



Seguimiento de la evolución de la carga contaminante de la red de saneamiento de Córdoba durante los años 2021-2023

Si bien el control de vertidos al saneamiento es habitual en la ciudad de Córdoba estando marcado por el vigente Plan de Control de Vertidos al Saneamiento, la existencia de ocasionales episodios puntuales de emisión de altas cargas de DQO/DBO₅ y SST desde industrias, polígonos industriales y zonas urbanas, así como su llegada a la EDAR de La Golondrina, planteaban la duda de si el seguimiento era lo eficaz que se requería. Por ello, se licitó un concurso externo, contratado a la empresa CEGAM entre 2021 y 2023 en tal sentido. De los resultados se han extraído valiosas conclusiones, entre ellas que no se ha podido demostrar una relación entre emisiones de alta carga procedentes de empresas ni de polígonos industriales con una afección mensurable en el agua residual integrada de la ciudad; que existen episodios de altas cargas de entrada a la EDAR sin relación comprobada con incumplimientos de las autorizaciones de vertidos de las industrias; que la carga aportada por los colectores domésticos es más alta que la previsible; y, finalmente, que el mantenimiento y limpieza de la red de saneamiento es crítica para minimizar estas situaciones.

Palabras clave

EDAR, red de saneamiento, aguas residuales industriales, DQO, DBO₅, SS_T, N_T, P_T, bulking.

TRACING ON THE EVOLUTION OF POLLUTANT LOAD IN THE CÓRDOBA'S SANITATION NETWORK ALONG 2021-2023

We show here a study carried out with the aiding of the CEGAM company between 2021 and 2023 focused to the extensive tracing of the main polluters to Córdoba's sanitation network. While the effluent control is routinary in our city, occurrence of occasional events of detection of high polluting levels of COD-BOD₅ and SS_T from industries and urban zones, as well as their access to La Golondrina WWTP could indicate any lakes in our practice. Summarizing, our study have obtained valuable considerations: firstly, we have cannot establish relationships between detection of high polluting load emanating from facilities or industrial zones which have provoke high polluting load in the WWTP; secondly, we have detected high polluting levels of COD-BOD₅ and SS_T in raw wastewater of WWTP without relationships with high polluting levels emanating from industries; moreover, we have tested very high polluting levels emanating from urban zones; finally, we have concluded that is essential an adequate and periodic cleaning of sanitation network to minimize the above events as well to maintain the network in the better possible state of functioning.

Keywords

WWTP, sanitation network, industrial wastewater, COD, BOD₅, SS_T, N_T, P_T, bulking.

Rafael Marín Galvín
jefe del Servicio de Control de
Calidad de Empresa Municipal
de Aguas de Córdoba, S.A.
(Emacsa)



1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales factores que distorsionan el normal funcionamiento de cualquier EDAR son los que se pueden calificar como eventos de alta carga si estos llegasen a la depuradora. Se trata de períodos habitualmente de corta duración (apenas 2-3 h), que presentan concentraciones de carga orgánica muy elevadas (valores de DQO-DBO₅ y/o SS_T superiores al doble de la concentración habitual de entrada a la EDAR) y que por sí solos podrían alterar de forma sensible el proceso depurador, generando consumos muy altos de aire para el biológico así como propiciar la proliferación indeseada de microorganismos filamentosos que podrían generar episodios de *bulking*.

Ante la detección de un evento de alta carga en la red de saneamiento de Córdoba, antes de llegar a la EDAR, Emacsa dispone de un protocolo que investiga los puntos críticos de la red, en especial los emisarios generales de los polígonos industriales de la ciudad al saneamiento general, para proseguir la investigación flujo arriba si es el caso, así como llevando a cabo la inspección inmediata de las principales empresas de la ciudad para comprobar su adecuación a las preceptivas autorizaciones de vertido de cada una.

Teniendo en cuenta que el protocolo de actuación practicado por Emacsa no había sido capaz de identificar claramente los posibles emisores de alta carga a la red de saneamiento hasta la fecha, se elaboró un proyecto licitado externamente que fue contratado a la empresa CEGAM. Dicho proyecto tuvo una duración de 12 meses con dos períodos de muestreos prácticos, el primero entre diciembre de 2021 y

mayo de 2022, y el segundo entre octubre de 2022 y febrero de 2023, durante los cuales se llevó a cabo un seguimiento pormenorizado de los principales vertedores al saneamiento.

El seguimiento, consensuado entre Emacsa y CEGAM, se fijó en posibles emisores tanto industriales como comerciales e, incluso, domésticos (colectores con un aporte mayoritario de aguas residuales de procedencia no industrial). Los muestreos realizados tuvieron una duración de 24 h, llevándose a cabo un total de 447. La línea de actuación contempló muestreos periódicos definidos en polígonos industriales, seguimiento a las empresas con mayor emisión de carga de cada polígono, control del agua residual integrada de entrada a la EDAR de La Golondrina, y muestreos ocasionales en función de la detección de eventos concretos de alta carga.

