecho inundado aunque las diferencias entre ellos tampoco resultaron significativas.

Estudio sobre los SS_{salida} , en relación a la C_{volSS} aplicada.

En primer lugar se realizó un análisis multifactorial de la varianza para la variable SS_{salida} . El principal objetivo de este análisis consiste en determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en los SS_{salida} . Los F-tests en la tabla ANOVA permiten identificar los factores significantes. Asimismo, se pretende definir qué medias son significativamente diferentes de otras. Se acompaña el Gráfico de Medias para facilitar la interpretación de los efectos significantes.

En los siguientes datos estadísticos se tiene :

- Variable dependiente: SS_{salida}
- Factor: FASE
- Covariable: C_{volSS} aplicada al lecho inundado
- Factor: FASE
- Número de casos completos: 245

Cuadro 12.5.- Síntesis Análisis de la Varianza para SS_{salida} - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
COVARIANTES					
C_{volss}	170528,0	1	170528,0	20,47	0,0000
EFECTOS PRINCIPALES					
A:FASE	231368,0	7	33052,6	3,97	0,0004
RESIDUOS	1,96587E6	236	8329,95		
TOTAL (CORREGIDO)	2,43691E6	244			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los P-valores comprueban la importancia estadística del factor. Del cuadro se desprende que, dado que 2 p-valores son inferiores a 0,05, el factor considerado tiene efecto estadísticamente significativo en SS_{salida} para un 95,0%.

Cuadro 12.6.- Contraste múltiple de rangos para SS de salida según FASE

Método: 95,0 porcentaje LSD				
FASE	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos

8	32	182,706	16,1996	X
4	31	222,824	16,5619	XX
5	31	241,201	16,41	XX
1	31	256,602	16,4399	XX
2	31	258,824	16,3961	X
6	31	269,84	16,4209	X
7	29	278,267	16,9517	X
3	29	280,815	16,9496	X

Contraste			Diferencias	+/- Límites

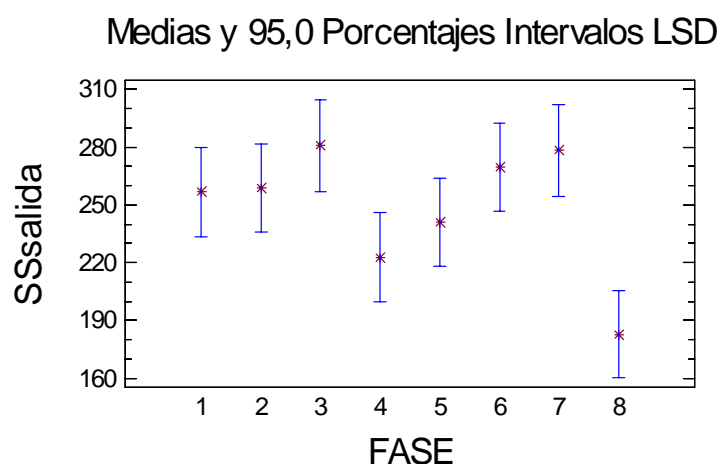
1 - 2			-2,22256	40,1005
1 - 3			-24,2131	54,6185
1 - 4			33,778	55,4486
1 - 5			15,4005	55,1471
1 - 6			-13,2385	54,584
1 - 7			-21,6654	54,5709
1 - 8			*73,8958	55,4362
2 - 3			-21,9905	30,5756
2 - 4			*36,0006	31,4097
2 - 5			17,6231	30,248
2 - 6			-11,0159	30,7053
2 - 7			-19,4429	30,7793
2 - 8			*76,1183	31,4431
3 - 4			*57,9911	46,4521
3 - 5			39,6136	45,9831
3 - 6			10,9746	45,6777
3 - 7			2,54764	45,6868
3 - 8			*98,1088	46,4514
4 - 5			-18,3775	46,7303
4 - 6			*-47,0165	46,4635
4 - 7			*-55,4435	46,4746
4 - 8			40,1177	47,2198
5 - 6			-28,639	46,0837
5 - 7			-37,066	46,1402
5 - 8			*58,4952	46,7569
6 - 7			-8,42694	45,6725
6 - 8			*87,1343	46,4586
7 - 8			*95,5612	46,4677

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla nos informa del procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior del Cuadro muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 10 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Gráfico 12.3.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. SS salida



En cuanto al comportamiento de las fases en el proceso, los resultados han mostrado que las Fases 4 y 8 presentaron mejores resultados. Aunque de forma poco

significativa, pues nos encontramos concentraciones muy similares de SS a la salida del lecho, se aprecia una cierta tendencia a obtener concentraciones más reducidas para caudales mayores de aire de proceso, en el flujo co-corriente y produciéndose el efecto contrario en el flujo contracorriente.

Estudio sobre la DQO_{salida} , en relación a la $C_{hidráulica}$ aplicada.

En primer lugar se realizó un análisis multifactorial de la varianza para la variable DQO_{salida} . El principal objetivo de este análisis consiste en determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en la DQO_{salida} . Los F-tests en la tabla ANOVA permiten identificar los factores significantes. Asimismo, se pretende definir qué medias son significativamente diferentes de otras. Se acompaña el Gráfico de Medias para facilitar la interpretación de los efectos significantes.

En los siguientes datos estadísticos se tiene :

- Variable dependiente: DQO_{salida}
- Factor: FASE
- Covariable: C_h aplicada al lecho inundado
- Factor: FASE

Número de casos completos: 245

Cuadro 12.7.- Síntesis Análisis de la Varianza para DQO_{salida} - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
COVARIANTES					
Ch	1,54433E7	1	1,54433E7	128,47	0,0000
EFECTOS PRINCIPALES					
A:FASE	2,12452E7	7	3,03503E6	25,25	0,0000
RESIDUOS	2,83705E7	236	120214,0		
TOTAL (CORREGIDO)	7,09322E7	244			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los P-valores comprueban la importancia estadística del factor. Del cuadro se desprende que, dado que 2 p-valores son inferiores a 0,05, el factor considerado tiene efecto estadísticamente significativo en DQO_{salida} para un 95,0%.

Cuadro 12.8.- Contraste múltiple de rangos para DQO de salida según FASE

Método: 95,0 porcentaje LSD				
FASE	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	31	507,823	62,5693	X
3	29	689,653	64,3843	X
8	32	696,466	61,6418	X
7	29	738,782	64,3939	X
2	31	1047,74	62,3593	X
1	31	1178,4	62,3375	XX
6	31	1256,82	62,3301	X
5	31	1369,85	62,3375	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	130,659	291,307
1 - 3	*488,743	236,893
1 - 4	*670,573	242,63
1 - 5	-191,452	246,372
1 - 6	-78,4262	237,317
1 - 7	*439,614	237,479
1 - 8	*481,93	241,684
2 - 3	*358,084	177,296
2 - 4	*539,914	174,886
2 - 5	*-322,111	163,667
2 - 6	*-209,085	176,633
2 - 7	*308,955	176,381
2 - 8	*351,271	176,297
3 - 4	*181,83	176,571
3 - 5	*-680,195	174,478
3 - 6	*-567,169	173,5
3 - 7	-49,1288	173,502
3 - 8	-6,81301	176,515
4 - 5	*-862,025	176,892
4 - 6	*-749,0	176,543
4 - 7	*-230,959	176,533
4 - 8	*-188,643	179,391
5 - 6	113,025	174,388
5 - 7	*631,066	174,354
5 - 8	*673,382	177,035
6 - 7	*518,04	173,498
6 - 8	*560,356	176,496
7 - 8	42,3158	176,49

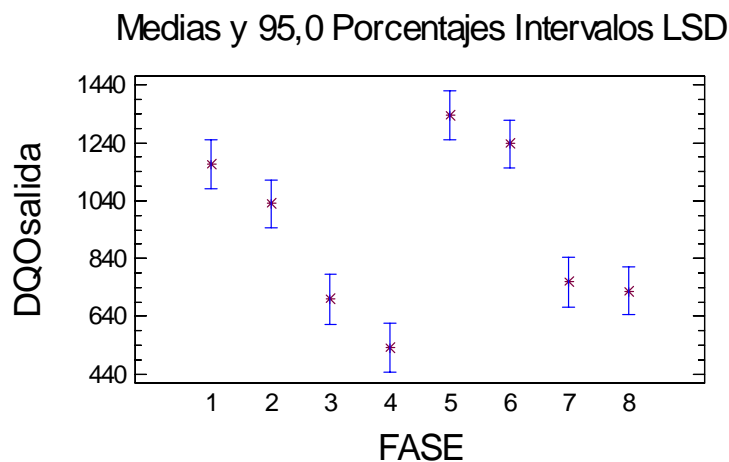
* indica una diferencia significativa.