Posteriormente, también se incluyeron en el estudio colectores de aguas residuales mayoritariamente domésticas para testar su carga contaminante con relación al total de la red. Toda esta información ha dado lugar a un seguimiento completo de

la evolución de la carga contaminante recibida por la red de saneamiento de Córdoba que se desarrolla en este artículo.

2. METODOLOGÍA

La **Figura 1** recoge un croquis de la red de saneamiento de Córdoba. En ella pueden observarse, en diferentes colores, las distintas cuencas principales de vertido de la ciudad, así como la ubicación de los polígonos industriales más relevantes. La longitud de la red se cifra en unos 900 km.

En cuanto a los puntos de control de vertidos establecidos, en primer lugar se fijaron los correspondientes a las empresas más importantes de la ciudad, que fueron:

- Sector alimentario (1 empresa).
- Sector de manufacturados de cobre y zinc (3 empresas).
- Sector cervecero (1 empresa).
- Sector de producción de bebidas no alcohólicas y azucaradas (1 empresa).
- Sector papelerero (1 empresa).
- Sector del reciclaje de plásticos (1 empresa).
- Sector aceitero (2 empresas).

FIGURA 1. Esquema de la red de saneamiento de Córdoba. Ubicación de polígonos industriales y de las diferentes cuencas de vertido denotadas por colores.

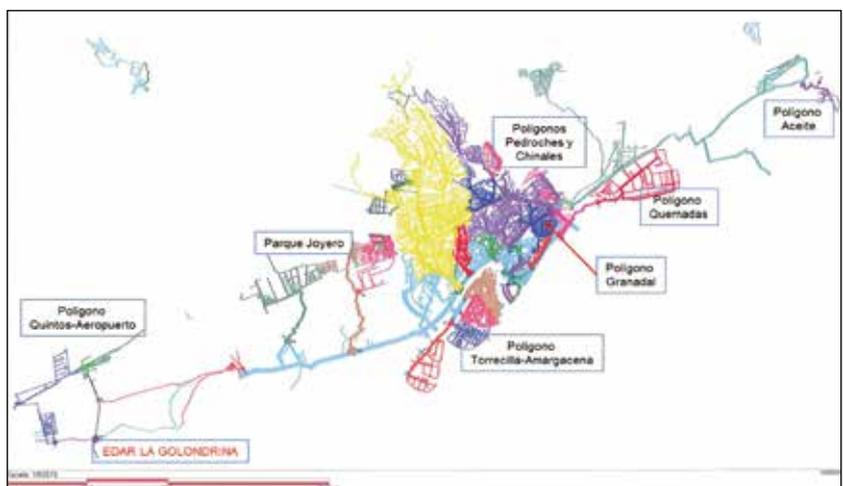


TABLA 1

CONTROLES ANALÍTICOS PRACTICADOS A LAS MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES.

Parámetro y unidades de medida	Método analítico	Técnica interna del laboratorio
DQO total (mg/L)	Espectrofotometría	PNT-ENSY-DQO Método interno basado en UNE-EN ISO 6060
DBO ₅ total (mg/L)	Técnica manométrica	PNT-ENSY-DBO5 Método interno basado en UNE-EN ISO 1899-1
pH (unidad pH)	Electrometría	PNT-ENSY-PH Método interno basado en UNE-EN ISO 10523
Conductividad (µs/cm)	Electrometría	PNT-ENSY-CONDUCTIVIDAD Método interno basado en UNE-EN ISO 27888
SS _T (mg/L)	Gravimetría	PNT-ENSY-SST-105 Método interno basado en UNE-EN ISO 872
Fósforo total (mg/L)	Espectrofotometría	PNT-ENSY-P Método interno basado en UNE-EN ISO 6878-1
Nitrógeno total (mg/L)	Espectrofotometría	PNT-ENSY-NT Método interno basado en UNE-EN ISO 11905-1
Toma de muestras de agua residual	Puntual/compuesta	PNT-ENSY-TOM Método Interno basado en ISO-5667-10:2020
Aceites y grasas (mg/L)	Gravimetría	PNT-09/MIC/00-W/17_GRAVIMETRIA Método interno basado en SM 5520D ed.23

También se fijaron puntos de control en la salida general de los principales polígonos industriales, con indicación de las empresas más relevantes en cada uno:

- Polígono del Aceite: 3 aceiteras y 1 empresa de producción de bebidas no alcohólicas.
- Polígono de Las Quemadas: 1 cervecera y 1 empresa de reciclado de plásticos.
- Polígono de Pedroches: talleres, lavado vehículos y restauración.
- Polígono de Chinales: talleres y restauración.
- Polígono de El Granadal: talleres, lavados de vehículos y parque de bomberos.
- Polígono de la Torrecilla-Amargacena: 1 papelera.
- Parque Joyero: más de 120 pequeñas empresas y talleres de joyería.
- Polígono de Quintos-Aeropuerto: talleres y 1 empresa de manufacturados de cobre y zinc.

Además, se fijaron una serie de 20 puntos correspondientes a colectores de aguas esencialmente domésticas (>95% de aporte doméstico) con mínima componente industrial. Por último, otro punto de control periódico fue la entrada a la EDAR de la ciudad (EDAR La Golondrina). Esta depuradora procesa un caudal medio de 68.000 m³/d.

Con respecto a los eventos de alta carga, cuando ocurrieron, se procedió a chequear en primer lugar las salidas de los polígonos industriales y, si fuese posible, a las grandes empresas vertedoras del polígono industrial de donde partía el evento de alta carga, así como a analizar las características del agua residual urbana a la entrada a la EDAR para comprobar si el evento tenía incidencia real en el agua residual que llegaba a la EDAR.

La **Tabla 1** recoge los controles y métodos analíticos practicados en el estudio.

3. RESULTADOS

3.1. SEGUIMIENTO DE POLÍGONOS INDUSTRIALES

La primera campaña de muestreos se llevó a cabo entre diciembre de 2021 y mayo de 2022, y la segunda entre octubre de 2022 y febrero de 2023, como ya se indicó anteriormente. En la **Tabla 2** se recoge un resumen de los datos del seguimiento de las características más relevantes del agua residual procedentes de los polígonos industriales de la ciudad durante la primera campaña.

Con respecto a esta campaña, las cargas contaminantes medias más elevadas se detectaron en el Polígono de Las Quemadas, el Polígono del Aceite y el Polígono de El Granadal, con valores de DQO en torno a los 1.500-2000 mg/L, valores de DBO₅ de alrededor de 700-900 mg/L, así como valores de SS_T de 1.600 mg/L en el Polígono de Chinales.



TABLA 2

AGUAS RESIDUALES DE POLÍGONOS INDUSTRIALES DURANTE LA PRIMERA CAMPAÑA DE ESTUDIO: VALORES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PARÁMETROS INVESTIGADOS (DE ARRIBA ABAJO EN CADA SERIE).

Polígono industrial	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	P _T	N _T	Aceites y grasas
Polígono del Aceite	7,00	1.595	911	151	2.036	2	25	24
	8,90	2.300	4.200	244	9.390	6	48	57
	6,30	1.040	157	84	394	1	12	10
Polígono de las Quemadas	7,82	1.615	672	317	1.441	10	51	40
	9,40	2.510	1.700	847	2.670	17	88	86
	7,00	270	87	136	109	1	13	13
Polígono de Pedroches	8,12	1.237	315	272	735	11	136	63
	8,80	1.820	456	336	1.080	15	202	85
	7,40	930	189	196	474	8	82	45
Polígono de Chinales	8,01	1.049	552	1.667	1.337	7	87	67
	8,50	1.990	3.340	5.670	7.760	24	180	170
	6,60	360	15	21	39	0	15	10
Polígono de El Granadal	7,40	1.626	934	299	1.820	8	46	33
	8,00	2.410	1.694	900	2.792	12	66	88
	6,90	910	207	88	370	3	30	10
Polígono de Torrecilla-Amargacena	7,22	1.007	161	139	282	3	27	10
	7,60	1.150	319	412	542	7	42	10
	7,00	880	63	30	102	1	12	10
Parque Joyero	7,91	1.236	287	193	575	11	108	38
	8,30	1.380	454	262	849	18	141	89
	7,40	980	165	100	269	6	42	16
Polígono de Quintos-Aeropuerto	8,29	1.556	328	666	896	12	45	56
	9,30	2.400	504	3.863	1.380	24	87	101
	7,20	900	203	88	507	2	15	17

Como valores más altos, deben destacarse DQO de 9.000 mg/L y de DBO₅ de 4.000 mg/L en el Polígono del Aceite. En cuanto a fósforo, las puntas más altas fueron de 24 mg/L en el Polígono de Chinales y el Polígono de Quintos-Aeropuerto, y de nitrógeno de 150-200 mg/L en el Polígono de Pedroches, el Polígono de Chinales y el Parque Joyero. Finalmente, las concentraciones más al-

tas de aceites y grasas correspondieron al Polígono de Chinales, al de El Granadal y al Parque Joyero, debiendo destacarse que, por el contrario, el Polígono del Aceite no presentó cantidades relevantes de grasas.

La **Tabla 3** recoge los resultados de contaminación en la segunda campaña solo para los dos polígonos industriales más importantes de la ciudad en función de carga y

caudal vertido. Aquí se comprueba que se corresponden las cargas a las de la primera campaña, si bien en Las Quemadas se detectó un evento de alta carga con 17.000 mg/L de DQO, casi 6.000 mg/L de DBO₅, 29.000 mg/L de SS_T y 18.000 mg/L de aceites y grasas. Todo esto alteró al alza los valores medios de contaminación al saneamiento procedentes de esta ubicación.

TABLA 3

AGUAS RESIDUALES DE POLÍGONOS INDUSTRIALES DURANTE LA SEGUNDA CAMPAÑA DE SEGUIMIENTO: VALORES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PARÁMETROS INVESTIGADOS (DE ARRIBA ABAJO EN CADA SERIE).