Esta tabla nos informa del procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior del Cuadro muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El

asterisco que se encuentra al lado de los 21 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la página, se identifican 4 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Gráfico 12.4.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. DQO salida



En cuanto al comportamiento de las fases en el proceso, los resultados han mostrado que las Fases 3 y 4 presentan mejores resultados (Flujo Co-corriente) en los niveles de DQO a la salida del lecho inundado. Los resultados son mejores con la aireación de 24,44 Nm³/m²/h (Fase 4) que con la de 10,47 Nm³/m²/h (Fase 3), y aquí las diferencias entre ellos sí resultaron significativas, tal y como se deduce del estudio estadístico anterior.

Estudio sobre los SS_{salida} , en relación a la $C_{hidráulica}$ aplicada

En primer lugar se realizó un análisis multifactorial de la varianza para la variable SS_{salida} . El principal objetivo de este análisis consiste en determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en la SS_{salida} . Los F-tests en la tabla ANOVA permiten identificar los factores significantes. Asimismo, se pretende definir qué medias son significativamente diferentes de otras. Se acompaña el Gráfico de Medias para facilitar la interpretación de los efectos significantes.

En los siguientes datos estadísticos se tiene :

- Variable dependiente: SS_{salida}
- Factor: FASE
- Covariable: C_h aplicada al lecho inundado
- Factor: FASE

Número de casos completos: 245

Cuadro 12.9.- Síntesis Análisis de la Varianza para SS_{salida} - Sumas de Cuadrados de Tipo III.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
COVARIANTES					
Ch	24881,4	1	24881,4	2,78	0,0967
EFECTOS PRINCIPALES					
A:FASE	270907,0	7	38701,0	4,33	0,0002
RESIDUOS	2,11151E6	236	8947,09		
TOTAL (CORREGIDO)	2,43691E6	244			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los P-valores comprueban la importancia estadística del factor. Del cuadro se desprende que, dado que un p-valor es inferior a 0,05, el factor considerado tiene efecto estadísticamente significativo en DQO_{salida} para un 95,0%.

Cuadro 12.10.- Contraste múltiple de rangos para SS de salida según FASE

Método: 95,0 porcentaje LSD

FASE	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
8	32	179,109	16,8166	X
4	31	214,898	17,0696	XX
5	31	243,351	17,0064	XX
2	31	258,924	17,0124	XX
1	31	260,964	17,0064	XX
6	31	273,008	17,0044	X
7	29	279,315	17,5674	X
3	29	281,756	17,5648	X

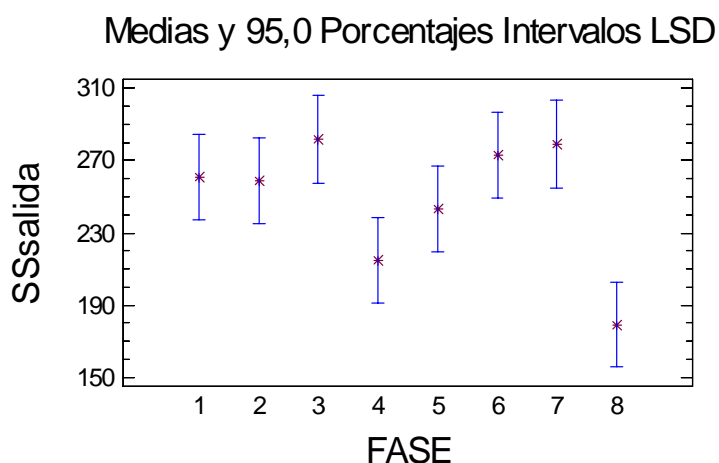
Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	2,03996	79,472
1 - 3	-20,7919	64,6273
1 - 4	46,0656	66,1922
1 - 5	17,6129	67,2131
1 - 6	-12,0444	64,7428
1 - 7	-18,3514	64,787
1 - 8	*81,8546	65,9344
2 - 3	-22,8319	48,3685
2 - 4	44,0257	47,7111
2 - 5	15,5729	44,6502
2 - 6	-14,0844	48,1876
2 - 7	-20,3914	48,1189
2 - 8	*79,8147	48,0959
3 - 4	*66,8575	48,1708
3 - 5	38,4048	47,5996
3 - 6	8,7475	47,3328
3 - 7	2,44051	47,3334
3 - 8	*102,647	48,1554
4 - 5	-28,4527	48,2582
4 - 6	*-58,11	48,163
4 - 7	*-64,417	48,1604
4 - 8	35,789	48,9399
5 - 6	-29,6573	47,575
5 - 7	-35,9643	47,566
5 - 8	*64,2417	48,2972
6 - 7	-6,30699	47,3323
6 - 8	*93,899	48,1502
7 - 8	*100,206	48,1486

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla nos informa del procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior del Cuadro muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 9 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Gráfico 12.5.- Medias y 95,0 porcentajes intervalos LSD. SSsalida



En cuanto al comportamiento de las fases en el proceso, los resultados han mostrado que las Fases 4 y 8 presentaron mejores resultados. Aunque de forma poco

significativa, pues nos encontramos concentraciones muy similares de SS a la salida del lecho , también se aprecia una cierta tendencia a obtener concentraciones más reducidas para caudales mayores de aire de proceso, en el flujo co-corriente.

13.- CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

13.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Atendiendo al estudio sistemático de los resultados, en el que se ha podido observar las relaciones de las distintas variables y parámetros, del proceso elegido para el tratamiento del agua residual industrial con el fin de obtener los objetivos establecidos, se pueden enunciar que el proceso de tratamiento utilizado es capaz de eliminar altos porcentajes de materia orgánica en aguas residuales altamente cargadas procedentes de la industria alimentaria de producción de zumos cítricos. En este estudio se ha concluido que las condiciones óptimas de funcionamiento son:

1. La Carga volumétrica (C_v) será menor o igual a 64 Kg DQO/m³ día y menor o igual a 41 Kg DBO₅/m³ día, para alcanzar las exigencias marcadas por el Decreto 16/1999 de la C.A.R.M (1100 mg/l de DQO, 650 mg/l de DBO₅ y 500 mg/l de SS), ajustándose para estos contaminantes a una ecuación polinómica de segundo grado.

2. La Carga hidráulica idónea para el proceso (C_h) para la reducción de la DQO y DBO_5 será menor o igual a $0,99 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, ajustándose para estos contaminantes a una ecuación polinómica de segundo grado.
3. A pesar de las altas cargas de DQO y DBO_5 de entrada, y dada la gran transferencia de oxígeno en el sistema sólo se necesita $0,17 \text{ Kg O}_2$ por Kg DBO_5 eliminado, lo que supone $10,47 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ de aire. Esto puede llevarnos a concluir que el sistema es muy eficaz en la reducción de las altas concentraciones de materia orgánica fácilmente biodegradable, para obtener unas concentraciones de salida próximas a las de un agua residual urbana bruta.
4. Tras los numerosos ensayos realizados con el sistema funcionando a co-corriente y contracorriente, en contra de lo esperado, se comportó mejor en todos los parámetros el sistema funcionando el flujo y el aire en el mismo sentido (co-corriente).
5. El relleno utilizado fue “arcilla expandida”, y dentro de las granulometrías estudiadas, la de 3-7 mm optimizaba mejor todos los parámetros que la de 2-5, excepto en la eliminación de SS.
6. El rendimiento en la eliminación de DQO y DBO_5 no se ve significativamente afectado por un aumento en el caudal de aireación de proceso.
7. Respecto a la eliminación de SS, aunque de una forma no significativa, se aprecia una cierta tendencia a obtener mejores valores de niveles medios de

salida para caudales mayores de aire de proceso, en el caso de flujo co-corriente.

De las investigaciones llevadas a cabo por el grupo de investigación MITA que ha realizado diversos estudios con diferentes tipos de aguas se pueden llegar a las siguientes conclusiones contrastadas para las aguas procedentes de la industria agroalimentaria, y dentro de ellas las cítricas :

1. La altura del lecho inundado utilizado de 1,5 metros se comportó correctamente para el lavado y reducción de los parámetros contaminantes hasta cumplir los rendimientos adecuados de eliminación para el vertido a la red de alcantarillado
2. Los rellenos de arcilla expandida (FILTRALITE) permitieron utilizando un caudal de agua de lavado de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ y un caudal de aire de $80 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{hora}$, un esponjamiento correcto del relleno y un despegue adecuado de la biopelícula con flóculos de rápida sedimentación. El tiempo de lavado óptimo fue de 12 minutos.
3. Los tiempos entre lavados coinciden, para el buen funcionamiento del sistema, con un día de funcionamiento, permitiendo un margen por encima o por debajo de una hora, lo que facilita no sobrecargar el decantador de agua de lavado, simultaneando los lavados de los distintos lechos.
4. Se recalca la necesidad de adicionar, aunque en pequeñas dosis nutrientes fundamentales (N,P) : 6 ppm de urea y 1 ppm de dihidrógeno fosfato potásico.

Las recomendación que se pueden derivar de las investigaciones realizadas durante esta TESIS es que el sistema es óptimo para su utilización en la mayoría de las industrias agroalimentarias por las siguientes razones:

1. Dado el escaso volumen y superficie que precisan.
2. La sencillez del mantenimiento y operación, lo que supone la facilidad para su automatización.

13.2.- LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- a. Se plantea realizar un estudio comparativo de costes de este proceso, respecto de otros, que demuestre una menor coste económico, probado especialmente en situaciones con escasa disponibilidad de espacio para su implantación.
- b. Se propone la creación de una línea de investigación que estudie el comportamiento de la tecnología de lechos inundados a efluentes de otras industrias.
- c. Se plantea una nueva investigación, que consistiese en el diseño de un modelo matemático que permita predecir las necesidades de lavado en cada momento, en función de las distintas variables y parámetros manejados.

ANEJO I.- BARRIDO BIBLIOGRÁFICO

Abeyasinghe, D. H., A. Shanableh and B. Rigden. BIOFILTERS FOR WATER REUSE IN AQUACULTURE. *Water Science and Technology* Vol. 34 No 11 pp 253–260. 1996.

Allison, D.G.; Gilbert, P.; Lappin-Scott, H. And Wilson, M. COMMUNITY STRUCTURE AND CO-COPERATION IN BIOFILMS. *Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom.* 2000.

Áridos Ligeros, Departamento Técnico. ARCILLA EXPANDIDA COMO MEDIO DE RELLENO EN LOS FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. *Tecnología del Agua.* No 179. Agosto de 1998.

Bazyakina, N. A. PURIFICATION OF CONCENTRATED INDUSTRIAL WASTE WATERS. *Ochistka Prom. Stoch. Vod. (Moscow Gos. Izd. Stroit. Lit.) Sb.* (1960), 125-30. From: *Ref. Zh., Khim.* 1962, Abstr. No. 71389. *CAN* 57:68454 *AN* 1962:468454. *URSS.* 1960.

Beer, D. and Stoodley, P. RELATION BETWEEN THE STRUCTURE OF ANAEROBIC BIOFILM AND TRANSPORT PHENOMENA. *Water Science & Technology* 32, pp. 11-18

Belgiorno V, De Feo G, Napoli RM. COMBINED CARBONACEOUS REMOVAL AND NITRIFICATION WITH BIOLOGICAL AERATED FILTERS. *Environ Science Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2003;38 (10):2147-56.

Bishop, P.L. BIOFILM STRUCTURE AND KINETICS. 3^{er} International IAWQ Special Conference on Biofilm Systems.Copenhagen. 1996

Bolier, M., W. Gujer and M. Tschui. PARAMETERS AFFECTING NITRIFYING BIOFILM REACTORS. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 1-11. 1994.

Boller-M, Schwager-A, Eugster-J and Mottier-V. DYNAMIC BEHAVIOR OF INTERMITTENT BURIED FILTERS. *Water Science and Technology*. Vol. 28 Iss 10 pp 99-107. 1993.

Borodina, G. A. PURIFICATION OF WASTE WATERS AT THE TULUN HYDROLYSIS PLANT. Irkutsk. Med. Inst., Irkutsk, URSS. *Gidroliznaya i Lesokhimicheskaya Promyshlennost* (1971), 24(5), 20-2. CODEN: GLKPA2 ISSN: 0016-9706. CAN 75:121121 AN 1971: 521121.

Brenner-A, Shandalov-S, Oron-G and Rebhun-M. DEEP-BED FILTRATION OF SBR EFFLUENT FOR AGRICULTURAL REUSE-PILOT-PLANT SCREENING OF ADVANCED SECONDARY AND TERTIARY-TREATMENT FOR DOMESTIC WASTE-WATER. *Water Science and Technology*. Vol. 30 Iss 9 pp 219-227. 1994.

Brochdue-A, Andersen-R and Kristoffersen-O. PILOT-PLANT EXPERIENCE WITH AN AEROBIC MOVING-BED BIOFILM REACTOR FOR TREATMENT OF NSSC WASTE-WATER. *Water Science and Technology*. Vol. 29 Iss 5-6 pp 283-294. 1994.

Bulicek, Jar. PHENOLIC WASTE WATERS. Paliva (1950), 30 308-19. CODEN: PALIA8 ISSN: 0369-8262. *Journal Language Unavailable*. CAN 45:33695 AN 1951:33695. Paliva (1950), Checoslovaquia.

Canler, J. P., J.-M. Perret, F. Lengrand and A. Iwema. NITRIFICATION IN BIOFILTERS UNDER VARIABLE LOAD AND LOW TEMPERATURE. *Water Science and Technology*. Vol. 47 No 11 pp 129–136. 2003.

Canler, J. P., and J. M. Perret. BIOLOGICAL AERATED FILTERS: ASSESSMENT OF THE PROCESS BASED ON 12 SEWAGE TREATMENT PLANTS. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11. pp 13-22. 1994.

Canziani, R., R. Vismara, D. Basilico and L. Zinni. NITROGEN REMOVAL IN FIXED-BED SUBMERGED BIOFILTERS WITHOUT BACKWASHING *Water Science and Technology*. Vol. 40 No 4-5 pp 145–152. 1999.

Carrión, M, A. Asaff and F. Thalasso. RESPIRATION RATE MEASUREMENT IN A SUBMERGED FIXED BED REACTOR. *Water Science and Technology*. Vol. 47 No 5 pp 201–204. 2002.

Carrand, G. and C. Bonef. BIOFILTRACION AEROBIA CON FLUJO ASCENDENTE SOBRE SOPORTE MINERAL SUMERGIDO. *Ingeniería Química*. Octubre. 1992.

Chiou RJ, Ouyang CF, Lin CT. THE EFFECTS OF THE FLOW PATTERN ON ORGANIC OXIDATION AND NITRIFICATION IN AERATED SUBMERGED BIOFILTERS. *Environ Technology*. Vol. 22 No 6 pp 705–712. 2001.

Chui P. C., Y. Terashima, J. H. Tay and H. Ozaki. PERFORMANCE OF A PARTLY AERATED BIOFILTER IN THE REMOVAL OF NITROGEN. *Water Science and Technology*. Vol. 33 No 3 pp 145–152. 1996

Chudoba, P., and R. Pujol. TECHNICAL SOLUTIONS FOR UPGRADING HIGH RATE AND MEDIUM LOADED ACTIVATED SLUDGE PLANTS FOR NUTRIENT REMOVAL *Water Science and Technology*. Vol. 41 No 9 pp 131–138. 2000.

Charccklis, W.G. and Wilderer, P.A. STRUCTURE AND FUNCTION OF BIOFILMS. *A Wley-interscience Publication*. 1989

Cooper-P, Smith-M, and Maynard-H. THE DESIGN AND PERFORMANCE OF A NITRIFYING VERTICAL-FLOW REED BED TREATMENT SYSTEM. *Water Science and Technology*. Vol. 35, Iss 5 pp 215-221. 1997.

Christian H. M. WASTEWATER BIOFILTERS USED FOR ADVANCED TREATMENT OF PAPERMILL EFFLUENT. *Water Science and Technology* Vol. 40 No 11-12 pp 101–108.1999.

Christian H. Möbius and Maria Cordes-Tolle. ENHANCED BIODEGRADABILITY BY OXIDATIVE AND RADIATIVE WASTEWATER TREATMENT. *Water Science and Technology* Vol. 35 No 2-3 pp 245–250. 1997.