Polígono industrial	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	Aceites y grasas
Polígono del Aceite	6,76	1.601	677	162	1.410	16
	7,80	2.290	1.352	428	2.810	65
	6,10	1.060	315	92	620	10
Polígono de las Quemadas	6,91	1.977	1.428	1.090	2.697	591
	7,90	5.760	5.780	29.000	17.780	18.900
	4,90	470	150	73	230	10

3.2. SEGUIMIENTO DE LAS EMPRESAS CON APORTACIÓN DE MÁS CARGA A LA RED DE SANEAMIENTO

En una segunda fase del estudio llevado a cabo se investigaron las industrias que históricamente evacuaban tasas más altas de contaminación a la red de saneamiento. Esta información se recoge en la **Tabla 4**. Se trata de empresas aceiteras del sector alimentario, del sector del reciclado de plásticos, del sector del cobre-zinc, una papelera y una fábrica de levadura. Hay que indicar que todas las empresas de la ciudad están sometidas al cumplimiento de la vigente Ordenanza Municipal de Alcantarillado y Vertidos, cuyo seguimiento realiza Emacsa, y de la cual se derivan las preceptivas autorizaciones de vertido que marcan los límites de aporte de contaminación, especialmente DQO, DBO₅, SS_T, aceites-grasas, así como de cobre y zinc, estos últimos para las empresas de manufactura de elementos de cobre y zinc, que pueden verse sin penalización al saneamiento.

En cuanto a las aceiteras, una de ellas presentó incumplimientos puntuales de aceites-grasas, pero en conjunto se respetaron los límites im-

puestos en sus autorizaciones de vertido. Así, sus valores medios de DBO₅ se situaron en torno a 1.000-1.500 mg/L, los de DQO entre 2.600-2.800 mg/L, con valores bajos de SS_T, y de aceites y grasas dentro de norma en Aceitera-1 pero no en Aceitera-2.

En la empresa de refrescos se generaron aguas residuales con carga media sin especial incidencia, mientras que en la cervecera se emitieron DQO del orden de 4.500 mg/L, con alguna punta más alta, así como de nitrógeno total. En cuanto al reciclado de plásticos, no presentó incidencias, y la papelera sí presentaba valores medios de DQO de 3.700 mg/L, y de SST de 2.700 mg/L.

Con respecto a las empresas del cobre-zinc, las cargas aportadas al saneamiento eran muy bajas.

Se constató que, sin duda, la empresa más contaminante en continuo era la de fabricación de levaduras, con medias de DQO de 16.000 mg/L, de DBO₅ de casi 8.000 mg/L, de SS_T superiores a 2.000 mg/L, y de nitrógeno total de 1.400 mg/L. También presentó puntas sensiblemente superiores a las medias. Hay que indicar que los valores de la autorización de vertidos en este caso eran mucho más altos.

Las puntas contaminantes detectadas en aceiteras, cervecera y papelera no se trasladaron al agua residual bruta de entrada a la EDAR de la Golondrina.

3.3. COLECTORES DOMÉSTICOS

Una vez determinada la situación global del aporte de carga contaminante al saneamiento, que no resultaba especialmente problemática (salvo casos muy concretos) considerando además que el aporte de aguas residuales procedentes de industrias está en torno al 12-14% del total de agua residual integrada que discurre por la red de saneamiento, se planteó un estudio de los colectores de aguas residuales de procedencia esencialmente doméstica (95% al menos) de los existentes.

Esta información se recopila en la **Tabla 5**. En ella aparecen los colectores domésticos más importantes. Dentro de la tipología de colectores domésticos se integran, aparte de las actividades domiciliarias propiamente dichas, aquellas de comercios varios, super e hipermercados, clínicas, restauración y hostelería como más relevantes.

Los datos obtenidos han sido más altos que los esperados en varios colectores. Así, y si bien la mayoría de los datos de DQO estaban en torno a 400-900 mg/L, y de DBO₅ y SS_T entre 200-400 mg/L, sí se constató un contenido de nitrógeno total en torno a los 100 mg/L con puntas de casi 300 mg/L en algún caso. Es evidente que el alto contenido en nitrógeno en desechos líquidos de comidas y productos de limpieza pueden explicar estos datos.

Asimismo, es relevante comentar los casos de varios colectores con valores medios de DQO muy próximos o superiores a 1.000 mg/L, así como muestreos con cargas de 1.000-



TABLA 4

AGUAS RESIDUALES DE LAS EMPRESAS MÁS IMPORTANTES DURANTE EL ESTUDIO: VALORES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PARÁMETROS INVESTIGADOS (DE ARRIBA ABAJO EN CADA SERIE).

Polígono industrial	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	P _T	N _T	Aceites y grasas
Aceitera 1	5,30	2.540	1.529	70	2.860	6	52	14
	8,10	3.060	3.945	170	8.390	14	114	28
	4,30	1.550	38	23	438	1	19	10
Aceitera 2	6,68	2.723	998	484	2.640	11	42	297
	7,00	4.400	1.572	1.150	3.270	14	111	540
	6,30	1.345	494	152	2.078	5	17	149
Producción refrescos	7,40	1.392	427	78	967	1	30	10
	9,50	1.520	480	140	1.170	2	66	11
	6,20	1.218	371	8	666	1	10	10
Producción cervezas	8,00	3.123	2.393	544	4.455	10	89	12
	9,90	3.670	8.630	974	10.150	12	135	15
	7,00	2.430	854	114	2.310	8	53	10
Reciclado plásticos	7,78	967	628	506	1.191	3	26	48
	8,50	1.290	1.016	870	1.910	8	44	131
	6,80	610	114	326	260	1	18	13
Transformado de cobre y zinc 1	9,10	919	15	61	129	1	88	10
	9,10	1.000	15	72	168	2	123	10
	9,10	838	15	50	90	1	53	10
Transformado de cobre y zinc 2	9,40	2120	82	80	375	1	17	16
	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
Transformado de cobre y zinc 3	8,33	511	78	58	145	2	47	14
	8,90	770	184	126	316	4	52	23
	7,70	247	15	7	20	0	41	10
Papelera	6,57	2.193	1.100	2.716	3.702	1	63	10
	7,20	3.400	4.800	12.600	21.100	2	92	10
	6,20	540	278	40	462	0	32	10
Fabricación levaduras	6,28	9.567	7.844	2.244	16.410	18	1.398	31
	6,60	17.350	9.820	4.880	18.740	39	2.020	93
	5,80	680	5.670	460	14.570	9	993	10

TABLA 5

AGUAS RESIDUALES DE LOS PRINCIPALES COLECTORES DOMÉSTICOS DE LA CIUDAD: VALORES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PARÁMETROS INVESTIGADOS (DE ARRIBA ABAJO EN CADA SERIE).

Colector urbano	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	P _T	N _T	Aceites y grasas
Cañero	8,28	1.196	369	442	876	13	133	109
	9,00	1.468	480	584	1.082	18	198	132
	7,50	950	245	292	781	8	84	94
Campo de la Verdad	7,63	1.169	493	414	951	12	109	115
	8,30	1.401	739	540	1.234	14	143	134
	7,40	1.030	383	276	710	10	92	87
Santa Teresa Jornet	8,00	938	388	419	800	9	83	179
	8,40	1.010	541	836	984	12	107	610
	7,50	880	309	272	682	6	72	55
Arroyo del Moro	8,10	1.080	289	381	673	9	85	54
	8,80	1.390	383	580	1.019	11	110	95
	7,60	940	221	232	454	6	71	22
Encinarejo de Córdoba	8,03	1.110	210	291	465	8	94	34
	8,40	1.270	322	352	754	12	117	64
	7,70	850	80	190	209	4	69	10
Villarrubia	7,86	1.579	800	419	1.540	14	146	116
	8,90	2.000	1.724	1.592	3.750	21	282	351
	6,70	1.040	137	90	187	5	60	12
Sector Sur	7,88	1.210	342	2.255	761	11	107	74
	8,70	1.416	467	12.096	1.047	17	167	136
	7,50	1.100	186	166	476	8	67	43
Zona Occidental-Higuerón	7,68	1.310	249	214	530	8	80	18
	7,90	1.970	530	366	1.377	16	127	32
	7,40	700	67	80	112	4	46	10
Veredón de los Frailes	7,78	1.082	181	131	358	7	62	17
	8,00	1.279	422	406	847	13	108	42
	7,50	820	51	28	74	1	24	10
Polígono Guadalquivir	7,86	1.173	492	376	1.191	12	97	105
	8,80	1.372	649	572	2.501	16	166	170
	7,40	1.030	341	128	807	10	50	39



TABLA 5 (CONTINUACIÓN)

AGUAS RESIDUALES DE LOS PRINCIPALES COLECTORES DOMÉSTICOS DE LA CIUDAD: VALORES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PARÁMETROS INVESTIGADOS (DE ARRIBA ABAJO EN CADA SERIE).

Colelector urbano	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	P _T	N _T	Aceites y grasas
Cantarranas	7,82	888	144	102	256	5	53	12
	8,20	1290	419	224	621	11	80	15
	7,50	496	57	59	103	2	20	10
La Gitana	7,72	910	146	149	300	6	62	15
	7,90	1160	247	386	549	10	115	33
	7,60	530	15	48	141	3	33	10
Arcángel	7,92	1130	495	430	973	13	125	120
	8,60	1274	731	765	1.138	17	157	148
	7,20	970	290	108	885	10	88	93
Casco Histórico	8,02	979	335	272	707	10	73	69
	8,70	1052	473	456	943	15	107	93
	7,50	880	206	116	591	6	52	28
Campo Madre de Dios	7,93	1092	358	227	674	11	79	56
	8,70	1258	475	408	879	20	118	85
	7,40	910	238	80	447	6	51	34
Mirabueno	7,93	1026	317	324	667	13	64	66
	8,40	1360	708	800	1.360	40	98	174
	7,40	780	122	80	258	5	43	11
Virgen de Fátima	8,30	990	421	352	959	10	136	125
	8,70	1099	547	660	1.139	11	280	185
	7,60	850	323	198	673	8	82	86
Valdeolleros	8,30	932	338	271	853	11	95	75
	9,10	1162	513	488	1.354	14	140	116
	7,30	820	201	116	478	8	65	37
Virgen del Mar-Fuensanta	7,68	1126	519	818	1.527	15	114	258
	8,30	1312	785	1.525	2.996	19	152	430
	7,30	990	410	360	883	11	77	104
Carrera del Caballo	7,80	992	134	96	400	5	59	21
	8,00	1030	236	206	1.163	7	93	46
	7,50	900	66	25	103	2	38	10

TABLA 6

RESUMEN ESTADÍSTICO DE VALORES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PARÁMETROS INVESTIGADOS (DE ARRIBA ABAJO EN CADA SERIE) PARA LOS VEINTE COLECTORES URBANOS MUESTREADOS.