Chudoba, P., and R. Pujol. A THREE-STAGE BIOFILTRATION PROCESS: PERFORMANCES OF A PILOT PLANT. *Water Science and Technology* Vol. 38 No 8-9 pp 257–265. 1998.

Dahab-MF and Sirigina-S. NITRATE REMOVAL FROM WATER-SUPPLIES USING BIODENITRIFICATION AND GAC-SAND FILTER SYSTEMS. *Water Science and Technology*. Vol. 30 Iss 9 pp 133-139. 1994.

Dee-A, James-N, Jones-I, Strickland-J, Upton-J and Cooper-P., PREDENITRIFICATION OR POSTDENITRIFICATION AT BIOLOGICAL FILTER WORKS-A CASE-STUDY. *Water Science and Technology*. Vol. 29 Iss 10-11 pp 145-155. 1994.

Delanghe, B, Roussy, J, Guibal,E and Le Cloirec, P. CHEMICAL PROCESS WASTEWATER TREATMENT BY ATTACHED CULTURES UNDER ANOXIC CONDITIONS. *Water Science and Technology* Vol. 29 No 10-11 pp 417-422. 1994.

Dollerer-J and Wilderer-PA. BIOLOGICAL TREATMENT OF LEACHATES FROM HAZARDOUS-WASTE LANDFILLS USING SBBR TECHNOLOGY. *Water Science and Technology*. Vol 34 Iss 7-8 pp 437-444. 1996.

EPA Innovative and Alternative Seminars. BIOLOGICAL AERATED FILTER AND BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL UPDATE, 11 cities, March 1984-June 1984.

Farabegoli G, Carucci A, Gandolfo G, Rolle E, Viotti P. EXPERIMENTAL STUDY ON CARBON REMOVAL IN BIOLOGICAL AERATED FILTERS. *Water Science and Technology* Vol. 48 No 11-12 pp 235-242. 2004.

Fermín Ramos Ridaó, Angel. APLICABILIDAD DE LOS LECHOS INUNDADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON ALTA CARGA EN COMPUESTOS

NITROGENADOS Y FENÓLICOS EN MEDIO SALINO *Tesis Doctoral*.
Univ. Granada. Dto. Ingeniería Civil. 2003.

Fernández-Polanco, F., S. Villaverde and P. A. García. NITRITE ACCUMULATION IN SUBMERGED BIOFILTERS - COMBINED EFFECTS. *Water Science and Technology* Vol. 34 No 1-2 pp 187–194. 1996.

Fernández-Polanco, F., J. Real and P. A. García. BEHAVIOUR OF AN ANAEROBIC/AEROBIC PILOT SCALE FOR THE REMOVAL OF CARBON AND NITROGEN. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp. 339-346. 1994.

Gayo Martínez, Isabel. USO DE ARCILLA EXPANDIDA EN FILTROS BIOLÓGICOS. *Ingeniería Química*. Junio de 1998.

Garrido, A., Torres, J.C., Tejera, M., Hontoria, E., Osorio, F. y Sabater, C. UTILIZACIÓN DE ARCILLA EXPANDIDA COMO RELLENO EN LECHOS SUMERGIDOS AIREADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA CONSERVERA. *Tecnología del Agua*. No 263; Agosto de 2005.

Garrido, A. y Torres, J. C. PROBLEMÁTICA INDUSTRIAL EN RELACIÓN AL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES. *XX Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento* en Granada.; Junio de 2000.

Garrido, A. y Torres, J. C. PROBLEMÁTICA DE LA INDUSTRIA CONSERVERA SOBRE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MURCIA. *Tecnología del Agua* No 203; Agosto de 2000.

Garrido, A. and Torres, J. C. APPLICATION OF AEROBIC POROUS FIXED PACKED TOWERS FOR BIOLOGICAL TREATMENT OF CANNED FOOD INDUSTRIAL WASTEWATER. *Water & Wastewater Europe*. 2004 Barcelona; Mayo de 2004.

Geller-G. HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW SYSTEMS IN THE GERMAN-SPEAKING COUNTRIES -SUMMARY OF LONG-TERM SCIENTIFIC AND PRACTICAL EXPERIENCES–RECOMMENDATIONS. *Water Science and Technology*. Vol. 35 Iss 5 pp 157-166. 1997.

Geoff Amblin and Montgomery Watson. BIOFILTRATION WITHOUT BACKWASHING. 3rd International IAWQ *Special Conference of Biofilm Systems*. Copenague,. 1996.

Gilles Bacquet y Frank Rogalla. PERSPECTIVAS DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS SUMERGIDOS FRENTE A LA NUEVA DIRECTIVA EUROPEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. *II Congreso de Ingeniería Ambiental*. Bilbao. 1991.

Gilles Carrand y Claude Bonaf. BIOFILTRACION AEROBIA CON FLUJO ASCENDENTE SOBRE SOPORTE MINERAL SUMERGIDO. *II Congreso de Ingeniería Ambiental*. PROMA Bilbao. 1991.

GisVol.d, B., H. Ödegaard and M. Föllesdal. ENHANCING THE REMOVAL OF AMMONIA IN NITRIFYING BIOFILTERS BY THE USE OF A ZEOLITE CONTAINING EXPANDED CLAY AGGREGATE FILTERMEDIA *Water Science and Technology*. Vol. 41 No 9 pp 107–114. 2000.

Gonçalves, R. F., F.A. Veronez, C.M.S. Kissling and S.T.A. Cassini. USING A UASB REACTOR FOR THICKENING AND DIGESTION OF DISCHARGED SLUDGE FROM SUBMERGED AERATED BIOFILTERS. *Water Science and Technology*. Vol. 45 No 10 pp 299–304. 2002.

Gonçalves, R. F , Vera L de Ara and Vanicleide Soeiro Bof. COMBINING UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) REACTORS AND SUBMERGED AERATED BIOFILTERS FOR SECONDARY DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT. *Water Science and Technology* Vol. 40 No 8 pp 71–80. 1999.

Gonçalves, R.F., and F. F. de Oliveira. IMPROVING THE EFFLUENT QUALITY OF FACULTATIVE STABILIZATION PONDS BY MEANS OF SUBMERGED AERATED BIOFILTERS. *Water Science and Technology* Vol. 33 No 3 pp 145–152. 1996.

Gonçalves-R.F., Legrand-L.and Rogalla-F. BIOLOGICAL PHOSPHORUS UPTAKE IN SUBMERGED BIOFILTERS WITH NITROGEN REMOVAL. *Water Science and Technology*. Vol. 29 Iss 10-11 pp 135-143. 1994.

Gonçalves, R.F., F. N. Nogueira, L., Le Grand and F. Rogalla. NITROGEN AND BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL IN SUBMERGED BIOFILTERS. *Water Science and Technology*. Vol. 30 No 11 pp 1–12. 1994.

Gonçalves, R.F.,. Rogalla. OPTIMISING THE A/O CYCLE FOR PHOSPHORUS REMOVAL IN A SUBMERGED BIOFILTER UNDER CONTINUOUS FEED. *Water Science and Technology* Vol. 41 No 4-5 pp 177–184. 2000.

Gonçalves, Ricardo Franc., Vera Lúcia de Araújo and Carlos Augusto L. Chernicharo. ASSOCIATION OF A UASB REACTOR AND A SUBMERGED AERATED BIOFILTER FOR DOMESTIC SEWAGE TREATMENT. *Water Science and Technology* Vol. 38 No 8-9 pp 189–195. 1998.

González Martínez S., and Duque Luciano J. AEROBIC SUBMERGED BIOFILM REACTORS FOR WASTEWATER TREATMENT. *Water Science and Technology* Vol. 26 No 6 pp 189–195. 1992.

González-López, J.; Gómez, M.A. and Hontoria, E., CONGRESO INTERNACIONAL DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS POR NITRATOS Y PESTICIDAS. Tetuan (Marruecos). 1998.

Gros, H., y J. Alvarez., TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR BIOFILTRACION SOBRE MATERIAL GRANULOSO Y NITRIFICACION SOBRE SOPORTE SUMERGIDO. *Tecnología del Agua*. No 86; Septiembre de 1991.