Colector urbano	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	P _T	N _T	Aceites y grasas
Colectores urbanos	7,95	1.099	373	586	854	11	98	92
	9,10	2.000	1.724	12.096	3.750	40	282	610
	6,70	496	15	25	74	1	20	10

3.000 mg/L de este parámetro, DBO₅ de 500-800 mg/L y aceites-grasas de hasta 300-600 mg/L en algún caso.

Como resumen al respecto, la **Tabla 6** presenta los valores medios, máximos y mínimos de todos los colectores urbanos de la ciudad. Se detectaron puntas contaminantes de 3.750 mg/L de DQO, de 1.700 mg/L de DBO₅, y de 12.000 mg/L de SS_T. Esta información indicaba, a falta de seguimientos más exhaustivos y repetitivos, que los colectores domésticos aportan una carga contaminante ciertamente elevada a la red de saneamiento y aún más considerando que se trata del 86-88% del aporte total de agua residual al saneamiento.

3.4. EVENTOS DE ALTA CARGA Y AFECCIÓN SOBRE LA EDAR DE LOS DETECTADOS

Ya se han definido anteriormente como eventos de alta carga a aquellos períodos habitualmente de corta duración (apenas 2-3 h), que presentan concentraciones de carga orgánica muy elevadas (valores de DQO-DBO₅ y/o SS_T superiores al doble de la concentración habitual de entrada a la EDAR) y que por sí solos podrían alterar de forma sensible el proceso depurador, generando consumos muy altos de aire para el biológico, así como propiciar la aparición de episodios de *bulking* en la planta.

Al objeto de investigar esta cuestión debe pasarse revista al funcionamiento habitual de la EDAR. En este sentido, la **Figura 2** recoge como referente la evolución mensual de los valores medios de DQO, DBO₅ y SS_T del agua residual bruta que llegaba a la planta (valores de muestreos diarios 24 h) durante el período investigado, alargando las fechas entre noviembre de 2021 y marzo de 2023 para tener una visión de conjunto más amplia. Puede observarse que los valores de DQO estaban en una media de 620 mg/L, con puntas de más de 850 mg/L, los de DBO₅ presentaron una media de 344 mg/L, con puntas de 457 mg/L, y finalmente los SST exhibieron un valor medio de 309 mg/L y puntas de 396 mg/L.

Durante el estudio realizado se implantó una serie de inspecciones diarias en los puntos más críticos de la red de saneamiento, como polígonos industriales y colectores domésticos más grandes, como probables fuentes de emisión de carga contaminante a la red. Estas inspecciones dieron lugar a la identificación de varios eventos de alta carga que se reseñan en la **Tabla 7**.

Se registraron hasta 9 episodios con altas cargas contaminantes procedentes 5 de polígonos industriales, 3 de colectores urbanos y 1 de una empresa concreta. En ninguno de los eventos se registraron incidencias de incremento de carga en el agua residual bruta de entrada a la EDAR cuyos valores de deman-

FIGURA 2. Evolución de la carga media mensual de entrada a la EDAR La Golondrina. Abcisas: mg/L; línea verde: DQO; línea naranja: DBO₅; y línea azul: SS_T.

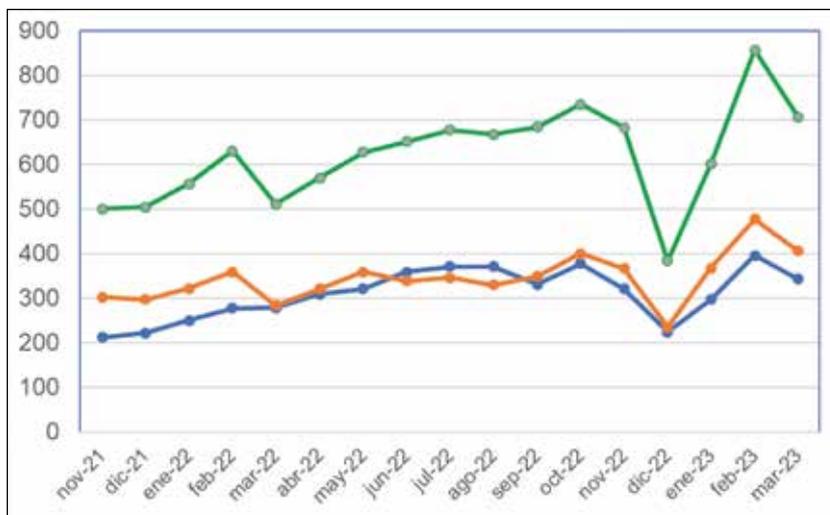




TABLA 7

EVENTOS DE ALTA CARGA EN RED DE SANEAMIENTO REGISTRADOS DURANTE EL ESTUDIO.