Guo T, Wang C, Chen L, Hu J, Jing Z, Liu X, Zhou H, Chen Y, Li Q. MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT USING THE UP-BIOLOGICAL AERATED FILTER. *Huan Jing Ke Xue*. 2002 Jan. 30.; 23(1):58-61.

Hagedorn-Olsen, C., I. H. Møller, H. Tøttrup and P. Harremoës. OXYGEN REDUCES DENITRIFICATION IN BIOFILM REACTORS *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 83–91. 1994.

Hanchang-S and Thomas-VK. A STUDY OF FIBER MEDIA SUBMERGED BIOLOGICAL AERATED FILTER-ACTIVATED SLUDGE PROCESS (FM-

AS) FOR SEWAGE-TREATMENT. *Water Science and Technology*. Vol. 27, Iss 5-6 pp 413-423. 1993.

Henze, M.; Kristensen, G.H. and Strube, R, R. RATE-CAPACITY CHARACTERISATION OF WASTEWATER FOR NUTRIENT REMOVAL PROCESSES. *Water Science & Technology* 29 (7),pp. 101-107.1994

Hontoria, E., Zamorano, M., Gómez, M.A., González, J. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. PROCESOS SUMERGIDOS DE BIOPELÍCULA. *Tecno Ambiente* No 47 pp 31-338 Iss 7 pp 153-158. 1995.

Huang-JC and Liu-YC. RELATIONSHIP BETWEEN OXYGEN FLUX AND BIOFILM PERFORMANCE. *Water Science and Technology*. Vol. 28 Iss 7 pp 153-158. 1993.

Hultman-B, Jonsson-K and Plaza-E. COMBINED NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL IN A FULL-SCALE CONTINUOUS UP-FLOW SAND FILTER. *Water Science and Technology*. Vol. 29 Iss 10-11 pp 127-134. 1994.

Imre Pascik, Bayer AG. MODIFIED POLYURETANE CARRIERS FOR THE BIOCHEMICAL WASTE WATER TREATMENT. Congreso "Biofilm Reactors" de la IAWQ. París. 1992.

Imura-M, Sato-Y, Inamori-Y and Sudo-R. DEVELOPMENT OF A HIGH-EFFICIENCY HOUSEHOLD BIOFILM REACTOR. *Water Science and Technology*. Vol. 31 Iss 9 pp 163-171. 1995.

Inan, H. and B.Beler Baykal. CLINOPTILOLITE: A POSSIBLE SUPPORT MATERIAL FOR NITRIFYING BIOFILMS FOR EFFECTIVE CONTROL OF AMMONIUM EFFLUENT QUALITY? *Water Science & Technology* Vol. 51 No 11 pp 63–70. 2005.

Jacome, J. A., E. Eguia y T. Vidart, J.I. Tejero. DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES CON UN REACTOR BIOPELICULA. *Ingeniería Química*. Enero. 1995.

Janning, K. F. K. Mesterton and P. Harremoës. HYDROLYSIS AND DEGRADATION OF FILTRATED ORGANIC PARTICULATES IN A BIOFILM REACTOR UNDER ANOXIC AND AEROBIC CONDITIONS. *Water Science and Technology*. Vol. 36 No 1 pp 279–286. 1997.

Janning, K.F., X. Le Tallec and P. Harremoës HYDROLYSIS OF ORGANIC WASTEWATER PARTICLES IN LABORATORY SCALE AND PILOT SCALE BIOFILM REACTORS UNDER ANOXIC AND AEROBIC CONDITIONS. *Water Science and Technology* Vol. 38 No 8-9 pp 179–188. 1998.

Janning, K. F., P. Harremoës and M. Nielsen. EVALUATING AND MODELLING THE KINETICS IN A FULL SCALE SUBMERGED DENITRIFICATION FILTER. *Water Science and Technology*. Vol. 32 No 8 pp 115–123. 1995.

Johannes Pópel, H. and Werner Kristeller. POST-DENITRIFICATION AT THE FRANKFURT-NIEDERRAD WASTEWATER TREATMENT PLANT BY FLUIDIZED-BED TECHNOLOGY. *Water Science and Technology*. Vol. 35 No 10 pp 95-102. 1997.

Kantardjieff, A. and J.P.Jones. PRACTICAL EXPERIENCES WITH AEROBIC BIOFILTERS IN TMP (THERMOMECHANICAL PULPING), SULFITE AND FINE PAPER MILLS IN CANADA. *Water Science and Technology*. Vol. 35 No 2-3 pp 227-234. 1997.

Kasapgil-B, Anderson-GK and Ince-O. AN INVESTIGATION INTO THE PRETREATMENT OF DAIRY WASTE-WATER PRIOR TO AEROBIC BIOLOGICAL TREATMENT. *Water Science and Technology*. Vol. 29 Iss 9 pp 205-212. 1994.

Kent, T.D., C. S. B. Fitzpatrick and S. C. Williams. TESTING OF BIOLOGICAL AERATED FILTER (BAF) MEDIA. *Water Science and Technology*. Vol. 34 No 3-4 pp 363–370. 1996.

Kijowska, E., M Leszczyńska and MM Sozański. METABOLIC ACTIVITY TEST IN INVESTIGATION OF BIODEGRADATION IN BIOLOGICAL FILTERS *Water Science and Technology*. Water Supply. Vol. 1 No 2 pp 151–158. 2001.

Kuo-JF, Dodd-KM, Chen-CL, Horvath-RW and Stahl-JF. EVALUATION OF TERTIARY FILTRATION AND DISINFECTION SYSTEMS FOR UPGRADING HIGH-PURITY OXYGEN-ACTIVATED SLUDGE PLANT EFFLUENT. *Water Environment Research*. Vol. 69 Iss 1, pp 34-43. 1997.

Lacalle, M.L.; Villaverde, S.; Fdz-Polanco F. and García-Encina. COMBINED ANAEROBIC/AEROBIC (UASB + UBAF) SYSTEM FOR ORGANIC MATTER AND NITROGEN REMOVAL FROM A HIGH STRENGTH INDUSTRIAL WASTEWATER. *Water Science and Technology*. Vol. 44 No 4 pp 255–262. 2001.

Larsen-TA and Harremoes-P. DEGRADATION MECHANISMS OF COLLOIDAL ORGANIC-MATTER IN BIOFILM REACTORS. *Water Research*. Vol. 28 Iss 6 pp. 1443-1452. 1994.

Latvala-A. MULTILAYER INTERMITTENT SAND FILTER. *Water Science and Technology*. Vol. 28 Iss-10 pp 125-132. 1993.

Lazarova, V., J. Perera, M. Bowen and P. Sheilds. APPLICATION OF AERATED BIOFILTERS FOR PRODUCTION OF HIGH QUALITY WATER FOR INDUSTRIAL REUSE IN WEST BASIN. *Water Science and Technology*. Vol. 41 No 4-5 pp 417–424. 2000.

Lazarova, V. and J. Manem. ADVANCES IN BIOFILM AEROBIC REACTORS ENSURING EFFECTIVE BIOFILM ACTIVITY CONTROL. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 319-327. 1994.

Lee, J., Kim, J., Lee,C.,Yun, Z. and E. Choi. BIOLOGICAL PHOSPHORUS AND NITROGEN REMOVAL WITH BIOLOGICAL AERATED FILTER USING DENITRIFYING PHOSPHORUS ACCUMULATING ORGANISM. *Water Science & Technology* Vol. 52 No 10-11 pp 569–578. 2005.

Lemoine, C. Payraudeau, M. and Meinhold, J. AERATION CONTROL FOR SIMULTANEOUS NITRIFICATION-DENITRIFICATION IN A BIOLOGICAL AERATED FILTER USING INTERNAL MODEL APPROACH. *Water Science & Technology*. Vol 54 No 8 pp 129–136.2006.

Lessel, T. H. UPGRADING AND NITRIFICATION BY SUBMERGED BIO-FILM REACTORS -EXPERIENCES FROM A LARGE SCALE PLANT. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 167-174. 1994.

Lewandowski, Z.; Stoodley, P. and Altobelli, S. FLOW INDUCED VIBRATION, DRAY FORCES AND PRESURE DROP IN CONDUITS COVERED WITH BIOFILM. *Water Science & Technology* 32, pp.19-26. 1995.

Leung, S.M., Little, J.C., Holst, T. and Love, N.G. AIR/WATER OXYGEN TRANSFER IN A BIOLOGICAL AERATED FILTER. *Journal of Structural Engineering*. Volume 132, Issue 2, pp. 181-189. 2006.