Origen	pH	Conductividad	DBO ₅	SS _T	DQO	P _T	N _T	Aceites y grasas
Polígono Aceite	7,3	1.299	4.200	84	9.390	1,3	12	10
Polígono Chinales	7,9	1.064	3.340	4.828	7.760	13,6	78	153
Colector urbano Villarrubia	8,0	1.227	1.724	192	3.750	8,2	75	93
Polígono Quemadas	7,9	2.510	1.700	136	2.610	10,3	61	13
Polígono Aceite	6,8	1.649	1.200	164	3.630	1,9	13	18
Papelera	7,20	3.400	637	4.080	3.460	2	92	10
Colector urbano Polígono Guadalquivir	8,80	1.372	649	572	2.501	16	166	170
Colector urbano Virgen del Mar-Fuensanta	8,30	1312	785	1.525	2.996	19	152	430
Polígono de Las Quemadas	7,90	5.760	5.780	29.000	17.780	18.900	-	-

da química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos en suspensión se mantuvieron dentro de los valores calificados como habituales (**Figura 2**).

Además, en la **Figura 3** se presenta la evolución diaria de los valores de DBO₅ y de SS_T entre noviembre de 2021 y marzo de 2023. Como eventos de alta carga detectados en este caso a la entrada de la EDAR (valores de DBO₅ y de SS_T superiores aproximadamente al doble de la media registrada) se contabilizaron en este caso 8 incidencias, pero ninguna de ellas coincidió en el tiempo con los

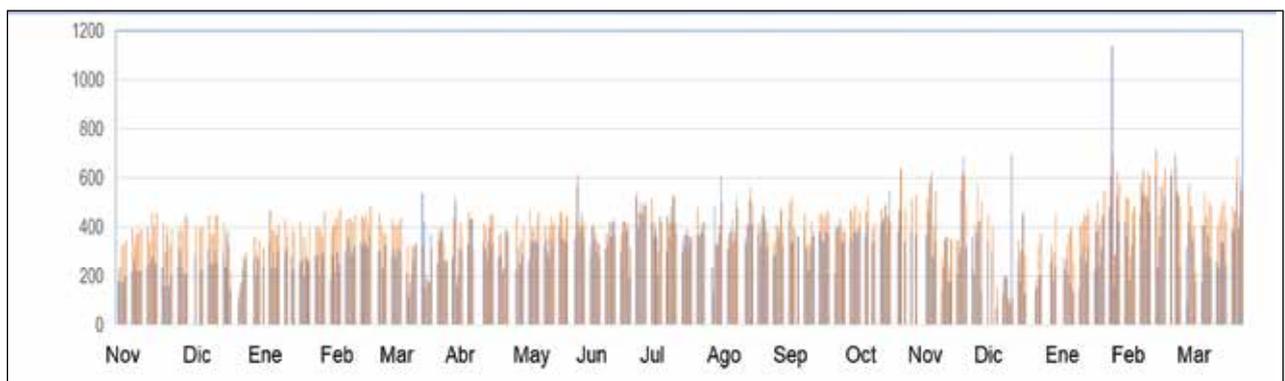
eventos de alta carga detectados en la red de saneamiento. La coincidencia se evaluó comparando los datos de la EDAR dentro de las 48 h siguientes de registrarse el evento de alta carga en la red, considerando este tiempo más que suficiente para la llegada del agua residual problemática a la depuradora.

Este comportamiento repetido en todas las ocasiones indica que la emisión de altas cargas contaminantes de corta duración a la red de saneamiento de la ciudad se puede producir tanto desde los actores más relevantes al caso, como son polígo-

nos industriales e industrias, como también desde colectores esencialmente urbanos.

Tampoco se pudo constatar que ninguno de estos eventos de alta carga por sí solos afectasen de forma apreciable a las características del agua residual urbana (doméstica + industrial) recibida en la EDAR municipal. Es más, existieron eventos de alta carga detectados en la EDAR y que no se detectaron como procedentes de ningún punto de control establecido, ni industrias, ni polígonos industriales ni colectores urbanos.

FIGURA 3. Evolución diaria de la carga de entrada a la EDAR La Golondrina entre noviembre de 2021 y marzo de 2023. Abscisas: mg/L; línea azul: DBO₅; y línea roja: SS_T.



Se puede concluir, a tenor de los resultados del estudio llevado a cabo, que no existe en la ciudad ninguna empresa cuya emisión de carga puntual fuera de norma provoque alteraciones relevantes en el agua residual bruta, como tampoco ningún polígono industrial. Pero las altas cargas procedentes de colectores urbanos deben hacer replantearse las ideas preconcebidas acerca de los actuales emisores de carga a los saneamientos.

En este sentido, caso de detectarse llegadas puntuales de alta carga a la EDAR, tales incidencias deben de responder más a un comportamiento propio de la red de saneamiento, la cual en ocasiones lamina la carga recibida, y en otras actúa mediante un comportamiento de producción imprevisible de emboladas, que en estos casos sí que eran capaces de acceder a la planta.