Li, T.W. J, Luan Z, Zhu B, Chen F, Jia Z. EFFECTS OF COLLOIDAL ORGANIC SUBSTRATE ON NITRIFICATION IN BIOFILMS. *Huan Jing Ke Xue*. 2003 Sep. 24 (5):70-4.

Li TW, Peng, YZ, Wang YY, Zhu GB, Chi WQ and Gu GW EXPERIMENTAL STUDY ON SEQUENCING BACH BIOFILM REACTOR WITH BIOLOGICAL FILTRATION (SBBR-BF) FOR WASTEWATER TREATMENT. *Water Science and Technology*. Vol. 48 No 11 pp 299-307. 2004.

Nielsen-J, Lynggaardjensen-A and Hasling-A. PURIFICATION EFFICIENCY OF DANISH BIOLOGICAL SAND FILTER SYSTEMS. *Water Science and Technology*. Vol. 28 Iss 10 pp 89-97. 1993.

Markus Boller, Daniel Kobler and Gerhard Koch. PARTICLE SEPARATION, SOLIDS BUDGETS AND HEADLOSS DEVELOPMENT IN DIFFERENT BIOFILTERS. *Water Science and Technology* Vol. 36 No 4 pp 239–247. 1997.

Markus Boller, Manfred Tschui and Willi Gujer. EFFECTS OF TRANSIENT NUTRIENT CONCENTRATIONS IN TERTIARY BIOFILM REACTORS. *Water Science and Technology*. Vol. 36 No 1 pp 101–109. 1997.

Marsman-EH, Roeleveld-PJ and Rensink-JH. HIGH NUTRIENT REMOVAL IN THE 3-SLUDGE SEWAGE- TREATMENT SYSTEM RESULTS AND ECONOMIC-EVALUATION. *Water Science and Technology*. Vol. 35 Iss 10, pp 129-136. 1997.

Meaney-BJ and Strickland-JET. OPERATING EXPERIENCES WITH SUBMERGED FILTERS FOR NITRIFICATION AND DENITRIFICATION. *Water Science and Technology*. Vol.29 Iss 10-11 pp 119-125. 1994.

Meaney-B. OPERATION OF SUBMERGED FILTERS BY ANGLIAN-WATER-SERVICES-LTD. *Journal of the institution of water and environmental management*. Vol. 8 Iss 3 pp 327-334. 1994.

Melicz, Z. PARTIAL NITRIFICATION IN A HIGH-LOAD ACTIVATED SLUDGE SYSTEM BY BIOFILTER BACKWASH WATER RECIRCULATION *Water Science and Technology*. Vol. 47 No 11 pp. 2003.

Melin, E. S. and H. Ødegaard. BIOFILTRATION OF OZONATED HUMIC WATER IN EXPANDED CLAY AGGREGATE FILTERS *Water Science and Technology* Vol. 40 No 9 pp 165–172.1999.

Melin, E.S., R.A. Bohne, F. SjøVol.d and H. Ødegaard. TREATMENT OF OZONATED WATER IN BIOFILTERS CONTAINING DIFFERENT MEDIA. *Water Science and Technology*. Vol. 41 No 4-5 pp 57–60. 2000.

Mendoza-Espinosa LG, Stephenson T. ORGANIC AND HYDRAULIC SHOCK LOADINGS ON A BIOLOGICAL AERATED FILTER. *Environ Technology*. Vol. 22 No 3 pp 321–330.2001.

Mobius-CH and Cordestolles-M. PRODUCTION DEPENDENT SPECIFIC DATA OF PAPER-MILL WASTEWATERS-INFORMATION FOR TREATMENT AND REUSE. *Water Science and Technology*. Vol. 30 1553 pp 193-198. 1994.

Mobius-CH and Cordestolle-M. ADVANCED TREATMENT OF PAPER-MILL WASTEWATERS. *Water Science and Technology*. Vol. 29, Iss 5-6, pp 273-282. 1994.

Moore R, Quarmby J, Stephenson T. THE EFFECTS OF MEDIA SIZE ON THE PERFORMANCE OF BIOLOGICAL AERATED FILTERS. *Water Research*. Vol. 35 Iss 10 pp 2514-2522.

Moreno, B., M.A. Gómez, J.M Gálvez, E. Hontoria and J. González-López SELECTIVE INOCULATION OF SUBMERGED FILTER TO ENHANCE THE NITRATE REMOVAL OF CONTAMINATED GROUNDWATER *Water Science and Technology* Vol. 41 No 4-5 pp 503–508. 2000.

Nielsen,P.H.; Jahn, A. And Palmgreen, R.. CONCEPTUAL MODEL FOR PRODUCTION AND COMPOSITION OF EXOPOLYMERS IN BIOFILM. *Water Science and Technology*. Vol 36 pp.11-19

Norsker-NH, Nielsen-PH, and Hvitvedjacobsen-T. INFLUENCE OF OXYGEN ON BIOFILM GROWTH AND POTENTIAL SULFATE REDUCTION IN

GRAVITY SEWER BIOFILM. *Water Science and Technology*. Vol. 31 Iss 7 pp 159-167. 1995.

Odegaard-H, Rusten-B and Badin-H. SMALL WASTE-WATER TREATMENT PLANTS BASED ON MOVING-BED BIOFILM REACTORS. *Water Science and Technology*. Vol. 28, Iss 10, pp 351-359. 1993.

Oh, J SM Yoon and JM Park. DENITRIFICATION IN SUBMERGED BIOFILTERS OF CONCENTRATED-NITRATE WASTEWATER. *Water Science and Technology*. Vol. 43 No 1 pp 217–223. 2000.

Ojha-CSP and Graham-NJO. COMPUTER-AIDED SIMULATION OF SLOW SAND FILTER PERFORMANCE. *Water Research*. Vol. 28 Iss 5 pp 1025-1030. 1994.

Osorio, F. , Torres, J.C. and Hontoria, E. STUDY OF BIOLOGICAL AERATED FILTERS FOR THE TREATMENT OF EFFLUENTS FROM THE CITRUS INDUSTRY. *Journal of Environmental Science and Health*. Vol. 41 (12) pp 2683-2697. 2006.

Osorio, F. y Hontoria, E. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PARA LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES. *Encuentro Medioambiental Almeriense, Comisión de Trabajo: Gestión de Residuos*, pp 76-85. 1998.

Osorio, Francisco. OPTIMIZACIÓN DE LECHOS INUNDADOS CON SOPORTE DE RESIDUOS RECICLADOS. *Tesis Doctoral. Univ. Granada. Dto. Ingeniería Civil*.1998

Osorio, Francisco. CARGAS ADMISIBLES EN DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES, USANDO MATERIAL RECICLADO COMO SOPORTE DE UN FILTRO SUMERGIDOS. *Tecnología del Agua* No 196. Enero de 2000.

Osorio, F. y Hontoria, E. OPTIMIZATION OF BED MATERIAL HEIGHT IN A SUBMERGED BIOLOGICAL AERATED FILTER. *Journal of Environmental Engineering*. ASCE, Vol. 127 No 11.

Osorio, F. y Hontoria, E. WASTEWATER TREATMENT WITH A DOUBLE-LAYER SUBMERGED BIOLOGICAL AERATED FILTER, USING WASTE MATERIALS AS BIOFILM SUPPORT. *Journal Of The Institution Of Water And Environmental Management*. Vol. 65 Iss 1 pp 79-84. 2002.

Ouyang, C.F. RJ Chiou and CT Lin. THE CHARACTERISTICS OF NITROGEN REMOVAL BY THE BIOFILTER SYSTEM. *Water Science and Technology*. Vol. 42 No 12 pp 137–147. 2000.

Ozturk, J M. Turan and A. H. Idris I. SCALE-UP AND BIOMASS HOLD-UP CHARACTERISTICS OF BIOLOGICAL FLUIDIZED BED REACTORS. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No10-11 pp.353-360. 1994.

Painter, H. A. BIOTECHNOLOGY OF WASTE WATER TREATMENT. *Water Research Center, Stevenage/Hertfordshire, Meeting Date 1977, 178-98.* London 1.977.

Park, T.J., H. Lee K., S. Kim D. and W. Kim C. PETROCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT WITH AERATED SUBMERGED FIXED-FILM REACTOR (ASFFR) UNDER HIGH ORGANIC LOADING RATE. *Water Science and Technology*. Vol. 34 No 10 pp 9–16. 1996.