La generación de emboladas de alta carga, con duraciones limitadas a no más de 2-3 h, debe responder a factores diversos de difícil estudio práctico: caudal circulante, lluvias recibidas por la red (en función de cantidad, violencia y persistencia en el tiempo), fuentes de agua no potable conectadas, pozos de saco en colectores, bombeos, cambios de pendiente y de dirección en la traza de colectores, y estructura concreta de la zona de red afectada, así como de otras circunstancias más de carácter hidráulico que en realidad asociados a las características de los vertidos existentes tanto domésticos como industriales.

Por ello, deben extremarse varios factores: seguimiento del cumplimiento por parte de las empresas de sus autorizaciones de vertido vigilando la emisión de cargas contaminantes de acuerdo a las mismas; aplicación de campañas de concienciación

a la ciudadanía para un uso responsable de los desagües y saneamientos domiciliarios; y, finalmente, una eficaz actuación periódica de limpieza de la red de saneamiento, actuando en las zonas más problemáticas y anticipándonos a los períodos de lluvias siempre que sea posible.

4. CONCLUSIONES

Como conclusiones generales del estudio llevado a cabo pueden citarse:

- Que los controles a las principales empresas de la ciudad indicaban que se cumplía el condicionado de sus autorizaciones de vertido.
- Que las ocasionales emisiones de alta carga se iban diluyendo poco a poco con el resto de agua residual de la red.
- Que la carga de los colectores mayoritariamente domésticos era mucho más elevada que la previsible.
- Que los eventos de alta carga que llegaban a la EDAR respondían más a un comportamiento propio de la red de saneamiento, la cual en ocasiones laminaba la carga recibida, y en otras actuaba mediante un movimiento de emboladas. En este último caso sí que eran capaces de acceder a la planta, pero sin tener un origen definido, sino más bien un conjunto de factores varios.

La generación de emboladas de alta carga, con duraciones limitadas a no más de 2-3 h, debe responder a factores diversos de difícil estudio práctico: caudal circulante, lluvias recibidas por la red, fuentes de agua no potable conectadas, pozos de saco en colectores, bombeos, pendiente, cambios de dirección en la traza de colectores, y estructura concreta de la zona de red afectada, así como de otras circunstancias más de carácter hidráulico que, en realidad,

están asociadas a las características de los vertidos existentes tanto domésticos como industriales.

Por lo anterior, deben aplicarse políticas encaminadas a concienciar tanto a las industrias como a los ciudadanos ante un uso responsable de la red de saneamiento, así como, en la medida de lo posible, mantener la red y sus puntos conflictivos lo más razonablemente libres de sedimentos y acúmulo de restos orgánicos o inorgánicos.

5. AGRADECIMIENTOS

A la empresa CEGAM (www.cegam.com).

Bibliografía

- [1] AWWA (2012). Water Treatment Plant Design. 5th ed., New York.
- [2] CEDEX (2008). Guía Técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano. 2ª ed., Madrid.
- [3] Grupo Trabajo Inspección Vertidos Industriales-Comisión V AEAS (2002). Aguas residuales industriales. Origen, caracterización y efectos sobre las instalaciones públicas de saneamiento y depuración. Ed. AEAS. Madrid.
- [4] Grupo de Trabajo Inspección Vertidos Industriales-Comisión V AEAS (2007). Guía Práctica de Actuación en Materia de Inspección de Vertidos a redes de Saneamiento. Ed. AEAS. Madrid.
- [5] Hernández Muñoz, A. (2007). Saneamiento y alcantarillado vertidos residuales. Aurelio Hernández Muñoz. 7ª edición. Colegio de Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- [6] Mantecón Pascual, R. (2001). Incidencia de los vertidos industriales en las redes de saneamiento. Actas XXV Jornadas AEAS. Granada.
- [7] Mantecón Pascual, R. (2012). Manual técnico de inspección. Rafael Mantecón Pascual, Ed. www.aguasresiduales.info.
- [8] Marín Galvín, R. (1995). Análisis de aguas y ensayos de tratamiento. Principios y aplicaciones. Ed. GPE, SA. Barcelona.
- [9] Marín Galvín, R. (2012). Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- [10] Marín Galvín, R.; Díaz de Durana Uriarte, B.; Mantecón Pascual, R. (2006). Hacia una gestión eficaz del control de vertidos en las redes de saneamiento público. Actas XXVI Jornadas AEAS. La Coruña.
- [11] Marín Galvín, R. (2021). Potencialidades de la inspección y control de vertidos al saneamiento público (2021). Portal Tecnoaqua, <https://www.tecnoaqua.es/articulos/20210610/reportaje-potencialidades-inspeccion-control-vertidos-saneamiento-publico#.YMHQHEztblU>, 10 de junio, 2-13.
- [12] Ministerio de Medio Ambiente (2007). Manual para la Gestión de Vertidos. Madrid
- [13] Metcalf and Eddy Inc. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, (4th ed.) Ed. McGraw Hill, New York.
- [14] Nemerow, N. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Díaz de Santos. Madrid.
- [15] Novotny, V. (2003). Water quality. Diffusion, pollution and watershed management. Ed. Wiley & Sons, Inc., 2ª ed., New York. 