Payraudeau, M., C. Paffoni and M. Gousailles: TERTIARY NITRIFICATION IN AN UP FLOW BIOFILTER ON FLOATING MEDIA: INFLUENCE OF TEMPERATURE AND COD LOAD. *Water Science and Technology* Vol. 41 No 4-5 pp 21–27. 2000.

Payraudeau, M., A.R. Pearce, R. Goldsmith, B. Bigot and F. Wicquart. EXPERIENCE WITH AN UP-FLOW BIOLOGICAL AERATED FILTER (BAF) FOR TERTIARY TREATMENT: FROM PILOT TRIALS TO FULL SCALE IMPLEMENTATION. *Water Science & Technology* Vol. 44 No 2-3 pp 63–68. 2001.

Pell-M and Ljunggren-H. COMPOSITION OF THE BACTERIAL POPULATION IN SAND-FILTER COLUMNS RECEIVING ARTIFICIAL WASTE-WATER, EVALUATED BY SOFT INDEPENDENT MODELING OF CLASS ANALOGY (SIMCA). *Water Research*. Vol. 30, Iss 10, pp 2479-2487.

Peterson-CE, Reneau-RB and Hagedorn-C. USE OF MINE FILLS FOR BIOLOGICAL RENOVATION OF DOMESTIC WASTE-WATER. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 23 Iss 3 pp 592-596. 1994.

Pierre Talbot, Ginette Bélanger, Martin Pelletier, Gilles Laliberté and Yves Arcand. DEVELOPMENT OF A BIOFILTER USING AN ORGANIC MEDIUM FOR ON-SITE WASTEWATER TREATMENT. *Water Science and Technology*. Vol. 34 No 3-4 pp 435–441. 1996.

Pujol, R., J. P. Canler y A. Iwema. FILTROS BIOLÓGICOS AIREADOS: UN PROCESO BIOLÓGICO ALTERNATIVO Y ATRACTIVO. *Water Science and Technology*. Vol. 26 No 3-4 pp 693-702. 1992.

Pujol, R, M. Hamon, X. Kandel and H. Lemmel. BIOFILTERS: FLEXIBLE, RELIABLE BIOLOGICAL REACTORS. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 33-38. 1994.

Pujol, R., and S. Tarallo. TOTAL NITROGEN REMOVAL IN TWO-STEP BIOFILTRATION. *Water Science and Technology* Vol. 41 No 4-5 pp 65–68. 2000.

Puznava, N., D. Thornberg, P. Magnin and E.Reddet. AERATION CONTROL ON A NITRIFYING BIOFILTER SYSTEM BY USING ON-LINE ANALYZERS *Water Science and Technology* Vol. 41 No 4-5 pp 369–374. 2000.

Puznava, N., M Payraudeau and D Thornberg. SIMULTANEOUS NITRIFICATION AND DENITRIFICATION IN BIOFILTERS WITH REAL TIME AERATION CONTROL. *Water Science and Technology*. Vol. 43 No 1 pp 269–276. 2000.

Puznava, N., S. Zeghal and E. Reddet. SIMPLE CONTROL STRATEGIES OF METHANOL DOSING FOR POST-DENITRIFICATION. *Water Science and Technology*. Vol. 38 No 3 pp 291–297. 1998.

Rittmann, B. And P. McCarty. BIOTECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE. *Mc Graw-Hill*.2.001

Rittmann, B. THE MEMBRANE BIOFILM REACTOR: THE NATURAL PARTNERSHIP OF MEMBRANES AND BIOFILM. *Water Science and Technology*. Vol 53 No 3 pp 219–225. 2006

Robinson-AB, Brignal-WJ and Smith-AJ. CONSTRUCTION AND OPERATION OF A SUBMERGED AERATED FILTER SEWAGE-TREATMENT WORKS. *Journal Of The Institution Of Water And Environmental Management*. Vol. 8 Iss 2 pp 215-227. 1994.

Rogalla F., and J. Sibony. BIOCARBONE AERATED FILTERS -TEN YEARS AFTER: PAST, PRESENT, AND PLENTY OF POTENTIAL. *Water Science and Technology*. Vol. 26 No 9-11 p.p. 2043-2048. 1992.

Rogalla, F., A. Lamouche, W. Specht and B. Kleiber. HIGH RATE AERATED BIOFILTERS FOR PLANT UPGRADING. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 12 pp 207–216. 1994.

Rovel, J. M., J. P. Trudel, P. Lavallée and I. Schroeter. PAPER MILL EFFLUENT TREATMENT USING BIOFILTRATION *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 217–222. 1994.

Rother E, Cornel P, Ante A, Kleinert P, Brambach R. COMPARISON OF COMBINED AND SEPARATED BIOLOGICAL AERATED FILTER PERFORMANCE FOR PRE-DENITRIFICATION / NITRIFICATION OF MUNICIPAL WASTEWATER *Water Science and Technology*. Vol. 46 No 4-5 pp 149–156. 2002.

Rother E, P. Cornel. C OPTIMISING DESIGN, OPERATION AND ENERGY CONSUMPTION OF BIOLOGICAL AERATED FILTERS (BAF) FOR NITROGEN REMOVAL OF MUNICIPAL WASTEWATER *Water Science and Technology*. Vol. 50 No 6 pp 131–139. 2004.

Rusten, B., H. Odegaard and A. Lundar. TREATMENT OF DAIRY WASTEWATER IN A NOVEL MOVING BED BIOFILM REACTOR. *Water Science and Technology*. Vol. 6 No -4 pp.711. 1992.

Ryhiner, G., K. Sorensen, B. Birou, H. Gros. BIOFILM REACTORS CONFIGURATION FOR ADVANCED NUTRIENT REMOVAL. *Water and Wastewater Technology*. Sulzer Chemtech Ltd, P.O. Box, CH-8404 Winterthur. Switzerland.

Ryhiner, G., B. Birou and H. Gros. THE USE OF SUBMERGED STRUCTURED PACKINGS IN BIOFILM REACTORS FOR WASTEWATER TREATMENT. *Water Science and Technology*. Vol. 26 No 3-4 pp 723-731. 1992.

Sagberg, P., P. Dauthuille and M. Hamon. BIOFILM REACTORS: A COMPACT SOLUTION FOR THE UPGRADING OF WASTE WATER TREATMENT PLANTS. *Water Science and Technology*. Vol. 26 No pp 733-742. 1992.

Sakai-Y, Nitta-Y and Takahashi-F. SUBMERGED FILTER SYSTEM CONSISTING OF MAGNETIC TUBULAR SUPPORT MEDIA COVERED WITH A BIOFILM FIXED BY MAGNETIC FORCE. *Water Research*. Vol. 28 Iss 5 pp 1175-1179.1994.

Schlegel, S. and Teichgräber, B. OPERATIONAL RESULTS AND EXPERIENCE WITH SUBMERGED FIXED-FILM REACTORS IN THE PRETREATMENT OF INDUSTRIAL EFFLUENTS. *Water Science and Technology*. Vol. 41 No 4-5 pp 453-459.2000.

Schonborn-A, Zust-B and Underwood-E. LONG-TERM PERFORMANCE OF THE SAND-PLANT-FILTER SCHATTWEID. (SWITZERLAND). *Water Science and Technology*. Vol. 35 1555 pp 307-314. 1997.

Sergi Sugranyes i Palet y P. Erena Estrada Sastre. FILTRACION EN CONTINUO. UN CAMINO HACIA LA REUTILIZACIÓN Y LA POTABILIZACIÓN. *Tecnología del Agua*. No 101. Octubre de 1992.

Shanableh, A., and A. Hijazi. TREATMENT OF SIMULATED AQUACULTURE WATER USING BIOFILTERS SUBJECTED TO AERATION/NON-AERATION CYCLES. *Water Science and Technology* Vol. 38 No 8-9 pp 223–231. 1998.

Shneerson, L. I.; Umnova, Z. A. BIOCHEMICAL PURIFICATION OF EFFLUENTS FROM THE MANUFACTURE OF DIMETHYL TEREPHTHALATE. *Biokhim. Ochistka Stochnykh Vod Predpriyatii Khim. Prom., Akad. Stroit. i Arkhitekt, SSSR, Vses. Nauchn.-Issled. Inst. Vodosnabzh., Kanaliz., Gidrotekhn. Sooruzhenii i Inzh. Hidrogeol.* 214-22. CAN 58:45583 AN 1963:45583. 1962.

Simón González Martínez and Javier Duque-Luciano. AEROBIC SUBMERGED BIOFILM REACTORS FOR WASTEWATER TREATMENT. *Water Research*. Vol. 26 No 6 pp 825-833. 1992.

Slim Zeghal, Nelu Puznava, Jean Philippe Subra and Patrick Sauvegrain. PROCESS CONTROL FOR NUTRIENTS REMOVAL USING LAMELLA SEDIMENTATION AND FLOATING MEDIA FILTRATION. *Water Science and Technology*. Vol. 38 No 3 pp 227–235. 1999.

Sørensen, K.H., D. Thornberg and K.F. Janning. USING ADVANCED CONTROL, POST-DENITRIFICATION AND EQUALISATION TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF A SUBMERGED FILTER. *Water Science and Technology*. Vol. 34 No 3-4 pp 371–378.

Stensel, H. D., Brenner, R.C., Lee, K.M., Melcer, H. and Rakness, K. BIOLOGICAL AERATED FILTER EVALUATION. *ASCE Journal Of Environmental Engineering*. 3 (6), 655-671 1988.

Stephens,C. MICROBIOLOGY: BREAKING DOWN BIOFILMS. *Current Biology*,12, pp. 132-134.2002

Stensel, H.D. and S.H. Reiber. INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT WITH A NEW BIOLOGICAL FIXED-FILM SYSTEM. Univ. Utah, Salt Lake City, UT, USA. *Environmental Progress* (1983), 2(2), 110-15. CODEN: ENVPDI ISSN: 0278-4491. CAN 99:27421 AN 1983:427421.

Stolbov, V. I. INCREASING THE EFFICIENCY OF SYSTEMS FOR WATER USE AND PURIFICATION OF INDUSTRIAL EFFLUENTS AND GAS EMISSIONS. Lesokhim. Zavod, Dmitriev, URSS. *Lesokhimiya i Podsochka* (1977), (9), 4-5. CODEN: LEPODX ISSN: 0130-9137. CAN 89:185376 AN 1978:585376.

Takasaki, M., H. Kim. A. Sato and M. Okada and R. Sudo. SUBMERGED BIOFILM PROCESS AS A PRE-TREATMENT OF POLLUTED RAW WATER FOR TAP WATER SUPPLY. Congreso "*Biofilm Reactors*" de la IAWQ. Paris. 1992.

Tiam WH, Wen XH, Quiam Y. USING A ZEOLITE MEDIUM BIOFILTER TO REMOVE ORGANIC POLLUTANT AND AMONIA SIMULTANEOUSLY. *Environmental Science (China)*. 2004;16 (1): 90-3.

Tiam W, Wen X, Yang A, Quiam Y. PERFORMANCE AND ITS INFLUENCING FACTORS OF A ZEOLITE BIOFILTER FOR DILUTE DOMESTIC *Wastewater Treatment*. *Huan Jing Ke Xue*. 2003 Sep; 24 (5):97-101.

Toettrup,H., F. Rogalla, A. Vidal and P. Harremoes. THE TREATMENT TRILOGY OF FLOATING FILTERS: FROM PILOT TO PROTOTYPE TO PLANT. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 23-32. 1994.

Torres Rojo, Juan Carlos. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. ORIGEN, CARACTERIZACIÓN Y EFECTOS SOBRE LAS INSTALACIONES PÚBLICAS DE SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN (ELABORACIÓN DE ZUMOS Y ENVASADO DE FRUTAS Y VERDURAS). Publicación de la *Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento Madrid*; pp 51-66. 2002.

Tschui, M, M.Boller, W. Gujer, J. Eugster, C. Mader, C. Stengel. TERTIARY NITRIFICATION IN AERATED PILOT BIOFILTERS. *Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG)*.

Valentis, G., J. IESAVRE. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LA ADHESIÓN DE MICROORGANISMOS EN SOPORTES DE GEOTEXTILES. Congreso "*Biofilm Reactors*" de la IAWQ. Paris. 1992.

Vedry, B., C. Paffoni, M. Gousailles and C. Bernard. FIRST MONTHS OPERATION OF TWO BIOFILTER PROTOTYPES IN THE WASTE

WATER PLANT OF ACHERES. *Water Science and Technology*. Vol. 29 No 10-11 pp 39-46. 1994.

Vibeke R. Borregaard. EXPERIENCE WITH NUTRIENT REMOVAL IN A FIXED-FILM SYSTEM AT FULL-SCALE WASTEWATER TREATMENT PLANTS. *Water Science and Technology*. Vol. 36 No 1 pp 129–137. 1997.

Watanabe-T, Kuniyasu-K and Ohmori-H. ANAEROBIC AND AEROBIC SUBMERGED BIO-FILTER SYSTEM FOR SMALL-SCALE ON-SITE DOMESTIC SEWAGE-TREATMENT. *Water Science and Technology*. Vol.27 Iss 1 pp 51-57. 1993.

Wimpennig, J.W.T. and Calasati, R. A UNIFYING HYPOTHESIS FOR THE STRUCTURE OF MICROBIAL BIOFILMS BASED ON CELLULAR AUTOMATON MODELS. *Water Research* 22, pp.1-16

Woolard-CR and Irvine-RL. BIOLOGICAL TREATMENT OF HYPERSALINE WASTE-WATER BY A BIOFILM OF HALOPHILIC BACTERIA. *Water Environment Research*. Vol. 66 1553 pp 230-235. 1994.

Xavier Le Tallec, Slim Zeghal, Alain Vidal and André Lesouëf. EFFECT OF INFLUENT QUALITY VARIABILITY ON BIOFILTER OPERATION. *Water Science and Technology* .Vol. 36 No 1 pp 111–117. 1997.

Yamashita, T, Yamamoto-Ikemoto R., and Sakurai,E. TREATMENT OF DYE WORKS WASTEWATER USING ANAEROBIC–OXIC BIOLOGICAL FILTER REACTOR PACKED WITH CARBON FIBRE AND AERATED WITH MICRO-BUBBLES. *Water Science and Technology*. Vol 53 No 11 pp 151–161. 2006.

Yang, C., M.T. Suidan, X. Zhu and B.J. Kim. BIOMASS ACCUMULATION PATTERNS FOR REMOVING VOL.ATILE ORGANIC COMPOUNDS IN ROTATING DRUM BIOFILTERS. *Water Science and Technology* Vol. 48 No 8 pp 89–96. 2003.

Yang, C., Chen, H. Zeng, G., Qu, W., Zhong, Y.Y., Zhu, X. and Suidan, M.T. MODELING BIODEGRADATION OF TOLUENE IN ROTATING DRUM BIOFILTER. *Water Science and Technology*.Vol 54 No 9 pp 137–144. 2006.

Yoo IK, Kim DJ. EFFECTS OF HYDRAULIC BACKWASH LOAD ON EFFLUENT QUALITY OF UPFLOW BAF. *Journal Environ Science Health A Tos Hazard Subst Environ Eng*. Vol. 36 No 4 pp 575–585.2001.

Zamorano, M., Gómez, M.A., González, J., Hontoria, E. MATERIAL DE SOPORTE Y FUENTES DE CARBONO EN PROCESOS DE LECHOS INUNDADOS. *Tecno Ambiente* nº 52 pp 39-42. 1995.

Zamorano, M., Hontoria, E. LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE UNA FÁBRICA DE LADRILLO EN LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE AGUAS RESIDUALES. *Residuos* No 36 pp 93-97. 1997.

Zhang, L.C. and Bishop, P.L. DENSITY, POROSITY AND PORE STRUCTURE OF BIOFILMS. *Water Research* 28, pp. 2267-2277.1994

Zhang, X., Bishop, P.L. and Kinkle, B. COMPARATION OF EXTRACTION METHODS FOR QUANTIFYING EXTRACELLULAR POLYMERS IN BIOFILMS. *Water Science and Technology* Vol. 39 No 7 pp 211-218. 1999.

Zwenger, B., E. Arnold and P.A. Wilderer NUTRIENT BALANCES FOR COMBINED NITRIFICATION AND DENITRIFICATION IN BIOFILTERS *Water Science and Technology* Vol. 41 No 4-5 pp 91–95. 2000.